



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Simulación térmica de módulos prefabricados con diferentes
alternativas constructivas para aplicaciones militares*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Luis Pascual Cornago Alva

DIRECTORES: Lara Febrero Garrido

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_deVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Simulación térmica de módulos prefabricados con diferentes
alternativas constructivas para aplicaciones militares*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

Los módulos prefabricados han cobrado una relevancia considerable en el ámbito militar debido a su estandarización, versatilidad, facilidad de transporte y de montaje y desmontaje. El reciente incremento de despliegues internacionales en lugares con climatologías muy diversas y la necesidad de implementar estrategias que reduzcan el consumo energético, lleva a considerar la optimización energética de estas unidades como un asunto crucial. De esta manera, se sigue la línea marcada por las distintas organizaciones internacionales en la búsqueda de combatir contra el cambio climático

En el presente Trabajo de Fin de Grado se desarrolla un modelo energético de un módulo prefabricado, con el objetivo de identificar áreas de mejora. Se somete a simulaciones en diferentes localizaciones donde las Fuerzas Armadas están llevando a cabo operaciones, haciendo uso de la herramienta de simulación energética EnergyPlus. Tras ello, se diseñan alternativas constructivas aplicando distintas estrategias bioclimáticas y se simulan en dichos emplazamientos. Finalmente se analizan los resultados obtenidos y se cuantifican las mejoras. El estudio concluye con la obtención de nuevas demandas térmicas que presentan grandes ahorros, tanto energéticos como económicos.

PALABRAS CLAVE

Módulo, Estrategia bioclimática, EnergyPlus, Ahorro energético.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa el fin de una etapa de mi vida que sin duda recordaré con felicidad el resto de mis días, sin olvidar lo duro y exigente que ha sido el camino. Durante estos cinco años, he intentado dar lo mejor de mí e intentar ser la mejor versión de mí mismo y, aunque no se si lo he conseguido, sin duda, no soy la persona que entró en esta Escuela allá por el 2019.

Es por ello, que en estas palabras de agradecimiento me gustaría incluir a todas aquellas personas que me han acompañado a lo largo de esta etapa, mostrándome apoyo y ayuda cuando más se ha necesitado, y haciendo que los momentos malos no sean tan malos.

En primer lugar, agradecer a mis padres por su apoyo durante todos estos años, por intentar aconsejarme de la manera que siempre habéis creído correcta tratando de mostrarme siempre el lado positivo de las cosas, gracias de corazón Dada y Mamá.

Agradecer también a mis hermanos: Lurditas y Jaime. Lud Cornago Alva, Luis Pascual - ri, agradecerte el enseñarme que cuando se tiene un objetivo en mente todo es posible y que con esfuerzo se puede conseguir lo que te propongas. Que sepas que estoy muy orgulloso de ti. Jaime, a ti darte las gracias por ser un referente para mi durante mis cinco años de formación, gracias por intentar guiarme y aconsejarme con perspectiva y experiencia. Has sido y seguirás siendo un espejo donde mirarme cada día.

Agradecer a la promoción 154, con la que he compartido buenos y malos momentos, siempre unidos y sobreponiéndonos a todo. Agradecer también a todas las amistades que esta Escuela me ha regalado, en especial a Luiti, Manolo, Jimmy, Rocío, Garabito y Crevi, a los que considero piezas fundamentales en mi día a día e imprescindibles durante estos cinco largos años.

Agradecer también a mi tutora del TFG, Lara Febrero Garrido, por su ayuda y dedicación durante el desarrollo del trabajo. Muchas gracias, Lara.

Por último, en especial, agradecer a mi novia, Afri, por haber vivido la Escuela de forma paralela y haberme acompañado desde el principio hasta el final, mostrándome tu apoyo y tu cariño todos y cada uno de los días.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	8
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Introducción	9
1.2 Justificación	10
1.3 Objetivos	10
1.4 Estructura del trabajo	11
2 Estado del arte	13
2.1 Crisis energética mundial.....	13
2.2 Cambio climático	14
2.2.1 Acuerdo de París.....	15
2.3 Eficiencia energética	15
2.3.1 Eficiencia energética en las FAS	15
2.4 Importancia de los módulos prefabricados en misiones de las Fuerzas Armadas	16
2.4.1 CORIMEC Italiana S.p.A	17
2.4.2 ARPA Equipos Móviles de Campaña S.A.U.....	18
2.4.3 TECNOVE S.L.	18
2.5 Misiones internacionales.....	19
2.5.1 Inherent Resolve/ NMI (Irak)	20
2.5.2 EUFOR Althea (Bosnia-Herzegovina)	21
2.5.3 Operación Libre Hidalgo (Líbano)	22
2.5.4 EUTM-MALI (Mali)	24
2.5.5 Enhanced Forward Presence (Letonia)	24
2.5.6 Campaña Antártica (Antártida).....	25
2.5.7 Operación Mar Caribe/ Operación Hispaniola (Haití).....	26
2.6 Modelado energético en edificación	27
2.6.1 Software Building Energy Modeling (BEM)	28
2.6.2 Software de modelado 3D	29
2.7 Softwares de modelado 3D y BEM empleados	29
2.7.1 SketchUp.....	30
2.7.2 OpenStudio	30
2.7.3 EnergyPlus	31

3 Desarrollo del TFG.....	33
3.1 Metodología	33
3.2 Elección del módulo.....	34
3.2.1 Descripción constructiva del módulo	34
3.3 Actividades y cargas internas del módulo.....	36
3.3.1 Ocupación	36
3.3.2 Iluminación	37
3.4 Diseño del módulo	37
3.4.1 Diseño geométrico	37
3.4.2 Información constructiva	40
3.4.3 Materiales y construcciones.....	42
3.4.4 Horarios	46
3.4.5 Ganancias internas	48
3.4.6 Infiltraciones y ventilación	49
3.4.7 HVACs	50
3.4.8 Datos generales simulación	51
3.5 Datos climáticos	52
3.6 Alternativas constructivas	53
3.6.1 Zonas climáticas	53
3.6.2 Estrategias bioclimáticas	53
3.7 Módulos alternativos.....	54
3.7.1 Zona climática 1: Antártida	54
3.7.2 Zona climática 2: Bosnia-Letonia-Líbano	55
3.7.3 Zona climática 3: Irak	58
3.7.4 Zona climática 4: Mali-Haití	59
4 Simulación y resultados.....	63
4.1 Simulación	63
4.2 Resultados	63
4.2.1 Variables de salida de interés en las simulaciones	64
4.3 Discusión de los resultados obtenidos en el módulo básico	65
4.3.1 Antártida	66
4.3.2 Bosnia-Herzegovina	67
4.3.3 Letonia	69
4.3.4 Líbano	71
4.3.5 Irak	73
4.3.6 Mali.....	75

4.3.7 Haití	77
4.4 Discusión de los resultados obtenidos en los módulos alternativos.....	78
4.4.1 Zona climática 1: Antártida	80
4.4.2 Zona climática 2: Bosnia-Letonia-Líbano	81
4.4.3 Zona climática 3: Irak	87
4.4.4 Zona climática 4: Mali-Haití	88
4.5 Ahorro	92
4.5.1 Ahorro energético	92
4.5.2 Ahorro económico	93
5 Conclusiones y líneas futuras	95
5.1 Conclusiones	95
5.2 Líneas futuras	96
6 Bibliografía.....	97
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	101
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	102
Anexo III: Datos climatológicos	103
Anexo IV Presupuesto módulo alternativo Irak	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Evolución del precio del gas natural entre 2021 y 2022 [3]	14
Figura 2-2 Proyección del aumento de la temperatura media global [6]	14
Figura 2-3 Base US Army en Irak a partir de módulos prefabricados por CORIMEC [13].....	17
Figura 2-4 Logo Corimec Italiana S.p.A [13]	18
Figura 2-5 Arpa construcción modular [15].....	18
Figura 2-6 Base Juan Carlos I en la Antártida remodelada por Tecнове S.L [16]	19
Figura 2-7 Participación 2024 de militares españoles en operaciones en el exterior [17]	20
Figura 2-8 Localización despliegues escogidos	20
Figura 2-9 Personal español llevando a cabo actividades de adiestramiento a personal iraquí [18]21	
Figura 2-10 Infantes de marina en Bosnia-Herzegovina [21]	22
Figura 2-11 Plano de distribución de fuerzas en el Líbano [22]	23
Figura 2-12 Relevó de mando sector este FPNUL [23]	23
Figura 2-13 Módulo habitabilidad en KTC	24
Figura 2-14 Carros de combate “Leopard 2E españoles en Letonia [26]	25
Figura 2-15 BAE Gabriel de Castilla [29].....	26
Figura 2-16 Infante de marina en Haití durante la Operación Hispaniola [32].....	27
Figura 2-17 BEM [33]	28
Figura 2-18 Modelo tridimensional de un edificio de apartamentos[36]	29
Figura 2-19 Logo Software SketchUp [35]	30
Figura 2-20 Logo OpenStudio [37]	31
Figura 2-21 Logo EnergyPlus [38].....	32
Figura 3-1 Esquema general de desarrollo del TFG.....	34
Figura 3-2 Vista frontal del módulo	35
Figura 3-3 Vista trasera del módulo	35
Figura 3-4 Fluorescente compacto DTT 18W	37
Figura 3-5 Creación nuevo archivo OSM	38
Figura 3-6 Modelado 3D y barras de herramientas SketchUp y OpenStudio	38
Figura 3-7 Asignar una zona térmica	39
Figura 3-8 Edificio con dos zonas térmicas	39
Figura 3-9 Vista final del modelo OSM configurado en SketchUp	40
Figura 3-10 Guardar archivos OSM	40
Figura 3-11 Variables de salida en OpenStudio	41
Figura 3-12 Exportar archivo como IDF en OpenStudio	41
Figura 3-13 Interfaz EP-Launch.....	42

Figura 3-14 Interfaz IDF Editor	42
Figura 3-15 Librerías IDF Editor	43
Figura 3-16 "Material"	43
Figura 3-17 "WindowMaterial: Glazing"	44
Figura 3-18 "Construction"	44
Figura 3-19 "BuildingSurface: Detailed"	45
Figura 3-20 "FenestrationSurface: Detailed"	46
Figura 3-21 "Schedule: Day"	46
Figura 3-22 "Schedule: Week"	47
Figura 3-23 "Schedule: Year"	47
Figura 3-24 "Schedule: Compact"	48
Figura 3-25 Ganancia interna "People"	48
Figura 3-26 Ganancia interna "Lights"	49
Figura 3-27 "ZoneInfiltration: DesignFlowRate"	49
Figura 3-28 "ZoneVentilation: DesignFlowRate"	50
Figura 3-29 "HVACTemplate: Thermostat"	51
Figura 3-30 "HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem"	51
Figura 3-31 Datos generales EnergyPlus	52
Figura 3-32 "TimeStep"	52
Figura 3-33 "Run Period"	52
Figura 3-34 Diseño alternativo Antártida.....	54
Figura 3-35 Vista frontal diseño alternativo Bosnia-Letonia-Líbano	56
Figura 3-36 Vista trasera diseño alternativo Bosnia-Letonia-Líbano	56
Figura 3-37 "ZoneVentilation: WindandStackOpenArea"	58
Figura 3-38 Horario Ventilación	58
Figura 3-39 Vista frontal diseño alternativo Mali-Haití.....	59
Figura 3-40 Vista trasera diseño alternativo Mali-Haití.....	60
Figura 3-41 "Shading: Zone: Detailed"	60
Figura 3-42 "ShadingProperty: Reflectance"	61
Figura 4-1 Simulación EnergyPlus.....	63
Figura 4-2 Ficheros de salida EnergyPlus	64
Figura 4-3 Esquema general de simulaciones	64
Figura 4-4 Gráfica demanda energética anual módulo básico	65
Figura 4-5 Temperatura en el interior del módulo básico en La Antártida	66
Figura 4-6 Demanda energética por calefacción del módulo básico en La Antártida.....	66
Figura 4-7 Demanda energética por refrigeración del módulo básico en La Antártida	67

Figura 4-8 Demanda energética total del módulo básico en la Antártida	67
Figura 4-9 Temperatura en el interior del módulo básico en Bosnia	68
Figura 4-10 Demanda energética por calefacción para del módulo básico en Bosnia	68
Figura 4-11 Demanda energética por refrigeración del módulo básico en Bosnia	68
Figura 4-12 Demanda térmica total del módulo básico en Bosnia.....	69
Figura 4-13 Temperatura en el interior del módulo básico en Letonia	69
Figura 4-14 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Letonia	70
Figura 4-15 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Letonia.....	70
Figura 4-16 Demanda térmica total del módulo básico en Letonia.....	71
Figura 4-17 Temperatura interior del módulo básico en el Líbano.....	71
Figura 4-18 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en el Líbano	72
Figura 4-19 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en el Líbano.....	72
Figura 4-20 Demanda térmica total del módulo básico en el Líbano.....	73
Figura 4-21 Temperatura en el interior del módulo básico en Irak.....	73
Figura 4-22 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Irak	74
Figura 4-23 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Irak	74
Figura 4-24 Demanda térmica total del módulo básico en Irak	75
Figura 4-25 Temperatura en el interior del módulo básico en Mali.....	75
Figura 4-26 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Mali.....	76
Figura 4-27 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Mali	76
Figura 4-28 Demanda térmica total del módulo básico en Mali	76
Figura 4-29 Temperatura en el interior del módulo básico en Haití	77
Figura 4-30 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Haití	77
Figura 4-31 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Haití.....	78
Figura 4-32 Demanda térmica total del módulo básico en Haití.....	78
Figura 4-33 Comparativa demanda térmica total entre módulo básico y alternativo.....	79
Figura 4-34 Temperatura en el interior del módulo alternativo en La Antártida	80
Figura 4-35 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en La Antártida	80
Figura 4-36 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en La Antártida.....	81
Figura 4-37 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	81
Figura 4-38 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Bosnia	82
Figura 4-39 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Bosnia	82
Figura 4-40 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Bosnia.....	82
Figura 4-41 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	83
Figura 4-42 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Letonia	83
Figura 4-43 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Letonia	84

Figura 4-44 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Letonia.....	84
Figura 4-45 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	85
Figura 4-46 Temperatura en el interior del módulo alternativo en el Líbano	85
Figura 4-47 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en el Líbano	86
Figura 4-48 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en el Líbano.....	86
Figura 4-49 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	86
Figura 4-50 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Irak	87
Figura 4-51 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Irak	87
Figura 4-52 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Irak.....	88
Figura 4-53 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	88
Figura 4-54 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Mali	89
Figura 4-55 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Mali.....	89
Figura 4-56 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Mali	90
Figura 4-57 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	90
Figura 4-58 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Haití	91
Figura 4-59 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Haití	91
Figura 4-60 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Haití	92
Figura 4-61 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos	92
Figura 4-62 Resumen del presupuesto del módulo alternativo de Irak	94
Figura A3-0-1 Temperatura anual en La Antártida	103
Figura A3-0-2 Temperatura anual en Bosnia-Herzegovina	104
Figura A3-0-3 Temperatura anual en Letonia	105
Figura A3-0-4 Temperatura anual en el Líbano	106
Figura A3-0-5 Temperatura anual en Irak.....	107
Figura A3-0-6 Temperatura anual en Mali.....	108
Figura A3-7 Temperatura anual en Haití.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Materiales del módulo.....	36
Tabla 3-2 Calendario de actividad diaria.....	36
Tabla 3-3 Características de los fluorescentes basado en EnergyPlus [37].....	37
Tabla 3-4 Materiales módulo Antártida	55
Tabla 3-5 Materiales módulo Bosnia-Letonia-Líbano	57
Tabla 3-6 Materiales módulo Irak	59
Tabla 3-7 Materiales módulo Mali-Haití.....	61
Tabla 4-1 Demandan energética del módulo original en los emplazamientos estudiados	65
Tabla 4-2 Demanda energética de los módulos alternativos en los emplazamientos estudiados.....	79
Tabla 4-3 Ahorro energético	93
Tabla 4-4 Ahorro económico anual.....	93

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

En el actual contexto global, caracterizado por una creciente preocupación por la escasez de recursos naturales y la preservación del medio ambiente, se hace evidente la urgencia de adoptar medidas que promuevan un desarrollo sostenible en los procesos, productos y sistemas. En este escenario, iniciativas internacionales como el Protocolo de Kioto, un tratado jurídicamente vinculante que entró en vigor en el año 2005 con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [1], la Enmienda de Doha, que prorrogó y reforzó esta iniciativa y el Acuerdo de París, adquieren una relevancia indiscutible, estableciendo metas claras para limitar el calentamiento global y mitigar sus impactos.

El papel de la eficiencia energética en las instalaciones emerge como una prioridad crucial en la agenda medioambiental, tanto a nivel global como nacional. Dentro del ámbito militar, la conciencia sobre la importancia de prácticas más sostenibles ha ido en aumento, reflejándose en políticas como la Directiva 107/1997 sobre protección del Medio Ambiente [2]. En este contexto, optimizar la gestión energética en instalaciones militares se presenta como una oportunidad estratégica para reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental. En este sentido, la implementación de nuevas herramientas de simulación energética proporciona una gran ayuda y capacidad a la hora de alcanzar estos objetivos de sostenibilidad.

Los modelos energéticos se convierten en una herramienta fundamental y de gran utilidad para evaluar el desempeño de edificios o instalaciones y proponer mejoras. Estos modelos permiten simular infinidad de variables y escenarios de forma rápida y económica. Estas simulaciones evalúan los efectos que tendrían diferentes modificaciones a la situación actual del edificio o el rendimiento energético y ambiental antes de la ejecución material de edificios de nueva construcción. Estas simulaciones permiten el juicio objetivo de la eficacia y rentabilidad antes de realizar modificaciones costosas o irreversibles.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se desarrolla un modelo energético de un módulo prefabricado, con el objetivo de identificar áreas de mejora al someterlo a simulaciones en diferentes localizaciones con climatologías diferentes y analizar su comportamiento. Posteriormente, se cuantifica el impacto de estas mejoras al integrarlas en diferentes diseños alternativos y simularlas en las mismas condiciones. De esta manera, no solo se optimiza el rendimiento del módulo, sino que también se contribuye de manera significativa a la eficiencia energética y medioambiental.

1.2 Justificación

La crisis energética en la que el mundo se encuentra inmersa es un tema de relevancia global. El cambio climático y la escasez de recursos energéticos plantean desafíos que requieren respuestas urgentes y efectivas. La eficiencia energética se posiciona como un pilar fundamental para mitigar los impactos ambientales y promover un desarrollo sostenible. La implementación de estrategias que reduzcan el consumo energético y las emisiones de GEI es esencial para limitar el calentamiento global y proteger los ecosistemas naturales.

En la actualidad, las construcciones modulares han cobrado una relevancia considerable en el ámbito militar debido a las prestaciones que estas ofrecen. Estos sistemas constructivos, caracterizados por su diseño modular y prefabricado, representan una alternativa innovadora en la industria de la construcción que aporta una serie de beneficios significativos en términos de flexibilidad, rapidez y eficiencia. Esto las convierte en una opción ideal para su uso en despliegues militares. Así pues, numerosos estados y organizaciones internacionales, como la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) o la Unión Europea (UE), han optado por este tipo de construcciones para el establecimiento de bases militares en los países donde realizan operaciones militares.

Por otro lado, debido al entorno incierto y cambiante en que nos encontramos, cada vez es más común que nuestras Fuerzas Armadas (FAS) desplieguen, con mayor frecuencia, en misiones en distintos países del globo. Esta movilidad y capacidad de despliegue rápido requiere infraestructuras que puedan ser fácilmente transportadas, montadas y desmontadas según las necesidades operativas. En este sentido, las construcciones modulares ofrecen una solución práctica y eficiente, permitiendo a las FAS establecer bases temporales de manera rápida y sin comprometer la funcionalidad ni la seguridad.

La investigación sobre este tipo de construcciones y su rendimiento energético ha sido escasa en comparación con otro tipo de construcciones. Dado al elevado número de estos módulos utilizados por las FAS y al incremento de despliegues internacionales en lugares con climatologías muy diversas lleva a considerar la optimización energética de estas unidades como un asunto crucial, teniendo como objetivo reducir la demanda energética manteniendo el confort.

Por lo tanto, la realización del presente Trabajo de Fin de Grado encuentra su justificación en dos vertientes fundamentales: el compromiso con la lucha contra el cambio climático y la necesidad de la mejora de la eficiencia energética de las infraestructuras militares, en este caso, módulos prefabricados, en despliegues en el exterior.

1.3 Objetivos

El objetivo principal que se plantea en el presente Trabajo de Fin de Grado es investigar y mejorar la eficiencia energética de los módulos prefabricados utilizados en despliegues militares internacionales. Para ello, se realiza el diseño de alternativas constructivas y la simulación térmica en diferentes contextos climáticos con el fin de reducir la demanda térmica y garantizar el confort en estas instalaciones. Para lograrlo, se establecen una serie de objetivos intermedios que a continuación se relacionan:

- Selección de despliegues internacionales de las FAS y estudio de sus climatologías, con el fin de realizar simulaciones en condiciones climáticas notablemente diferentes.
- Análisis del comportamiento térmico de los módulos prefabricados mediante la simulación de un modelo propuesto en los distintos emplazamientos.
- Propuesta de alternativas constructivas aplicando estrategias bioclimáticas y simulación térmica de estos en los despliegues correspondientes.
- Cuantificación del ahorro obtenido con la implementación de las alternativas.

1.4 Estructura del trabajo

Una vez explicada la motivación de este trabajo y los objetivos que se esperan alcanzar en el desarrollo del mismo, se explica la estructura seguida con el fin de facilitar la comprensión del trabajo. Este Trabajo de Fin de Grado se compone de un total de cinco apartados, seguido de la bibliografía y los anexos que complementan el trabajo:

- Introducción y objetivos: este apartado pretende sintetizar la motivación de la realización de este trabajo, así como los objetivos que se marcan durante la elaboración del mismo. Por último, se plasma la estructura a seguir en el trabajo.
- Estado del arte: en esta sección se lleva a cabo la investigación y explicación de los fundamentos teóricos de las diferentes áreas que influyen en el desarrollo del trabajo.
- Desarrollo del TFG: en este apartado se describe el proceso de diseño y modelado de los distintos módulos prefabricados a partir del empleo de software específico. A continuación, se explica el proceso de introducción de información constructiva en la herramienta de simulación energética.
- Simulación y resultados: en esta sección se ejecuta la simulación de los distintos módulos diseñados. Se muestran los resultados obtenidos y se analizan. Por último, se comparan las demandas obtenidas y se cuantifican los ahorros energéticos y económicos.
- Conclusiones y líneas futuras: En este último apartado se exponen las conclusiones obtenidas durante la realización del trabajo, así como el planeamiento de líneas futuras que contribuyan a mejorar el trabajo o complementarlo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Crisis energética mundial

La actual crisis energética, en contra de la creencia popular, no comenzó con la invasión de Ucrania por parte de la Federación Rusa en febrero de 2022, sino que lo hizo al final del verano de 2021. El repunte económico tras el fin de los confinamientos mundiales por la COVID-19 disparó el consumo global de energía. Durante los últimos meses de 2021 los mercados de petróleo, gas natural y carbón disminuyeron, provocando una subida de los precios, debido a que la demanda era mayor que la oferta.

Esta crisis energética se fue agravando hasta convertirse, tras la invasión de Ucrania por parte de Rusia, en la crisis energética mundial que se conoce hoy en día. El gas natural alcanzó precios históricos, haciéndolo también, en consecuencia, la electricidad en algunos mercados (Figura 2-1). Los precios del petróleo se situaron en su nivel máximo desde 2008. A estas subidas de precios debido a la poca oferta de las principales fuentes de energía, hay que sumarle que Europa históricamente ha tenido una dependencia energética de Rusia (hasta 2021 un cuarto de la energía consumida por la UE venía de Rusia) que tras las sanciones que, junto a Estados Unidos, impusieron sobre Rusia, esta fue restringiendo cada vez más las exportaciones a través de los gasoductos e incrementando el precio a sus principales compradores, contraatacando así a estas sanciones impuestas.

Europa, en un intento de sustituir el gas ruso, ha ofrecido a los principales proveedores de gas natural licuado (GNL) un mayor precio de compra, lo que ha incrementado los precios y reducido el suministro a los tradicionales clientes en Asia, extendiéndose de esta manera esta crisis a esos países.

En definitiva, a diferencia de la gran crisis del petróleo de los años setenta, que perjudicó esencialmente al petróleo, esta crisis se caracteriza en que afecta a todos los combustibles fósiles y que, debido a la globalización, el impacto en la economía ha sido y está siendo un terremoto sin precedentes, que ha afectado tanto a los países de occidente, como a las principales potencias asiáticas. Por este motivo, podemos decir que nos encontramos ante la primera crisis energética verdaderamente mundial [3].

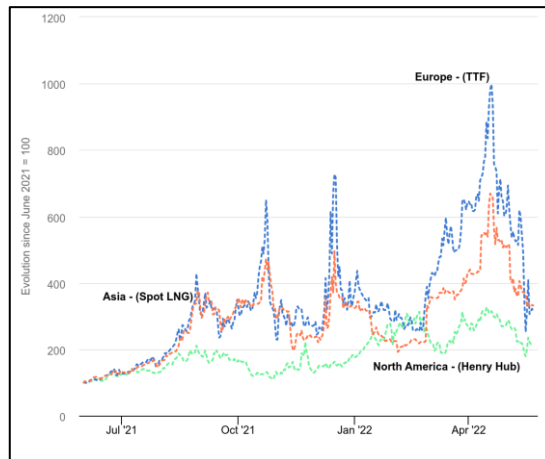


Figura 2-1 Evolución del precio del gas natural entre 2021 y 2022 [3]

2.2 Cambio climático

El año 2019 fue el segundo año más caluroso de todos los tiempos marcando el final de la década más calurosa jamás registrada. Por otro lado, los niveles de dióxido de carbono (CO_2) y otros GEI en la atmósfera aumentaron hasta niveles récord ese mismo año [4].

Esta tendencia ascendente de las temperaturas globales, la subida del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos cada vez más extremos, son consecuencias inequívocas del conocido cambio climático, que afecta a todos los países de todos los continentes, en su economía y en las distintas vidas, ocasionando graves problemas en la salud de las personas y ecosistemas.

A lo largo de la historia, el clima de la Tierra ha sufrido cambios importantes debido a causas naturales. Por ejemplo, en el último periodo glaciario, en el cual las temperaturas de la Tierra eran más bajas que actualmente y los glaciares ocuparon grandes extensiones de la superficie terrestre. Pero el actual cambio de clima es diferente a los anteriores. Desde el comienzo de la Revolución Industrial la subida de las temperaturas ha sido causada por la actividad humana debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, los cuales generan emisiones de gases de efecto invernadero que envuelven la Tierra atrapando el calor del Sol y elevando las temperaturas. En general, la temperatura media de la Tierra es ahora $1,1^\circ\text{C}$ mayor respecto a los niveles preindustriales (Figura 2-2). Esta subida de temperaturas se traduce en olas de calor, sequías intensas, incendios, deshielo de los polos y una reducción del número de días fríos anuales [5].

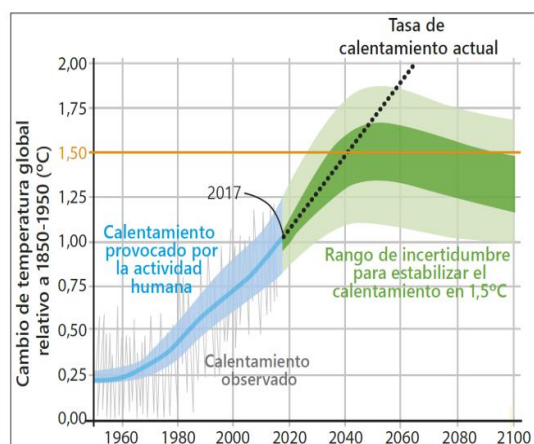


Figura 2-2 Proyección del aumento de la temperatura media global [6]

Es por esto por lo que el cambio climático se ha convertido en los últimos años en un tema de gran interés para los Estados occidentales y las principales organizaciones internacionales, las cuales impulsan diferentes políticas y medidas para hacer frente al problema. A pesar de que estas políticas ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático no se va a detener. En el año 2020, en pleno auge de la COVID-19, gracias a las restricciones de movimiento y las recesiones económicas, las emisiones de los gases de efecto invernadero cayeron un 6%. Sin embargo, una vez que las empresas paralizadas comenzaron a funcionar y la economía global comenzó a recuperarse, los niveles de CO₂ alcanzaron valores jamás antes vistos [7]. No obstante, estas políticas resultan muy efectivas para reducir el impacto del calentamiento global, por lo que todos los países deben tomar medidas en lo que respecta al clima, siendo los países como China, Estados Unidos, India, la Unión Europea, Indonesia, Rusia y Brasil (mayores países emisores de 2022 según la ONU) los principales responsables de tomar la iniciativa a nivel global [6].

2.2.1 Acuerdo de París

La 21ª Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) celebrada en diciembre de 2015 en París, marcó un antes y un después en la lucha global contra el cambio climático. Se llegó a un consenso, conocido como Acuerdo de París, donde se estableció por primera vez una causa común por parte de todas las partes firmantes (55 países que suponen el 55% de las emisiones mundiales). En este acuerdo se centraron en reforzar la respuesta mundial al cambio climático mediante la implementación de un plan de acción mundial con el objetivo de limitar el incremento de temperatura global por debajo de los 2°C respecto a niveles preindustriales [6].

Según informes promulgados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) el Acuerdo de París es insuficiente para limitar el calentamiento global a 1,5°C ya que actualmente la temperatura media global está aumentando a un ritmo de 0,2°C por década, alcanzando el calentamiento objetivo entre los años 2030 y 2052 [5].

En la COP28 celebrada en noviembre de 2023 se llegó a la conclusión de que los objetivos del Acuerdo de París están aún muy lejos de la realidad, estableciendo una política de transición energética con una dirección clara: eliminar los combustibles fósiles en pro de las energías renovables. Esta iniciativa es conocida como la Coalición Net Zero. Es por ello que todas las organizaciones y empresas están adaptando todos sus procesos, productos y sistemas a esta nueva era energética [8].

2.3 Eficiencia energética

La Real Academia Española (RAE) define el término eficiencia como la capacidad de lograr los resultados deseados empleando el mínimo posible de recursos [9]. Por lo tanto, la eficiencia energética se entiende como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, manteniendo el confort y la calidad de vida y protegiendo el medio ambiente.

Actualmente, la eficiencia energética es un término ampliamente utilizado ya que es una de las mejores herramientas para combatir el cambio climático, y se refiere a la aplicación de tecnologías que permitan reducir el consumo total de energía al llevar a cabo una actividad o un proceso, consiguiendo los mismos resultados. Desde comienzos de siglo, los países europeos han ido concienciándose y adaptando sus políticas en búsqueda de la sostenibilidad y eficiencia energética.

2.3.1 Eficiencia energética en las FAS

El Ministerio de Defensa en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), en el ámbito de la sostenibilidad energética, marcó como uno de sus objetivos tecnológicos la “*Generación de energía y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas*”. En este documento se define

como primordial la disminución de la dependencia energética y la mejora de la seguridad energética en Bases, Acuartelamientos y Establecimientos militares (BAEs) [10].

En la actualidad, la generación de energía eléctrica en BAEs en zona de operaciones se realiza, casi exclusivamente, mediante grupos de electro generadores diésel debido a la inexistencia o escasa fiabilidad de las redes eléctricas locales. El abastecimiento de este recurso energético precisa de convoyes logísticos, cuya movilidad se enfrenta a grandes problemas debido a la continua amenaza del enemigo en estas zonas. Reducir la necesidad logística en zona de operaciones evitaría grandes pérdidas tanto humanas como materiales. Por ejemplo, en Afganistán se observó una correlación directa entre el combustible consumido en las BAEs y número de bajas debido a los ataques a las cadenas de suministro.

La optimización de la eficiencia energética en estas instalaciones requiere un enfoque integral. En primer lugar, la incorporación de sistemas de generación de energía basados en recursos renovables disponibles in situ puede disminuir en gran medida el consumo de combustible en los grupos electrógenos. Por otra parte, para aumentar la eficiencia y la resiliencia en la zona de operaciones, se debe desarrollar la capacidad de producir combustibles in situ a pequeña escala, mejorar la eficiencia de los sistemas de climatización, así como el desarrollo de sistemas constructivos y materiales que reduzcan la demanda energética en climatización.

Hoy en día, el consumo de las BAEs no es nada despreciable. En 2012 las operaciones de mantenimiento de la paz de la ONU representaban el 55% de las emisiones de GEI de todas sus actividades [11]. El consumo de combustible supuso un gran problema principalmente en la misión “International Security Assistance Force” (ISAF) en Afganistán. En este despliegue se consumían más de 6,8 millones de litros de combustible al día. En la BAE española Ruy González de Clavijo se requería una media de 30.000 litros diarios de combustible para abastecer 730 contenedores de 20 pies. Estos consumos se repartían en un 20% iluminación y 80% en calefacción y aire acondicionado. Estos datos dan como resultado un consumo de 10,95 millones de litros de combustible al año únicamente para el funcionamiento de contenedores [11]. Es por esto que al Ministerio de Defensa le interesa investigar en distintas alternativas para ser un referente en la eficiencia de sus BAEs.

Sin embargo, la aplicación de estos objetivos tecnológicos no debe eclipsar el principal objetivo de las FAS: la Defensa Nacional, así como la defensa de la soberanía nacional en el exterior. La Directiva 2006/32/CE, de 5 de abril sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos, en su artículo 2, establece que: *“las fuerzas armadas, 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”*[12].

2.4 Importancia de los módulos prefabricados en misiones de las Fuerzas Armadas

Las FAS desempeñan un papel crucial en misiones en el exterior, siendo una extensión de la diplomacia y la seguridad nacional. La presencia de las FAS en aquellos países en los que son requeridos garantiza la estabilidad en entornos conflictivos, protegiendo los intereses estratégicos y humanitarios. Para ello, es necesario la creación de bases para tener un lugar seguro en el que coordinar las operaciones, almacenar suministros, llevar a cabo el adiestramiento del personal y llevar a cabo las actividades diarias esenciales.

Estas bases son construidas principalmente a partir de contenedores modulares (Figura 2-3) destinados a distintos servicios de campaña, como cocina, frigoríficos, duchas y aseos, almacenes de armamento y munición, así como alojamientos y espacios de vida. Los contenedores prefabricados ofrecen una infraestructura rápida, adaptable y fiable, resultando idóneas ante situaciones de emergencia y desastres, entornos en los que trabajan nuestras FAS.



Figura 2-3 Base US Army en Irak a partir de módulos prefabricados por CORIMEC [13]

Dos de los factores que hacen de los módulos prefabricados la opción a la que acude el Ministerio de Defensa a la hora de establecer bases en el exterior son su transportabilidad y ahorro económico. En primer lugar, su transportabilidad. Al ser plegables, su volumen se reduce considerablemente a la hora de ser transportado. Las Fuerzas Armadas cuentan con grandes medios de transporte como pueden ser los aviones de transporte del Ejército del Aire y del Espacio Airbus A400m, los buques anfibios de la Armada L-51 Galicia, L-52 Castilla y L-61 Juan Carlos I, así como el buque de aprovisionamiento logístico del Ejército de Tierra A-06 Ysabel. Por otro lado, entrando en el aspecto económico, la adquisición de estas estructuras presenta un gran ahorro económico a las FAS. La construcción modular se estima que presenta un ahorro entorno al 30% [14] respecto al empleo de las técnicas habituales. Teniendo en cuenta que la permanencia de las unidades en zonas de operaciones no es permanente, debido al entorno incierto y cambiante en el que nos encontramos, para las FAS la adquisición de estos módulos se convierte en una inversión a largo plazo que podrán ir reutilizando según las necesidades del servicio. Paralelamente, el mantenimiento de estas construcciones frente al uso de construcciones tradicionales presenta otro gran ahorro económico, ya que, al ser un complejo de distintas piezas ensambladas, el recambio de piezas no implica mayor coste que la adquisición de la pieza a reemplazar.

A continuación, se describen las distintas empresas que, a lo largo de la historia de las FAS, han prestado servicio a la construcción de bases militares en el exterior.

2.4.1 CORIMEC Italiana S.p.A

Esta compañía italiana es una de las empresas líderes en el ámbito del diseño y la construcción modular. Esta empresa es especialista en la construcción de campos base y proyectos de llave en mano. Corimec trabaja en distintos sectores, destacando en la industria minera, de construcción, explotación de petróleo y gas natural y, en lo que concierne a este proyecto, campamentos militares.

CORIMEC (Figura 2-4) cuenta con los certificados: EN ISO 9001:2000 “Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos”, BS OHSAS 18001:2007 “Sistemas de gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo” y EN ISO 14001:2015 “Sistema de Gestión Ambiental” aplicada a cada etapa de fabricación, lo que garantiza que cada cliente reciba un servicio de alta calidad. Esta garantía de calidad permite a Corimec a colaborar con distintos socios internacionales. Tanto es así, que a lo largo de los últimos años Corimec ha trabajado con más de 40 países distintos [13].

En el ámbito militar, Corimec ha participado en numerosas misiones en el exterior, construyendo bases en: Irak, Kuwait, Qatar, Jordania, Bosnia, Kosovo y Afganistán.



Figura 2-4 Logo Corimec Italiana S.p.A [13]

2.4.2 ARPA Equipos Móviles de Campaña S.A.U.

ARPA Equipos Móviles de Campaña (EMC) (Figura 2-5) es una empresa española fundada por D. Antonio ARPA Romero en 1968 consolidada en la actualidad como líder absoluto en Ingeniería y fabricación de productos para los sectores Defensa y Seguridad, así como para el sector civil. ARPA está especializada en las construcciones modulares que se encarga de diseñar, fabricar, transportar, instalar y mantener campamentos, dotados de: energía, agua, saneamiento, alojamiento, residuos, alimentación, salud, comunicaciones y logística.

Esta empresa está presente en más de 60 países, trabajando para organizaciones como Naciones Unidas, OTAN o Ministerios de Defensa, así como para empresas tecnológicas civiles. Además, ARPA cuenta con los certificados ISO-9001, ISO 14001, PECAL-2110 “Requisitos OTAN de aseguramiento de la calidad para el diseño, el desarrollo y la producción” [15]. Estos certificados garantizan el cumplimiento de los más altos estándares de calidad.



Figura 2-5 Arpa construcción modular [15]

2.4.3 TECNOVE S.L.

Tecnove S.L es una empresa ciudadrealeña nacida en 1986 líder en España en la fabricación de carrozados, transformación y acondicionamiento de vehículos y actualmente ha ampliado su actividad empresarial al ámbito de la construcción de campamentos, a partir de contenedores de 20 pies, y mantenimiento de instalaciones. En el ámbito de construcción, emplean técnicas de construcción modular buscando siempre la eficiencia energética, la optimización del material y la durabilidad.

Tecnove está formada por nueve empresas dedicadas a distintos sectores como son el de defensa, seguridad, sanidad y transporte entre otros. En el sector de defensa y seguridad, Tecnove es de los principales proveedores del ejército y demás cuerpos de seguridad del estado. Además, es proveedor de organizaciones internacionales como OTAN, Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Unión Europea (UE).

Esta empresa cuenta con las certificaciones de calidad pertinentes que la avalan como una empresa garante en términos de calidad. Entre ellas se encuentran los certificados ISO-9001, ISO 14001, ISO 45001 “Sistema de gestión de Seguridad y Salud Laboral” y PECAL 21109 [16].

Entre sus proyectos más destacados se encuentra la construcción de la Base Juan Carlos I (véase Figura 2-6). ubicada en el archipiélago Shetland, en la Antártida.



Figura 2-6 Base Juan Carlos I en la Antártida remodelada por Tecnové S.L [16]

2.5 Misiones internacionales

En la actualidad, las FAS españolas participan en 17 misiones en el exterior (Figura 2-7), contando con más de 3.000 militares y guardias civiles desplegados en cuatro continentes [17]. En la última sesión del 27 de diciembre de 2023, el Consejo de Ministros ha extendido hasta 2025 la presencia de unidades militares españolas en operaciones de mantenimiento de la paz bajo el respaldo de la ONU, OTAN y la UE.

Bajo mandato de la ONU, España lidera el sector este en la misión en el Líbano (la más numerosa, con más de 700 militares), también dispone de personal destinado en Colombia realizando observación sobre el acuerdo de paz establecido. Aunque en la actualidad no hay ninguna misión activa, nuestras FAS han desplegado en el continente americano para misiones de Ayuda Humanitaria en Haití, Chile o México.

En el marco de la OTAN, en 2024 España liderará el battlegroup de la operación Enhance Forward Presence (EFP) Eslovaquia y mantendrá el actual contingente en Efp-Letonia. Además, España está presente en todas las misiones militares que la Unión Europea desarrolla en el continente africano, como los despliegues en Mali, República Centroafricana, Somalia y Senegal. Por último, las FAS están presentes en la Antártida realizando la Campaña Antártica del Ejército de Tierra.



Figura 2-7 Participación 2024 de militares españoles en operaciones en el exterior [17]

Todas estas misiones suelen tener una durabilidad de unos seis meses por rotación, y la gran mayoría requiere la instalación de bases militares en los países en los que se desarrollan los despliegues. Es por ello por lo que el uso de módulos resulta un recurso óptimo para estas misiones.

Dentro de este gran abanico de despliegues, se han seleccionado siete de ellos con distintas climatologías para poder someter estos módulos a situaciones climatológicas diferentes y estudiar la eficiencia de los materiales y buscar la configuración de materiales óptima para cada despliegue. Los despliegues escogidos son: Inherent Resolve/ NMI (Irak), EUFOR Althea (Bosnia-Herzegovina), Operación Libre Hidalgo (Líbano), EUTM-MALÍ (Mali), Enhanced Forward Presence (EFP) (Letonia), Campaña Antártica (La Antártida) y Operación Hispaniola y Mar Caribe (Haití) (véase Figura 2-8).

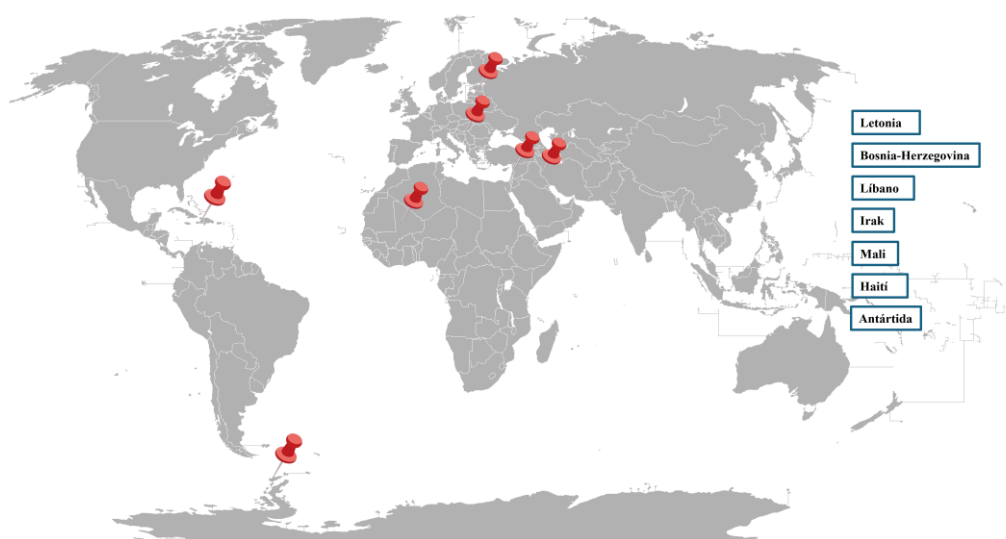


Figura 2-8 Localización despliegues escogidos

2.5.1 *Inherent Resolve/ NMI (Irak)*

España junto a las FAS de otros países, se encuentran contribuyendo al fortalecimiento de las fuerzas iraquíes, desde el año 2015, dentro de una fuerza multinacional conjunta, con el fin de derrotar al DAESH y alcanzar los objetivos establecidos por el mando conjunto. De la misma manera, desde octubre de 2018, asesora al gobierno de Irak en ámbitos de seguridad nacional y ayuda a desarrollar su sistema educativo profesional militar en la llamada Misión de la OTAN en Irak (NMI).

La operación Inherent Resolve cuenta con más de 170 militares españoles integrados en el Cuartel General. Tanto la fuerza, como el personal de apoyo, contribuyen a la Coalición internacional con el propósito de proporcionar adiestramiento y capacitación a las fuerzas de seguridad iraquíes en su combate contra el DAESH. Estas actividades se llevan a cabo en el Baghdad Diplomatic Support Center, donde las unidades de servicio contraterrorista iraquí (CTS) son adiestrados por unidades de operaciones especiales (SOTG) propias (Figura 2-9). Además, España proporciona helicópteros Cougar para proporcionar transporte a las tropas de la Coalición. Esta unidad de helicópteros está encuadrada en la Task Force Toro y está desplegada en la base aérea de Al Asad.

Por otro lado, en la NMI, las FAS españolas se mantienen dando apoyo a la seguridad y contra el terrorismo en Irak. Para ello cuenta con más de 120 efectivos [18].



Figura 2-9 Personal español llevando a cabo actividades de adiestramiento a personal iraquí [18]

En cuanto a su clima, Irak tiene un clima mayormente desértico, con veranos muy calurosos y secos con temperaturas que superan los 40°C. Los inviernos son suaves, con temperaturas diurnas moderadas y noches frías.

En la región del norte el clima es más fresco y húmedo debido a su proximidad a las montañas. Las lluvias son escasas y se concentran principalmente en invierno, siendo más abundantes de diciembre a febrero. Sin embargo, las sequías y la desertificación son desafíos ambientales muy comunes en el lugar [19].

2.5.2 EUFOR Althea (Bosnia-Herzegovina)

En esta operación, la Unión Europea contribuye militarmente a la estabilización e integración de Bosnia y Herzegovina en la familia europea de naciones. La misión de los soldados españoles allí destinados colabora en el desarrollo de las FAS de Bosnia- Herzegovina mediante el asesoramiento en las áreas de doctrina, interoperabilidad, estandarización y adiestramiento para lograr que tengan las mismas capacidades que el resto de los países pertenecientes a la OTAN.

El conflicto en Bosnia-Herzegovina se remonta a 1992, cuando estalló una guerra que costó la vida a más de 100.000 personas. Finalmente, con la ayuda de la OTAN, en 1995 se puso fin a la guerra con la firma de los Acuerdos de Dayton. Con este acuerdo se estableció una estructura de gobierno para el país y dividiéndolo en dos entidades autónomas, la Federación de Bosnia y Herzegovina y la República Srpska.

La Operación Althea representa un compromiso global y coherente de la Unión Europea con Bosnia y Herzegovina. Fue lanzada el 2 de diciembre de 2004, 9 años después del final de la guerra. Esto se debe a que la OTAN cedió su propia misión de mantenimiento de la paz que había mantenido la seguridad en la región desde el final de la guerra (SFOR) a la UE (EUFOR) que mantuvo los mismos

objetivos que la OTAN. ALTHEA es la mayor operación militar en la que se ha embarcado la UE [20]. En la Figura 2-10 se muestra infantes de marina españoles participando en la Operación ALTHEA.



Figura 2-10 Infantes de marina en Bosnia-Herzegovina [21]

Bosnia-Herzegovina presenta un clima variado debido a su ubicación geográfica. En general, el clima es continental, veranos cálidos e inviernos fríos. Sin embargo, en las regiones montañosas del país, como en los Alpes Dináricos, el clima es alpino, con inviernos largos y nevados. Por otro lado, en las áreas costeras, como en Herzegovina, el clima es mediterráneo, con veranos calurosos y secos e inviernos suaves y húmedos. Las precipitaciones varían significativamente según la región y la altitud, siendo más abundantes en las áreas montañosas [19].

2.5.3 Operación Libre Hidalgo (Líbano)

Originalmente, la Fuerza Provisional Naciones Unidas en el Líbano (FPNUL) fue creada por el Consejo de Seguridad en marzo de 1978 para garantizar la retirada israelí del Líbano, restablecer la paz y la seguridad internacionales y ayudar al Gobierno del Líbano a restaurar su autoridad efectiva en la zona.

Después de la crisis ocurrida entre Hezbollah e Israel en julio y agosto de 2006, el Consejo de Seguridad fortaleció la Fuerza y decidió que, además de su mandato original, supervisaría el cese de las hostilidades, respaldaría el despliegue de las fuerzas armadas libanesas en el sur del Líbano, y ampliaría su ayuda para asegurar el acceso humanitario a las poblaciones civiles y facilitar el retorno seguro de las personas desplazadas. Es por esto por lo que las FAS españolas fueron desplegadas en septiembre de 2006.

El grueso de las fuerzas españolas se sitúa al noreste del país, cerca de la localidad de Marjayún en la base Miguel de Cervantes. También hay personal español en el suroeste del país, en Naqoura, donde se encuentra el Cuartel General de la misión (véase Figura 2-11).

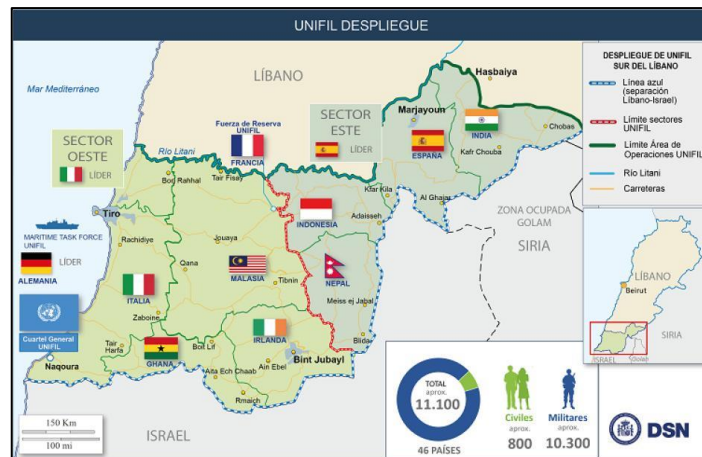


Figura 2-11 Plano de distribución de fuerzas en el Líbano [22]

Los militares españoles se encargaban de realizar patrullas para vigilar de manera constante la línea de separación entre el Líbano e Israel. También colaboraban en ejercicios conjuntos con las Fuerzas libanesas con el fin de evitar que se produjera una escala de tensión entre las partes.

En la actualidad, la Brigada Multinacional Este se encuentra bajo el mandato español (Figura 2-12). Este contingente está compuesto por más de 3500 efectivos de 9 nacionalidades diferentes, entre los cuales se encuentran alrededor de 650 militares españoles [23].

La misión se encuentra finalmente inmersa en una fase de estabilización en la que se pretende que las FAS libanesas puedan controlar la situación sin la ayuda de la FPNUL.



Figura 2-12 Relevo de mando sector este FPNUL [23]

En cuanto a su climatología podemos distinguir entre tres zonas diferentes, debida a su diversidad geográfica [19]:

- En la zona oeste del país, bañada por el mar Mediterránea, se caracteriza por veranos muy húmedos y cálidos. Los inviernos son lluviosos y fríos.
- En las zonas montañosas predomina un clima montañoso, bajas temperaturas y nieve abundante.
- En la zona central del país, todo lo ocupado por el valle de Bekaa, se dan unos inviernos fríos y secos con nevadas. Los veranos son cálidos y secos.

2.5.4 EUTM-MALI (Mali)

Este despliegue de la UE tiene como misión el entrenamiento y asesoramiento al ejército de Mali con el objetivo de reforzar las capacidades de las FAS de Mali para conseguir que sean autosuficientes y capaces de llevar a cabo la defensa de su población y su territorio. Esta misión fue acordada el 18 de febrero de 2013 por los ministros de Asuntos Exteriores de la UE como consecuencia de la rebelión de los Tuaregs, que unidos al Movimiento Nacional para la Liberación de Azawad (MNLA), se alzaron en armas contra el gobierno central de Bamako. Esto dio pie a un golpe de estado que acabó con la entrada de terroristas Yihadistas al país y el establecimiento de la ley Sharia en todo el norte de Mali, provocando una crisis humanitaria y política, convirtiéndose en una amenaza para Europa.

Las FAS españolas fueron desplegadas el 1 de abril de 2013 en un campamento en la ciudad de Koulikoro, al noreste de Bamako. España llegó a desplegar más de 280 efectivos en la zona, que realizaron labores de formación de los militares malienses. España asume el mandato de la misión en el año 2018 y finalmente en 2024 retira a sus unidades de la zona de operaciones [24].

La climatología de este país es muy diversa, diferenciándose tres zonas en función de las precipitaciones registradas en cada una [19].

- En la zona norte, limitada por la ciudad de Tombouctou, predomina un clima desértico sahariano. Se registran precipitaciones inferiores a los 150 mm anuales.
- En la zona comprendida entre las ciudades de Tombouctou y Mopti se da un clima de zona saheliana, donde se registran precipitaciones inferiores a 600 mm anuales. En esta zona se distinguen tres estaciones a lo largo del año.
- En la zona más al sur del país, se distinguen únicamente dos estaciones, una más seca y otra algo más húmeda. Las precipitaciones superan los 600 mm anuales.

La base española “Centro de Entrenamiento de Koulikoro” (KTC por sus siglas en inglés) (véase Figura 2-13) se encuentra en la última de las zonas mencionadas. En esta zona las temperaturas son estables durante todo el año rondando una temperatura media que rondan los 25°C.



Figura 2-13 Módulo habitabilidad en KTC

2.5.5 Enhanced Forward Presence (Letonia)

Esta misión tiene como finalidad la disuasión de amenazas y la defensa del flanco oriental de la Alianza. Representa un importante compromiso por parte de los estados miembros y un recordatorio al resto del mundo de que un ataque contra un aliado de la OTAN es un ataque contra todos, como establece su artículo 5 “*Las Partes acuerdan que un ataque armado contra una o más de ellas, que tenga lugar en Europa o en América del Norte, será considerado como un ataque dirigido contra todas ellas, y en consecuencia, acuerdan que si tal ataque se produce, cada una de ellas, en ejercicio del derecho de legítima defensa individual o colectiva reconocido por el artículo 51 de la Carta de las Naciones Unidas,*

ayudará a la Parte o Partes atacadas, adoptando seguidamente, de forma individual y de acuerdo con las otras Partes, las medidas que juzgue necesarias, incluso el empleo de la fuerza armada, para restablecer la seguridad en la zona del Atlántico Norte. Cualquier ataque armado de esta naturaleza y todas las medidas adoptadas en consecuencia serán inmediatamente puestas en conocimiento del Consejo de Seguridad. Estas medidas cesarán cuando el Consejo de Seguridad haya tomado las disposiciones necesarias para restablecer y mantener la paz y la seguridad internacionales.” [25].

La Presencia Avanzada Reforzada de la OTAN en este país fue aprobada en la Cumbre de Varsovia en 2016, además se desplegaron cuatro grupos de combate multinacionales similares en Estonia, Lituania y Polonia. En 2022 tras la invasión de Ucrania por parte de Rusia, estos grupos de combate multinacionales se han visto reforzados con más buques, aviones y tropas, fortaleciendo aún más su postura de disuasión y defensa de la Alianza.

El papel de España en esta misión no es más que contribuir con el despliegue de distintas unidades de combate y de apoyo al combate, que se materializa en un Subgrupo Táctico Mecanizado, una Unidad de Zapadores y una Unidad Logística. Los principales medios aportados por España son los Carros de Combate “Leopard 2E” (Figura 2-14), los Vehículos de Combate de Infantería “Pizarro” y una Unidad de Defensa Antiaérea “NASAMS”. Por otro lado, el asentamiento español se encuentra en la base de Adazi, a unos 20 kilómetros de la capital letona y es compartido con unidades de distintos países [26].



Figura 2-14 Carros de combate “Leopard 2E españoles en Letonia [26]

En Adazi predomina un clima continental, aunque está muy influenciado en gran parte por la proximidad al mar Báltico, que suaviza considerablemente las temperaturas. Debido a su latitud se caracteriza por unas temperaturas medias bajas, así como una notable variación en las horas de luz diarias, oscilando entre 6 y 18 horas en función de la estación del año.

Los inviernos son fríos, con temperaturas bajo cero, siendo muy comunes las nevadas durante esta estación del año. Esta época del año cuenta con los periodos de luz más cortos, anocheciendo a las cuatro de la tarde.

Durante el verano, las temperaturas son medias oscilando entre los 10°C y los 20°C, con altas precipitaciones durante los meses de junio y noviembre [19].

2.5.6 Campaña Antártica (Antártida)

La misión española en la Antártida es la de contribuir a la presencia española en ese territorio, proporcionar apoyo logístico a los científicos que allí se encuentran. Además, se desarrollan proyectos de carácter científico de interés para el Ministerio de Defensa y de Educación y Ciencia.

Esta campaña lleva realizándose todos los veranos australes ininterrumpidamente desde la primera campaña científica en 1986, donde personal de la Armada apoyaba al personal científico pionero que se

embarcó en esta arriesgada expedición. Un año más tarde, el Ministerio de Defensa comenzó a liderar esta campaña hasta la actualidad en la que se está llevando a cabo la XXXVII campaña.

Estos proyectos científicos se llevan a cabo en dos bases españolas en el archipiélago de las Shetland del Sur. A estas bases se accede a bordo del buque de investigación oceanográfica Hespérides A-33 de la Armada. La más antigua es la BAE Juan Carlos I, inaugurada en enero de 1988. Recibió ese nombre en honor a la Casa Real por su apoyo prestado durante las Jornadas Antárticas de Madrid. Esta base está gestionada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que depende a su vez del Ministerio de Educación y Ciencia. La segunda de ellas, la BAE Gabriel de Castilla, fue inaugurada el 20 de diciembre de 1989. Esta recibe ese nombre en honor al Almirante español que en 1603 navegó por aquellas aguas e informó del avistamiento de inmensas tierras nevadas. Esta base está gestionada por el Ministerio de Defensa, más concretamente por el Ejército de Tierra. Ambas forman parte de la Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS) [27].

La BAE Gabriel de Castilla (Figura 2-15) supone una gran representación de España en este continente, mostrando una vez más la capacidad de las FAS para desarrollar cualquier tipo de misión en cualquier lugar o condición. Además, la labor del Ejército de Tierra en este lugar representa un ejemplo de cooperación e integración entre distintos actores del mundo científico y militar. Por otro lado, se demuestra la excelente cooperación entre ejércitos ya que para acceder a este archipiélago se requiere de la ayuda de la Armada con su Buque de Investigación Oceanográfica Hespérides A-33, que además sirve de centro de investigación móvil gracias a sus once laboratorios a bordo [28].



Figura 2-15 BAE Gabriel de Castilla [29]

En cuanto a su clima, en esta zona mantiene un clima polar, con temperaturas muy bajas y vientos muy fuertes. Es un clima único en el mundo, habiendo registrado vientos de 320 km/h y temperaturas de -89°C.

A pesar de tener ese clima tan extremo, en la Antártida se pueden distinguir tres zonas en la que se aprecian diferentes climatologías [19]:

- En el interior del continente predomina un clima de frío extremo. En esta zona se registran las temperaturas más bajas.
- Cerca de la costa las temperaturas son más moderadas y hay más precipitaciones.
- En la zona de la península antártica se registran temperaturas por encima de 0°C durante los meses de verano austral, entre los meses de noviembre y marzo. Por tanto, nos encontramos con un clima más cálido y húmedo.

2.5.7 Operación Mar Caribe/ Operación Hispaniola (Haití)

Ante la caótica situación y desgobierno que sufría Haití en el año 2004, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas aprobó la intervención de una Fuerza Multinacional Provisional. Tras una

resolución se creó la misión de Estabilización de Haití (MINUSTAH). La misión principal de esta Fuerza era la de mantener un entorno seguro en Haití que permitiera la provisión de ayuda humanitaria.

El 21 de julio de 2004, la ONU invitó a España a aportar fuerzas a la MINUSTAH. El Consejo de ministros decidió enviar unos 200 Infantes de Marina dando comienzo a la Operación Mar Caribe. El primer contingente, llamado Fuerza Expedicionaria para Haití (FIMEX-H) partió de España el 15 de octubre de 2004 a bordo del Buque de Asalto Anfíbio Castilla. Este contingente estableció su base de operaciones en la ciudad haitiana de Fort Liberté, frontera con República dominicana. Esta Fuerza Expedicionaria mantuvo el control de su área de responsabilidad hasta abril de 2006, de manera que se produjeron cuatro relevos durante los dos años que duró la operación. Durante esta misión, las Fuerzas españolas se encargaron de realizar patrullas por las principales rutas del departamento noreste, control de frontera y labores de apoyo a la población civil. De esta manera, España contribuía al propósito de las Naciones Unidas de establecer un entorno seguro y estable en el país [30].

Esta no fue la única vez que las FAS han desplegado en este país. El 12 de enero de 2010, se produjo un devastador terremoto en la ciudad de Puerto Príncipe, capital de la República de Haití, provocando una enorme crisis humanitaria. Una semana más tarde, el Ministerio de Defensa anunciaba el inicio de la Operación Hispaniola, enviando a 423 militares, destacando que 165 eran Infantes de Marina (Figura 2-16) [31].

Esta misión duró cuatro meses y se encargaron de realizar tareas de ayuda humanitaria como la instalación de campos para gente sin hogar, potabilización de agua y rehabilitación de estructuras.

En cuanto a su climatología, Haití, ubicado en el Caribe, experimenta un clima tropical, caracterizado por temperaturas cálidas durante todo el año. La temporada de lluvias va de abril a octubre, con los meses más lluviosos entre mayo y septiembre debido a la influencia de los vientos alisios y la cercanía al ecuador. Los huracanes son una amenaza durante la temporada de huracanes del Atlántico, de junio a noviembre. Las temperaturas promedio oscilan entre los 20°C y 30°C, con variaciones según la altitud. Las zonas costeras tienden a ser más cálidas, mientras que las regiones montañosas son más frescas. La variabilidad del terreno contribuye a microclimas específicos. La deforestación y la degradación ambiental impactan en el clima y la vulnerabilidad ante desastres naturales, afectando la agricultura, la seguridad alimentaria y la infraestructura [19].



Figura 2-16 Infante de marina en Haití durante la Operación Hispaniola [32]

2.6 Modelado energético en edificación

El modelado energético en el ámbito de la construcción es una herramienta útil y versátil que posibilita la evaluación del diseño de nuevos edificios y modernizaciones desde el punto de vista energético, facilita el cumplimiento de los códigos, y la obtención de las calificaciones para créditos fiscales e incentivos de sector público.

2.6.1 Software Building Energy Modeling (BEM)

BEM (Figura 2-17) es una herramienta informática que se utiliza para la realización de análisis energéticos de edificios completos basándose en la física del empleo de la energía en los edificios, que tiene como objetivo optimizar sus procesos. Estos programas son ampliamente utilizados para el diseño, análisis térmico y control en tiempo real de los edificios. Siendo de gran utilidad para reducir costes y solventar problemas antes y después de la fabricación del edificio [33].

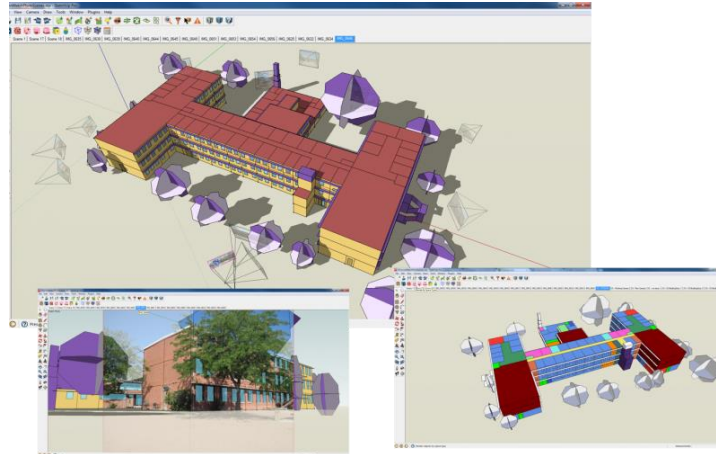


Figura 2-17 BEM [33]

Estos programas operan mediante la aplicación de un modelo matemático que proporcionan una representación lo más fiel posible del edificio real. Los programas BEM toman como entrada los diferentes de parámetros del edificio [34]:

- Orientación
- Geometría
- Materiales
- Iluminación
- Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC)
- Uso y funcionamiento del edificio
- Ocupación

Estos parámetros son combinados con información sobre la climatología del lugar donde se quiera realizar el análisis y emplea ecuaciones físicas para calcular las cargas térmicas del edificio, la respuesta del sistema a estas cargas y la demanda energética requerida en cada caso.

Las entradas, el cálculo y las salidas dependen del programa utilizado, existiendo una gran variedad de ellos en el mercado: BLAST, TRACE, EnergyPlus, OpenStudio, TRNSYS, etc [34]. No obstante, todos estos softwares comparten las mismas características y trabajan de forma similar:

- Datos meteorológicos de la ubicación del edificio a simular.
- Parámetros del edificio (geometría, materiales, etc.)
- Compartimentación del edificio en zonas térmicas.
- Parámetros de uso y funcionamiento del edificio.
- Empleo de la energía en edificios, eficiencia energética y costes.

2.6.1.1 Principales aplicaciones

El software BEM se emplea principalmente para [33]:

- Diseño arquitectónico: Los arquitectos utilizan esta clase de software para crear edificios más eficientes. Además, facilita la realización de evaluaciones objetivas y reales sobre las compensaciones cuantitativas entre los gastos iniciales de construcción y los costos operativos de energía. En la gran mayoría de los casos, un BEM puede reducir los costos de energía y los costos iniciales de construcción.
- Diseño y operación de HVAC: Este tipo de sistemas puede volverse muy complejo y de gran escala, especialmente cuando se trata de climatizar edificios de gran tamaño. El uso del software BEM permite diseñar sistemas HVAC que gestionen las cargas térmicas del edificio de manera altamente eficiente. Además, se pueden crear y evaluar estrategias de control para estos sistemas.
- Clasificación del rendimiento de un edificio: El software permite simular cómo funciona el edificio bajo condiciones específicas de operación. Esta evaluación del rendimiento energético es esencial para cumplir con los códigos aplicables, obtener certificaciones específicas y acceder a incentivos financieros gubernamentales.
- Building Stock Analysis: El análisis utilizando BEM en modelos prototipo respalda la creación de códigos y normativas por parte de organizaciones y entidades gubernamentales y locales. Esto facilita la elaboración de programas de eficiencia energética a gran escala.

Actualmente, los softwares BEM se encuentran en constante evolución, siendo cada vez más reconocidos y utilizados en estos ámbitos y ofreciendo más funcionalidades que poder aplicar.

2.6.2 Software de modelado 3D

El modelado en tres dimensiones (3D) implica la creación de una representación matemática de cualquier superficie en el espacio tridimensional, utilizando software especializado que permite manipular bordes, vértices y polígonos.

Los modelos 3D son representaciones de objetos físicos (véase Figura 2-18) que consisten en puntos conectados a través de diversas entidades geométricas como triángulos, líneas, superficies y curvas. Estos modelos pueden ser creados manualmente, mediante algoritmos o mediante escaneado. Las superficies de estos modelos pueden ser definidas con mayor detalle utilizando texturas [35].



Figura 2-18 Modelo tridimensional de un edificio de apartamentos[36]

2.7 Softwares de modelado 3D y BEM empleados

Los estudios energéticos necesarios para el desarrollo y optimización de los módulos prefabricados en los distintos despliegues internacionales se llevan a cabo mediante el uso de distintos softwares de diseño asistido por computadora (CAD) y softwares de simulación térmica.

Este trabajo, se centra en el estudio de la demanda térmica requerida por los módulos diseñados en distintas zonas climatológicas del globo empleando distintos materiales en su construcción, de manera que se podrá analizar la eficiencia de estos módulos en función de las distintas condiciones ambientales.

Por tanto, para la realización de este trabajo se requiere el uso de tres softwares específicos:

- SketchUp (Software modelado 3D)
- EnergyPlus (Software BEM)
- OpenStudio (Software BEM)

2.7.1 SketchUp

SketchUp (Figura 2-19) es un software multiplataforma que pertenece a la empresa Trimble. Concretamente es un programa de diseño gráfico, que permite a los usuarios crear, presentar y modelar en 3D de manera sencilla, intuitiva y eficiente. Esta herramienta es utilizada para conceptualizar volúmenes y formas arquitectónicas de un espacio. Es ampliamente utilizado en áreas como la arquitectura, el diseño de interiores o la ingeniería civil.

Utilizando la extensión de OpenStudio SketchUp Plug-in, los modelos tridimensionales creados en SketchUp pueden ser exportados como archivos OpenStudio Model (OSM) a OpenStudio o .IDF a EnergyPlus donde posteriormente se llevarán a cabo las simulaciones energéticas. De esta manera los softwares interactúan entre si optimizando sus capacidades [35].



Figura 2-19 Logo Software SketchUp [35]

2.7.2 OpenStudio

OpenStudio (Figura 2-20) es una colección de herramientas de software multiplataforma (capaz de operar en diferentes sistemas operativos) que permite respaldar la simulación energética de edificios en EnergyPlus.

OpenStudio es un software de código abierto lo que facilita el desarrollo comunitario, su difusión y la adopción del sector privado.

OpenStudio proporciona una interfaz de programación de aplicaciones para acceder al motor de modelado EnergyPlus. Esta interfaz presenta múltiples ventajas, destacando: una interfaz estable de control de versiones, abstracciones gráficas que facilitan al usuario final el modelado de edificios y diferentes enlaces de lenguaje de programación como Ruby, Python y C-Sharp haciéndolo más accesible para usuarios familiarizados con estos lenguajes.

El paquete de software incluye:

- Complemento OpenStudio SketchUp Plug-in.
- Aplicación OpenStudio.

- Herramienta de Análisis paramétrico

El plugin SketchUp es una extensión de la conocida herramienta de modelado 3D SketchUp de Trimble, diseñada para permitir a los usuarios generar de manera rápida la geometría requerida para EnergyPlus. Además, OpenStudio ofrece soporte para importar geometría a través de gbXML e IFC.

La aplicación OpenStudio proporciona una interfaz gráfica completa para los modelos de OpenStudio. Esta permite seguir trabajando el modelo que se ha generado en SketchUp y completarlo con más elementos que configuran el modelo de simulación, entre los que se incluyen componentes como envolventes, cargas, horarios y sistemas HVAC, datos climatológicos, materiales etc.

La herramienta de análisis paramétrico facilita el estudio del impacto de aplicar múltiples combinaciones de medidas de OpenStudio a un modelo base, así como exportar los resultados del análisis para su posterior análisis en EDAPT.



Figura 2-20 Logo OpenStudio [37]

2.7.3 EnergyPlus

EnergyPlus (Figura 2-21) es un programa de simulación energética de código abierto y multiplataforma, compatible en los sistemas operativos Windows, Mac OS X y Linux. Es utilizada como motor de cálculo de la demanda y el consumo energético en las estructuras diseñadas previamente en algún software CAD. Este software de simulación térmica permite parametrizar diferentes áreas como la calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, equipos eléctricos y procesos de manera que ofrece unos resultados muy próximos a la realidad. Todas estas características hacen de EnergyPlus una herramienta ampliamente utilizada por arquitectos, ingenieros e investigadores.

Entre las características y capacidades de EnergyPlus destacan:

- Solución integrada y simultánea de las condiciones de las zonas térmicas combinando las condiciones con los sistemas HVAC de la instalación.
- Solución basada en balances térmicos, considerando efectos radiantes y convectivos, así como cálculos de condensación.
- Horarios definibles por el usuario para la interacción entre las zonas térmicas y el medio ambiente.
- Modelo combinado de transferencia de masa y calor.
- Cálculos de iluminancia y deslumbramiento.
- Configuración avanzada de HVACs.
- Generación de resúmenes estándar e informes de salida detallados.



Figura 2-21 Logo EnergyPlus [38]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Metodología

A lo largo del apartado 3 y 4 se va a llevar a cabo el modelado y la simulación de la demanda térmica de un módulo prefabricado genérico, así como de diferentes alternativas constructivas, en distintos emplazamientos, mencionados en el apartado 2.5, que corresponden a los países donde las FAS están desplegadas en la actualidad o han estado desplegadas en su historia reciente. El criterio seguido para la selección de estos despliegues se puede resumir en:

- Tiempo que las FAS han desplegado o van a desplegar en ese lugar.
- Climatología de la zona.

De esta manera, se ha intentado escoger lugares con diferentes climatologías, para que el estudio pueda servir de orientación para adquirir módulos prefabricados energéticamente más eficientes para estos emplazamientos.

En primer lugar, se realiza un estudio sobre las construcciones modulares que las FAS han utilizado y están utilizando en sus BAEs. Se han analizado los distintos modelos que han utilizado según la función que fueran a desempeñar (habitabilidad, almacén de munición o medicamentos etc.) y las diferentes empresas que distribuyen estas construcciones, se escoge un módulo de referencia que englobe las características principales de ellas. Una vez escogido el módulo, se procede a las labores del modelado en el software SketchUp. Posteriormente, se ejecuta la simulación de este en el software EnergyPlus, donde previamente se parametriza el modelo con las características físicas (materiales, HVACs e infiltraciones) y los distintos parámetros que nos ofrece este software. Esta simulación se combina con los datos climáticos correspondientes a las distintas zonas geográficas donde queremos situar nuestra construcción.

A partir de este modelo, se propondrán distintas alternativas constructivas para los distintos emplazamientos y se cuantificarán las mejoras que estos ofrecen respecto al módulo de referencia (véase Figura 3-1).

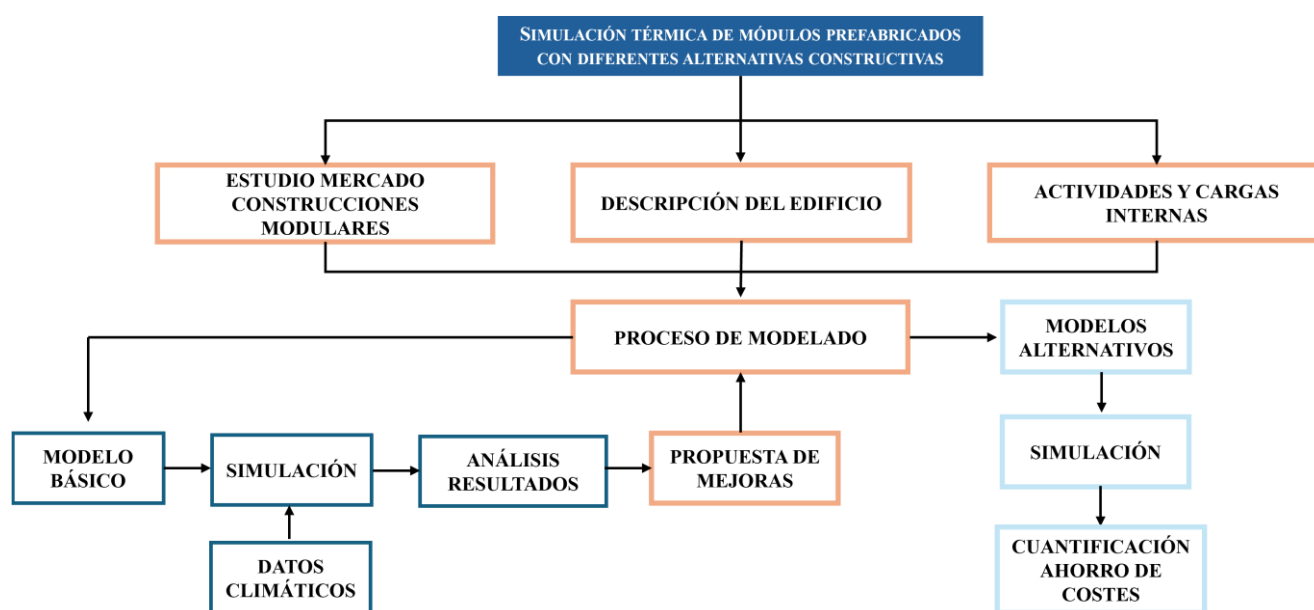


Figura 3-1 Esquema general de desarrollo del TFG

3.2 Elección del módulo

Las FAS han trabajado con múltiples empresas en los últimos años en lo que a instalación de bases militares se refiere. Estas empresas, descritas en el apartado 2.4, ofrecen distintas alternativas constructivas en el ámbito de módulos prefabricados, que a lo largo de los años han ido desarrollando y mejorando, teniendo como objetivo maximizar el confort de las unidades en zona de operaciones de la manera más energéticamente eficiente posible.

Son muchas las características que los módulos de estas empresas comparten entre sí, como son las dimensiones, materiales de construcción y la distribución de puertas y ventanas, por lo que la elección de un módulo de referencia para realizar las distintas simulaciones ha consistido en personalizar un módulo que englobe todas estas características.

Para la realización de este trabajo, se ha decidido escoger un módulo destinado a la habitabilidad del personal, ya que son los más numerosos en las BAEs y, por ende, los que, reduciendo su consumo, más impacto tienen a la hora de analizar el consumo total de una base.

3.2.1 Descripción constructiva del módulo

El módulo que se ha diseñado consiste en un contenedor de 20 pies, es decir, un paralelepípedo de 6,05 x 2,9 x 2,85 metros con una única compartimentación. En su fachada, la superficie frontal, cuenta con una puerta de 1 x 2 metros y una ventana de 1 x 1 metros. En la superficie trasera, cuenta con dos ventanas de distinto tamaño, de 1 x 1 y 0,75 x 0,75 metros respectivamente (véase Figura 3-2 y Figura 3-3).

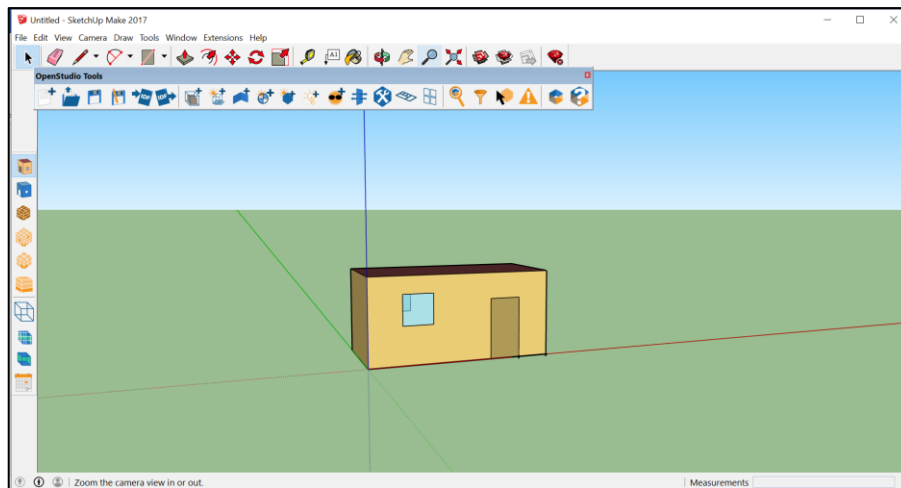


Figura 3-2 Vista frontal del módulo

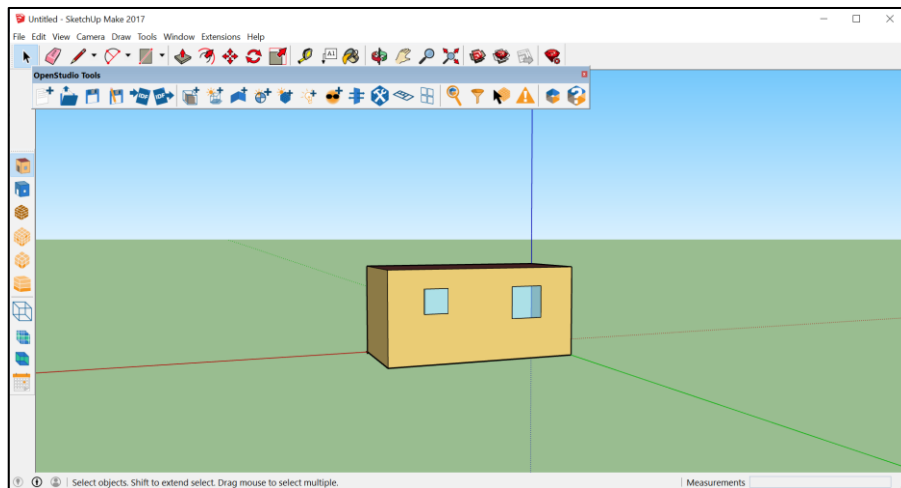


Figura 3-3 Vista trasera del módulo

En cuanto a los materiales escogidos para el diseño, el módulo está sustentado sobre un suelo de tres capas: una capa externa e interna de madera de 100 mm de espesor cada una que recubren una capa intermedia de planchas de poliestireno extruido de 200 mm de espesor. Las paredes están diseñadas con paneles metálicos tipo sándwich de 251 mm de espesor. Los paneles tipo sándwich cuentan con tres capas: una capa interna y externa de acero inoxidable de 0,5 mm de espesor y una capa central de un panel aislante de espuma rígida de poliuretano (PUR) de 250 mm de espesor. Por último, la cubierta está compuesta por tres capas diferentes, con un espesor total de 214 mm. La primera de ellas, la más externa, es una chapa corrugada de acero inoxidable de 0,5 mm de espesor. La capa interna se materializa con un falso techo de yeso de 150 mm de espesor y la capa central está constituida por una capa aislante central de colchonetas de lana de vidrio de un espesor de 63,5 mm.

La puerta está formada por tres capas: la capa externa e interna de acero inoxidable de 0,5 mm cada una y una capa intermedia a modo de aislante de poliestireno de 250 mm de espesor. En cuanto a las ventanas todas están diseñadas con un cristal termo panel de 3 mm de espesor. En la Tabla 3-1 se recogen los materiales que componen cada una de las superficies descritas, así como su espesor final.

Superficie	Materiales	Espesor [mm]
Suelo	Madera + Poliestireno extruido + Madera	400
Paredes	Acero inoxidable + PUR + acero inoxidable	251
Cubierta	Acero inoxidable + lana de vidrio + yeso	214
Puerta	Acero inoxidable + poliestireno + acero inoxidable	251
Ventanas	Vidrio	3

Tabla 3-1 Materiales del módulo

3.3 Actividades y cargas internas del módulo

Las ganancias internas de este edificio vienen dadas por las personas que hay en su interior y por las luces que iluminan el módulo.

3.3.1 Ocupación

Al tratarse de un módulo de habitabilidad con una superficie de $17,5 \text{ m}^2$, el interior estará ocupado por un máximo de cuatro personas, siguiendo así con las condiciones mínimas de habitabilidad de las viviendas y la cédula de habitabilidad del Decreto 141/2012, de 30 de octubre [40].

Por otro lado, para simplificar la simulación, se decide que la actividad a desempeñar por estos cuatro individuos será la de dormir, por lo que se le asigna 72 W por persona. Este dato se ha obtenido de uno de los manuales que ofrece EnergyPlus [38].

La ocupación del interior del módulo se simula mediante un supuesto calendario que los ocupantes deberán de seguir. El calendario (Tabla 3-2) consiste en un sistema de guardias diarias en el que cada ocupante deberá realizar una guardia cada 6 horas, dejando una hora entre relevos para realizar el aseo personal, necesidades básicas, etc. Esta actividad se va a realizar todos los días del año, simulando un despliegue anual de una unidad.

Horario	Actividad	Energía por persona [W]	Energía unidad lumínica [W]
00:00-01:00	Relevo	0	18
01:00-06:00	Dormir	72	0
06:00-07:00	Relevo	0	18
07:00-12:00	Dormir	72	0
12:00-13:00	Relevo	0	18
13:00-18:00	Dormir	72	0
18:00-19:00	Relevo	0	18
19:00-00:00	Dormir	72	0

Tabla 3-2 Calendario de actividad diaria

3.3.2 Iluminación

La iluminación del módulo prefabricado está proporcionada por tres fluorescentes compactos DTT de 18 W cada uno (véase Figura 3-4). Los parámetros de estos fluorescentes se corresponden con los de la empresa estadounidense Eaton Corporation [41]. El horario durante el que estas luces están encendidas es el reflejado en la Tabla 3-2, es decir, estarán encendidas durante los periodos de relevo.

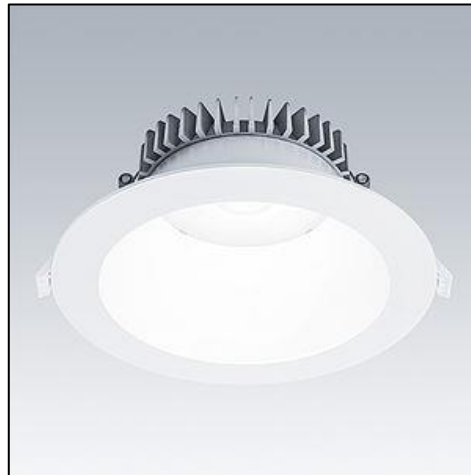


Figura 3-4 Fluorescente compacto DTT 18W

Modelo	Fracción aire de retorno [%]	Fracción radiante [%]	Fracción luz visible [%]
Fluorescente compacto DTT	0,86	0,04	0,1

Tabla 3-3 Características de los fluorescentes basado en EnergyPlus [38]

3.4 Diseño del módulo

Una vez escogido el tipo de módulo y definidos los materiales de los que va a estar compuesto, se procede al diseño de este. Para ello se han empleado diferentes softwares, descritos en el apartado 2.7, que se combinan entre sí para obtener el modelo digital del módulo. En los siguientes apartados se detallan los pasos seguidos para el diseño final del módulo.

3.4.1 Diseño geométrico

El diseño geométrico se realiza mediante el software SketchUp. En este software se dimensiona el modelo que queremos diseñar (Figura 3-2 y Figura 3-3), y se sitúan sobre las distintas superficies las puertas y ventanas correspondientes. Sin embargo, este modelo contiene únicamente información geométrica, de manera que, no hace ninguna distinción entre suelos, paredes, tejados, puertas o ventanas. De este modo SketchUp reconoce el modelo como un bloque único, sin atribuir información constructiva de este.

Para lograr que se atribuya la información constructiva correspondiente, se hace uso del OpenStudio SketchUp Plug-in. Mediante esta extensión es posible generar archivos OSM en la interfaz de SketchUp. Los archivos OSM son archivos de texto que contienen información geométrica y constructiva de un edificio, además ofrece múltiples oportunidades a la hora de añadir información al edificio, como añadir sistemas de climatización, iluminación, ocupación y mucho más. En esta etapa únicamente se incluye la información geométrica y constructiva del edificio.

Para crear un archivo OSM, se emplea la barra de herramientas de OpenStudio dentro de SketchUp (Figura 3-5).

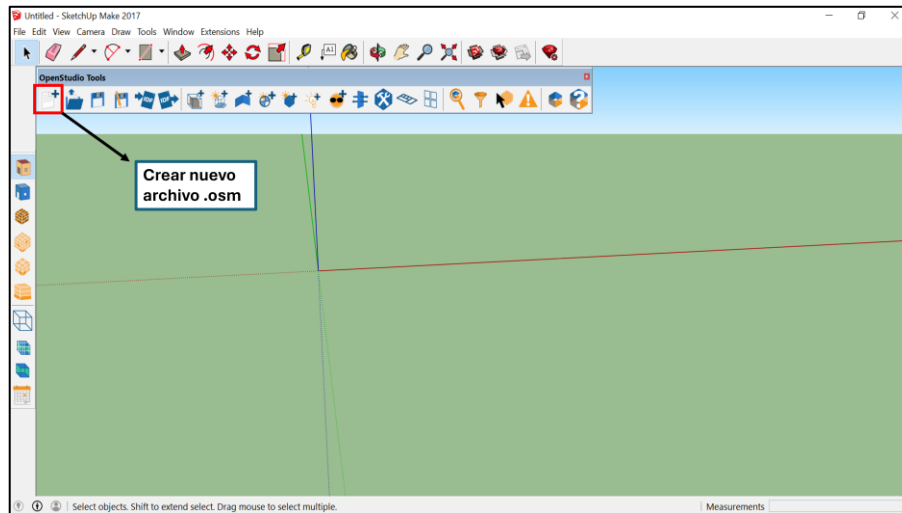


Figura 3-5 Creación nuevo archivo OSM

Una vez se crea un nuevo archivo OSM, comienza el modelado. Todo lo que se modele en la aplicación va a contener información constructiva, es decir, el software va a asignar automáticamente a las superficies, en función de donde estén situadas en el edificio, la propiedad de suelo, pared, tejado, puerta o ventana y le asigna a cada una de ellas materiales predeterminados. Estos materiales se pueden modificar posteriormente según las necesidades. Además, como se puede observar en la Figura 3-6, el software asigna un color diferente a cada tipo de superficie. De manera que facilita al usuario a distinguirlo a simple vista.

SketchUp junto con OpenStudio SketchUp Plug-in nos ofrecen multitud de herramientas para poder realizar el diseño. Las herramientas de SketchUp son las típicas en cualquier software de diseño 3D, estas proporcionan los instrumentos necesarios para realizar cualquier tipo de diseño, sin importar la complejidad de este. Por otro lado, las herramientas que brinda OpenStudio son las que aportan la información constructiva y nos permiten crear las superficies mencionadas anteriormente. Las distintas barras de herramientas se muestran en la Figura 3-6.

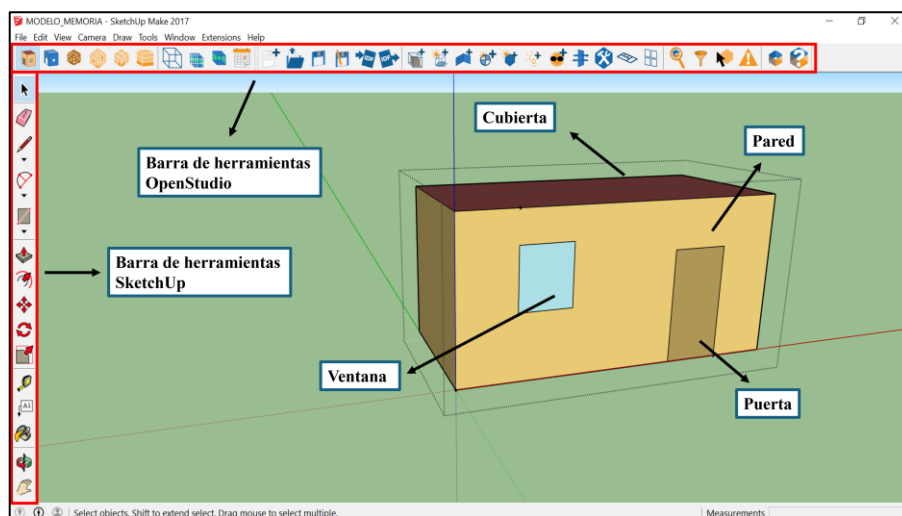


Figura 3-6 Modelado 3D y barras de herramientas SketchUp y OpenStudio

En este caso es un módulo simple, teniendo en cuenta únicamente la morfología del edificio. Esto se debe a que OpenStudio solamente reconoce superficies, por lo que no es necesario diseñar todo el

mobiliario o equipos eléctricos que le correspondería a estos módulos destinados a habitabilidad, como pueden ser camas, taquillas, lámparas, etc. Los equipos eléctricos se pueden tener en cuenta durante la etapa de simulación en el apartado de “*Internal gains*” en los softwares de simulación.

A continuación, una vez realizado el modelado, se le asignan zonas térmicas al modelo (Figura 3-7). En este caso se considera una única zona térmica que coincide con el único espacio diseñado. Recibirá el nombre de “*Thermal Zone 1*”.

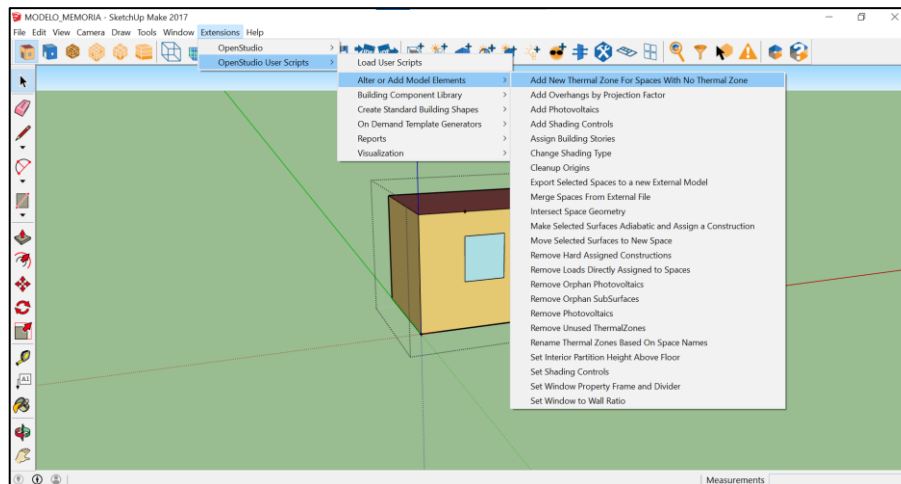


Figura 3-7 Asignar una zona térmica

Las zonas térmicas son necesarias a la hora de definir un diseño en OpenStudio. Estas se considerarán independientes durante la simulación en cuestiones de climatización, instalaciones y cargas internas. En otras palabras, se podrían definir como zonas independientes de estudio. Hay que tener en cuenta que en OpenStudio una zona térmica puede contener varios espacios, pero nunca al revés.

En caso de que el modelo tuviera diferentes compartimentaciones o de haber contemplado un modelo con dos plantas se podría asignar más de una zona térmica. La barra de herramientas de OpenStudio contiene modos de renderizado que se utilizan para cambiar cómo se renderizan las superficies de transferencia de calor, sombreado y partición interior. Uno de ellos “*Render by Thermal Zone*” renderiza cada espacio en función de la zona térmica que se le ha asignado, atribuyendo un color a cada zona térmica. Como se puede ver en el hipotético caso de la Figura 3-8, esta construcción cuenta con dos plantas asignándole una zona térmica a cada una de ellas.

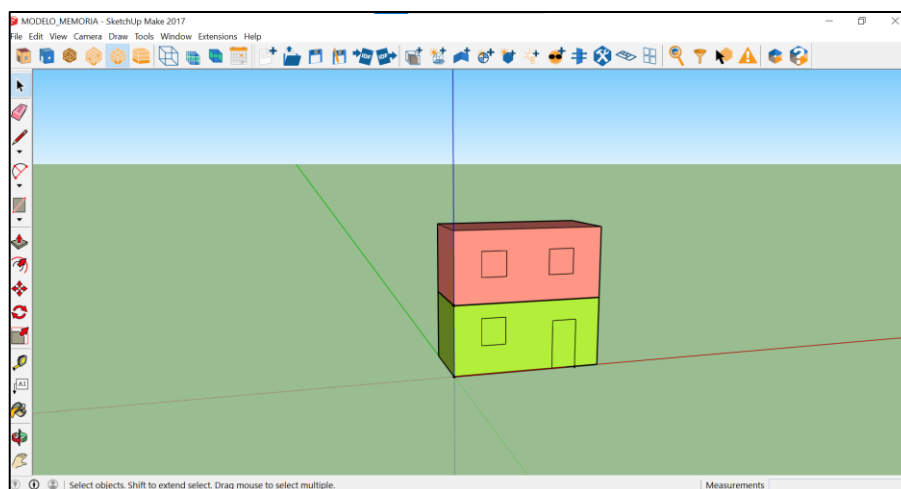


Figura 3-8 Edificio con dos zonas térmicas

Finalmente, el modelo geométrico (Figura 3-9) está listo para ser exportado en formato OSM a la aplicación OpenStudio y continuar con la parametrización del modelo.

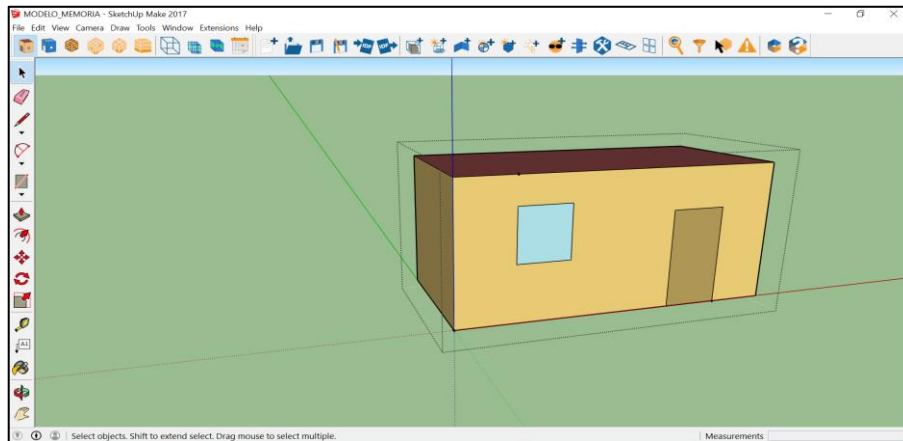


Figura 3-9 Vista final del modelo OSM configurado en SketchUp

Exportar el archivo a formato OSM se puede hacer de dos formas. En primer lugar, en la barra de herramientas de OpenStudio hacer clic directamente en “Save OpenStudio Model as” (Figura 3-10), de esta manera se guarda directamente el archivo en el directorio que se elija con extensión .osm. En segundo lugar, se puede pulsar el lanzador de OpenStudio situado en la barra de herramientas, como se muestra en la Figura 3-10. Así, automáticamente se guarda un archivo con extensión .osm y se lanza la aplicación de OpenStudio. Por otro lado, SketchUp da la opción de exportar el archivo OSM a EnergyPlus con extensión .idf (Figura 3-10). Sin embargo, suele ser una fuente de errores muy común.

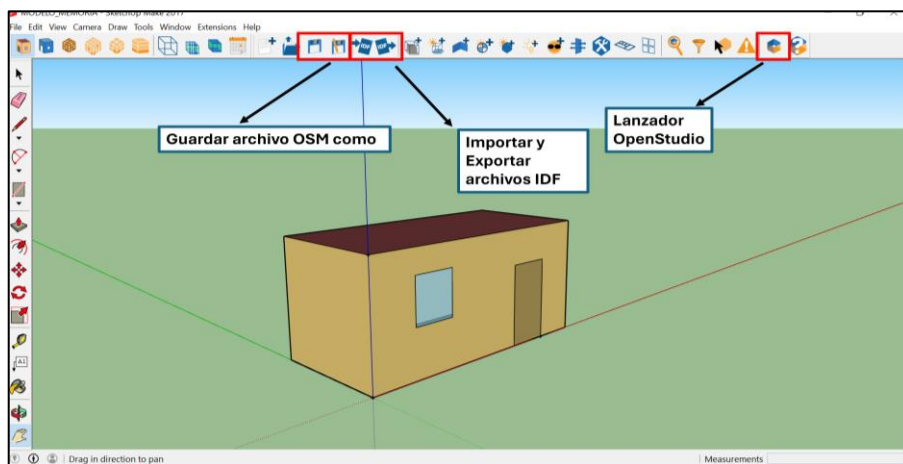


Figura 3-10 Guardar archivos OSM

3.4.2 Información constructiva

La información constructiva del edificio puede introducirse tanto desde la aplicación de OpenStudio como desde la interfaz de EnergyPlus. En este trabajo se va a trabajar en su mayoría con EnergyPlus a pesar de no tener una interfaz tan intuitiva como OpenStudio. Esto se debe a que se dispone de más información y guías del primero. No obstante, OpenStudio se ha utilizado para activar las variables de salida (Figura 3-11) de las simulaciones, no teniendo así que introducirlas manualmente en EnergyPlus.

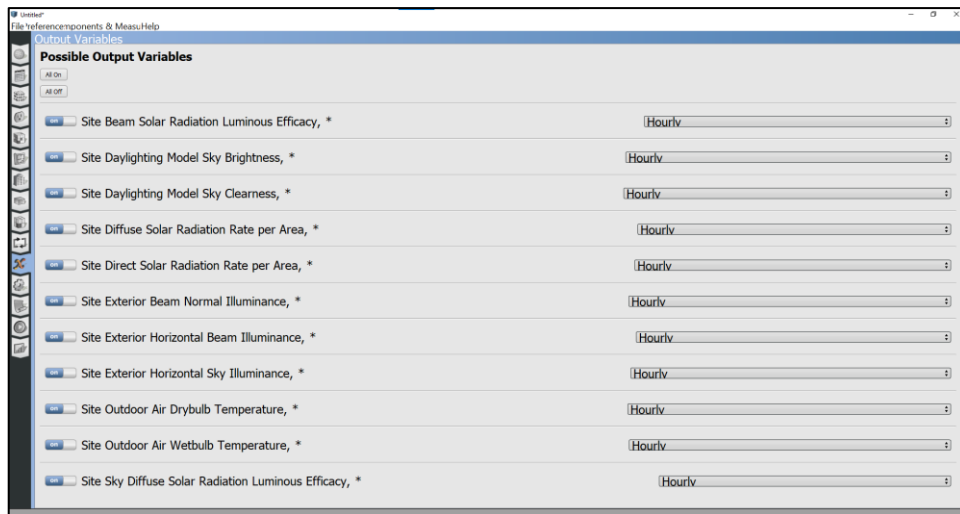


Figura 3-11 Variables de salida en OpenStudio

A continuación, se exporta el archivo en formato IDF (Figura 3-12) a través de OpenStudio para poder seguir con la configuración del modelo en EnergyPlus.

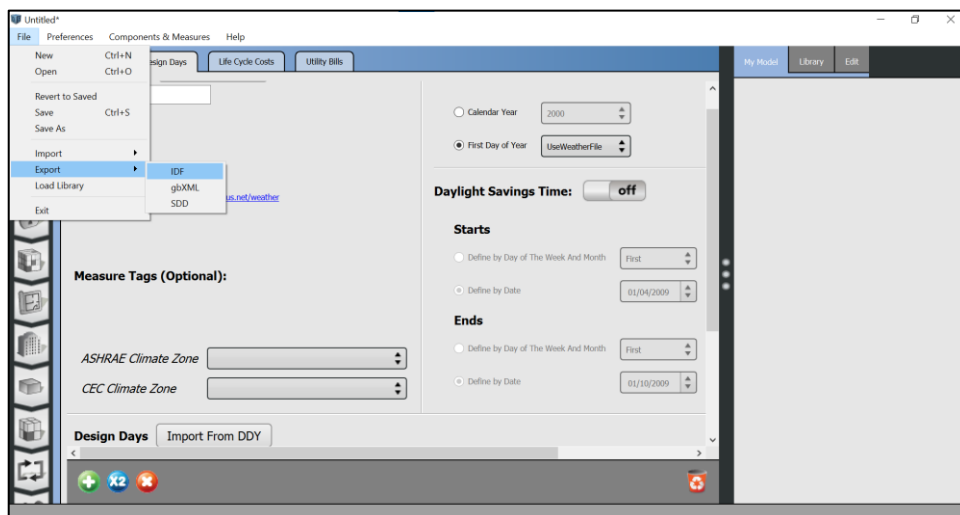


Figura 3-12 Exportar archivo como IDF en OpenStudio

Una vez guardado el archivo con extensión .idf se procede a ejecutarlo en EnergyPlus y se comienza a introducir los distintos parámetros de entrada para la simulación. Para ello se emplea el subprograma EP-Launch (Figura 3-13) y el IDF Editor.

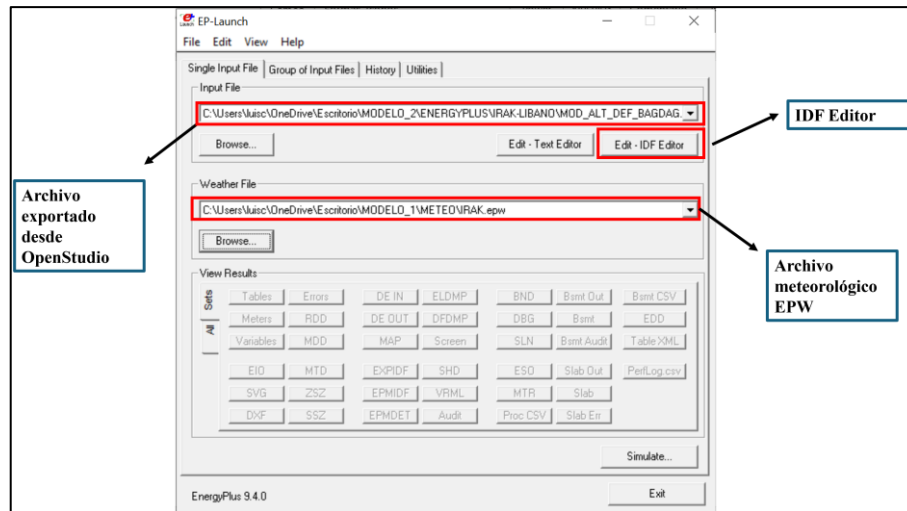


Figura 3-13 Interfaz EP-Launch

IDF Editor posibilita la inclusión de todos los componentes y características del edificio que se quiera simular. Su interfaz muestra tres partes principalmente (véase Figura 3-14):

- **Barra de herramientas:** Permite funcionalidades tales como añadir nuevos objetos, copiarlos, duplicarlos, eliminarlos y guardar archivos.
- **Class list:** Muestra una lista de todas las clases de objetos disponibles para la simulación energética. Permite una rápida navegación y selección de componentes y características de edificios para su inclusión en el modelo.
- **Objetos añadidos:** Proporciona una lista de los componentes que han sido incluidos en el modelo. Se agrupan en diferentes categorías reflejadas en la “class list” y se muestran todas sus opciones de configuración.

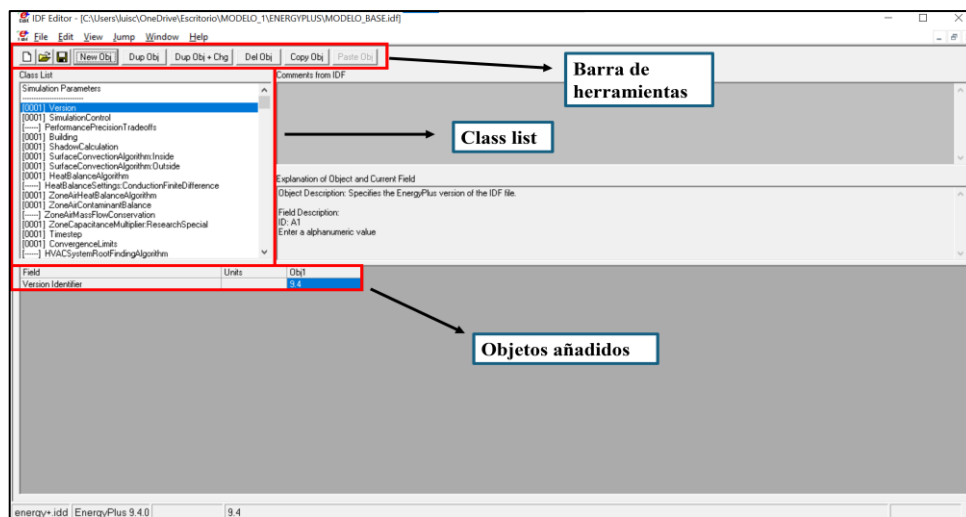


Figura 3-14 Interfaz IDF Editor

3.4.3 Materiales y construcciones

IDF Editor cuenta con librerías para cargar materiales y construcciones completas al modelo importado. No obstante, debido a que para este primer diseño no se adaptan dichas construcciones y materiales (a excepción de la ventana), se configuran los materiales y construcciones desde cero. Para las ventanas se ha utilizado el cristal que proporciona IDF Editor en su biblioteca debido a que cumple con las características requeridas (Figura 3-17). En la Figura 3-15 se muestra las diferentes librerías que ofrece IDF Editor.

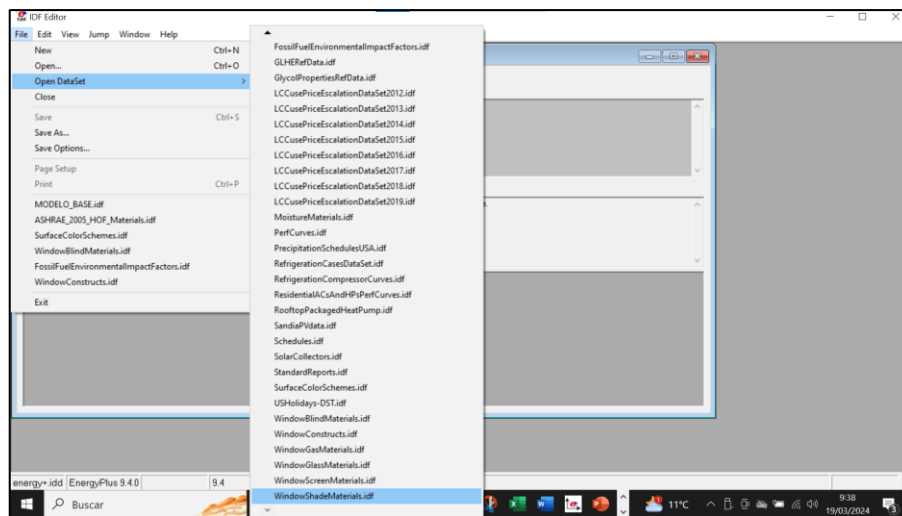


Figura 3-15 Librerías IDF Editor

La creación de materiales y construcciones se realiza en “Class list” en el apartado “Surface Construction Elements”. Este apartado cuenta con múltiples subapartados entre los que, para este primer módulo, destacan “Material” y “Construction”:

- **Material:** Permite definir materiales detallando sus propiedades (espesor [m], conductividad [W/mK], densidad [kg/m³] y calor específico [J/kg K]) (Figura 3-16).
- **Construction:** Permite definir la composición de las capas de construcción de un elemento del edificio, como paredes, techos y suelos, especificando los materiales que los componen.

Añadir nuevos materiales es una tarea sencilla. En el subapartado “Material” seleccionando “New Obj” se añaden tantos materiales como sean necesarios para la construcción. En este caso, se añaden los materiales definidos en la Tabla 3-1 (Figura 3-16).

Cabe reseñar que todas las características propias de cada material han sido extraídas del “Catálogo de elementos constructivos del CTE” [42].

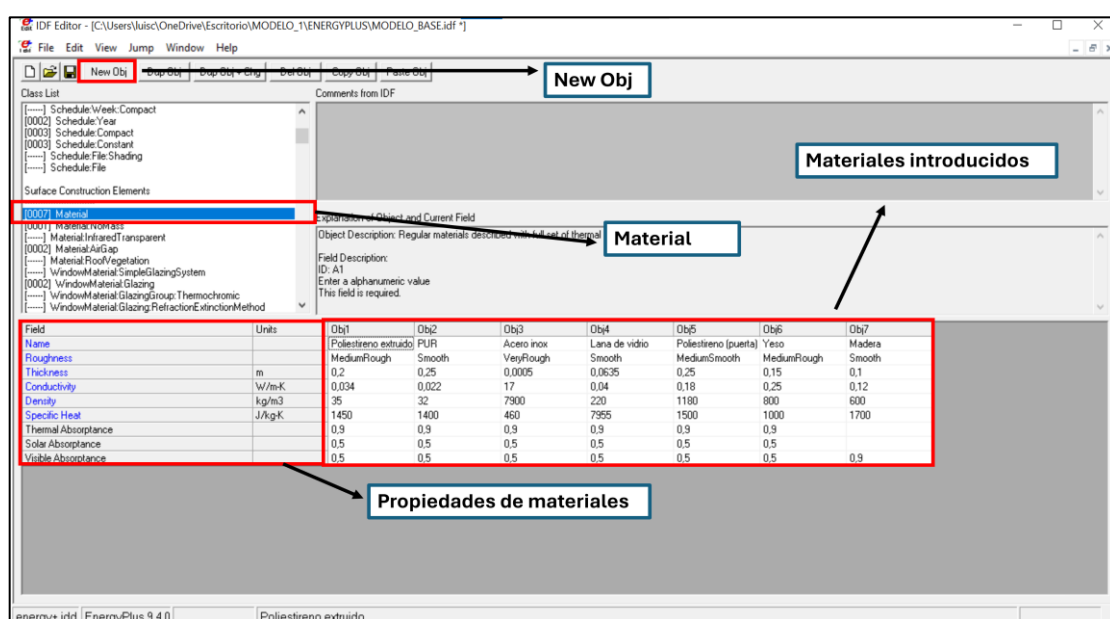


Figura 3-16 "Material"

El material del cristal de la ventana se define en el subapartado “*WindowMaterial: Glazing*”. Este subapartado permite definir las propiedades ópticas y térmicas de los vidrios utilizados en ventanas, como la transmitancia solar y térmica. Estas especificaciones son cruciales para simular el comportamiento energético y luminoso de los edificios. En la Figura 3-17 se observan las propiedades del vidrio escogido.

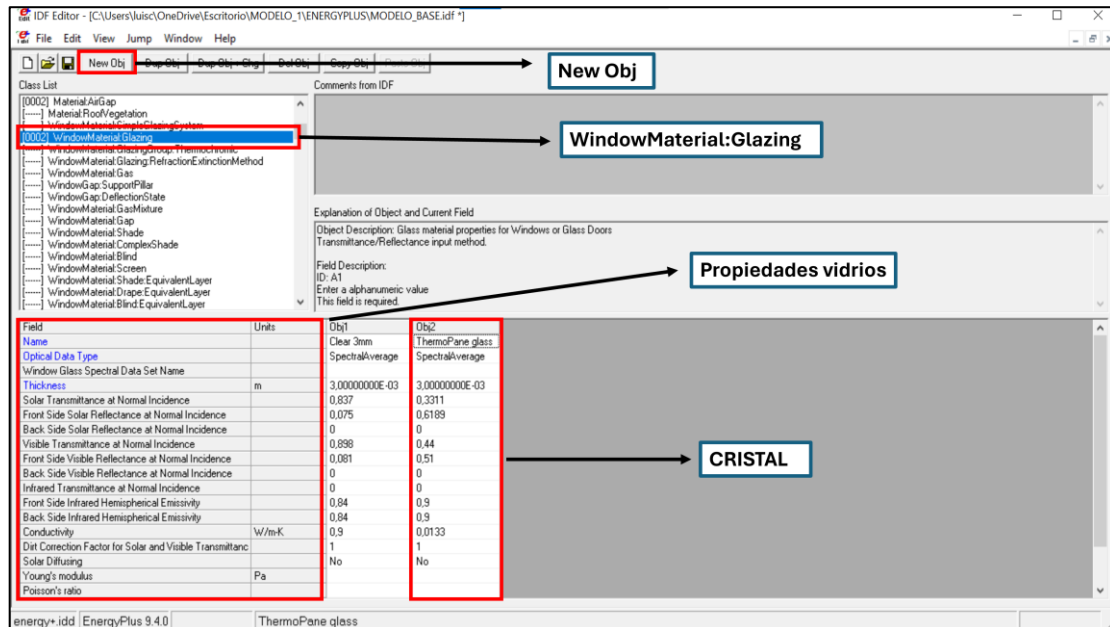


Figura 3-17 "WindowMaterial: Glazing"

Una vez se han añadido los nuevos materiales, se lleva a cabo la conformación de las superficies. En el subapartado “*Construction*” se procede de igual manera que con la creación de los materiales. Las superficies se definen de la capa más externa a más interna (Figura 3-18). La distribución de capas es la definida en la Tabla 3-1.

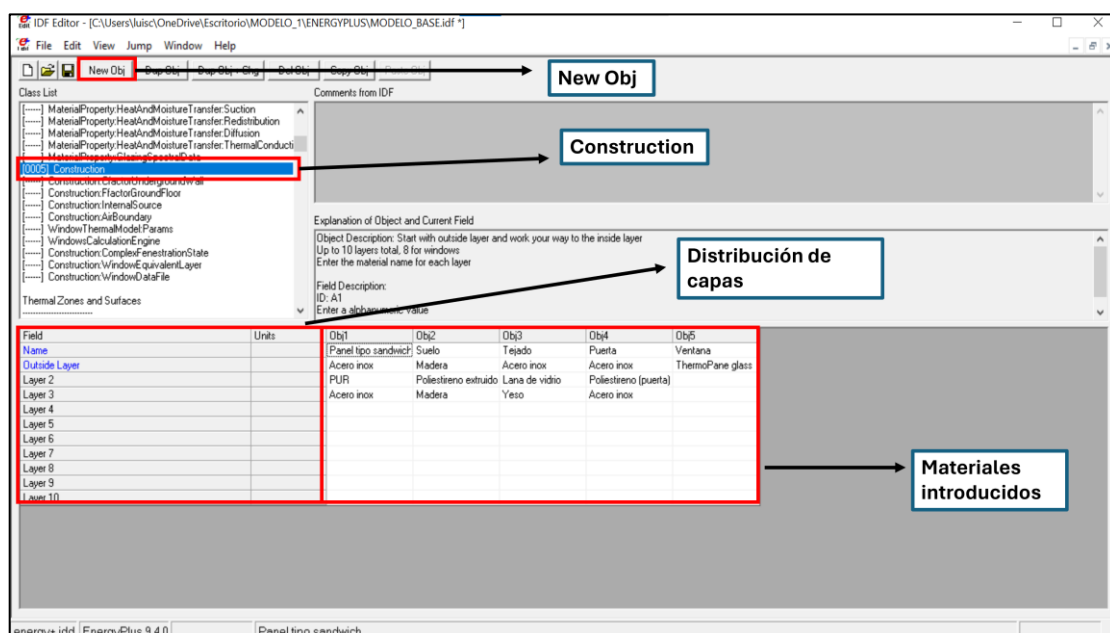


Figura 3-18 "Construction"

Creadas las construcciones con sus materiales correspondientes, se asocian las construcciones a las superficies del módulo. De nuevo, en “*Class list*” en el apartado “*ThermalZones and Surface*”. Este

apartado cuenta con múltiples subapartados, destacando “Zone”, “BuildingSurface: Detailed” y “FenestrationSurface: Detailed”:

- **Zone:** Permite definir las zonas térmicas de un edificio.
- **BuildingSurface: Detailed:** Se definen los tipos de superficies y describe la geometría, orientación y tipo de construcción de cada una de ellas, así como la zona térmica a la que pertenecen estas superficies. No incluyen las ventanas ni puertas.
- **BuildingSurface: Detailed:** Se definen los tipos de superficies y describe la geometría, orientación y tipo de construcción de cada una de ellas, así como la zona térmica a la que pertenecen estas superficies. No incluyen las ventanas ni puertas.
- **FenestrationSurface: Detailed:** En este subapartado se definen los tipos de subsuperficies, considerándose como tal cualquier abertura sobre una superficie, indicando sobre cual esta descrita. También se describen las propiedades geométricas y tipo de construcción de estas subsuperficies.

Las superficies del módulo definidas previamente en los programas SketchUp y OpenStudio forman ya parte de los datos de entrada de EnergyPlus, por lo que únicamente es necesario asignarles las construcciones creadas recientemente a las superficies. Esto se realiza en el subapartado “BuildingSurface: Detailed”.

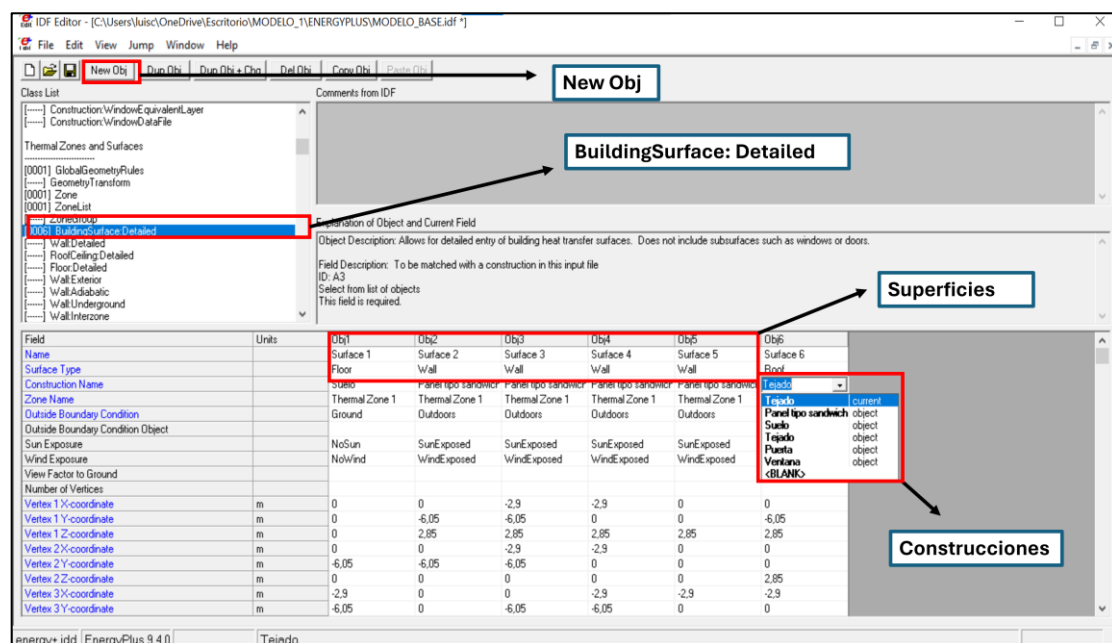


Figura 3-19 "BuildingSurface: Detailed"

En la Figura 3-19 se puede ver como quedan definidas las superficies. La primera y segunda fila corresponden al tipo de superficie (definidas en los softwares anteriormente mencionados), la tercera fila corresponde al tipo de construcción que se quiere asignar a la superficie y el resto de los parámetros están relacionados con la orientación del edificio.

Las ventanas y puertas se definen en el subapartado “FenestrationSurface: Detailed” de la misma manera que se ha hecho con el resto de las superficies. La principal diferencia es que para las subsuperficies hay que indicar sobre que superficie están definidas (Figura 3-20).

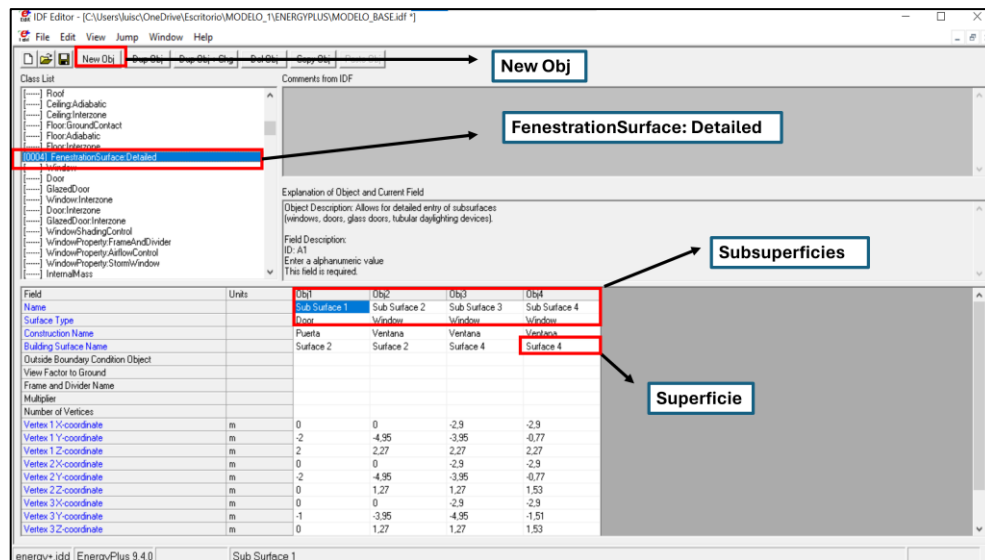


Figura 3-20 "FenestrationSurface: Detailed"

3.4.4 Horarios

En este apartado se definen los horarios de funcionamiento y parámetros de operación de las diferentes cargas internas de acuerdo con lo reflejado en el apartado 3.3. Estos horarios son los que posteriormente serán necesarios para definir las cargas internas.

Los horarios en EnergyPlus se definen en tres niveles de manera que cada nivel se basa en el subnivel anterior:

- **Horario diario:** Define los valores que una actividad toma a lo largo de las 24 horas del día.
- **Horario semanal:** Define qué días de la semana una actividad previamente definida es ejercida.
- **Horario anual:** Define cómo esa actividad se realiza a lo largo de un año.

A continuación, en relación con los calendarios y tipo de actividades definidas en el apartado 3.3 se definen los horarios en EnergyPlus. Para ello, en "Class list" en el apartado "Schedules" se definen horarios en todos los niveles tanto para la actividad a realizar (dormir) como para la iluminación.

En las Figura 3-21, Figura 3-22 y Figura 3-23 quedan definidos los horarios observándose como cada uno queda definido a partir del anterior.

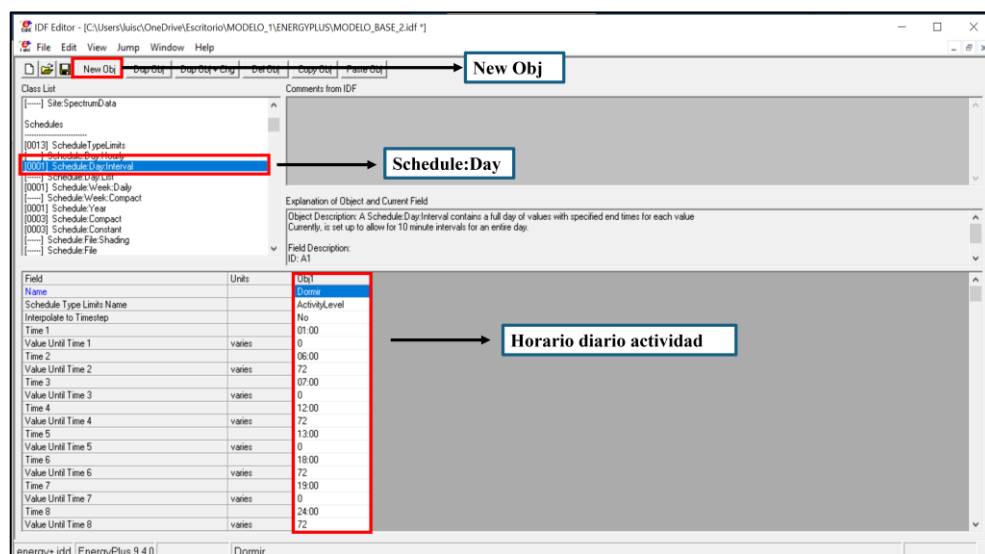


Figura 3-21 "Schedule: Day"

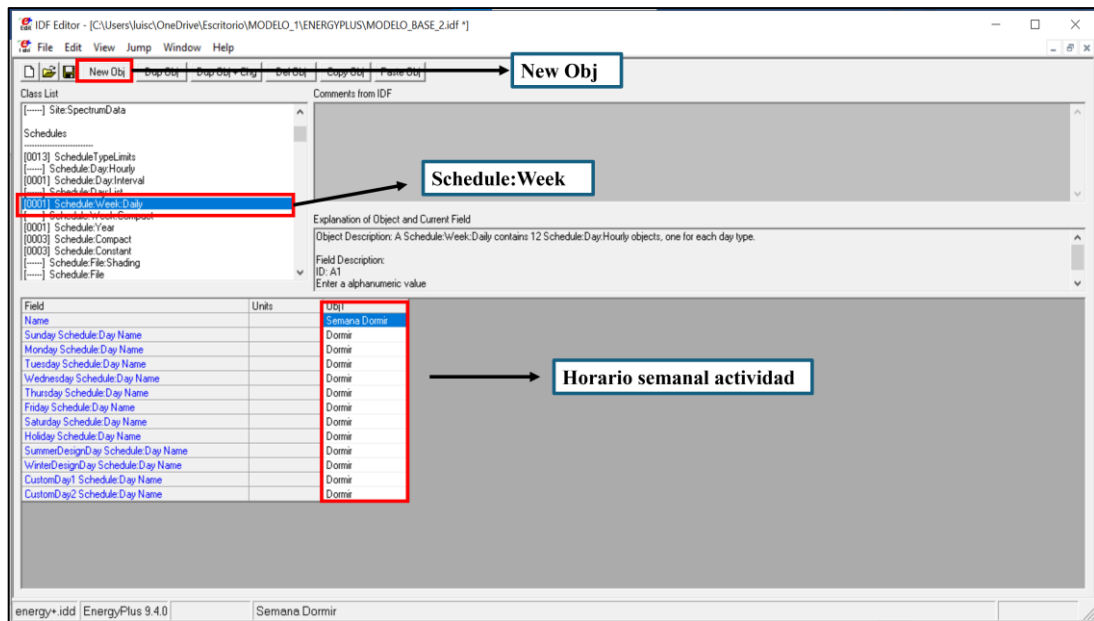


Figura 3-22 "Schedule: Week"

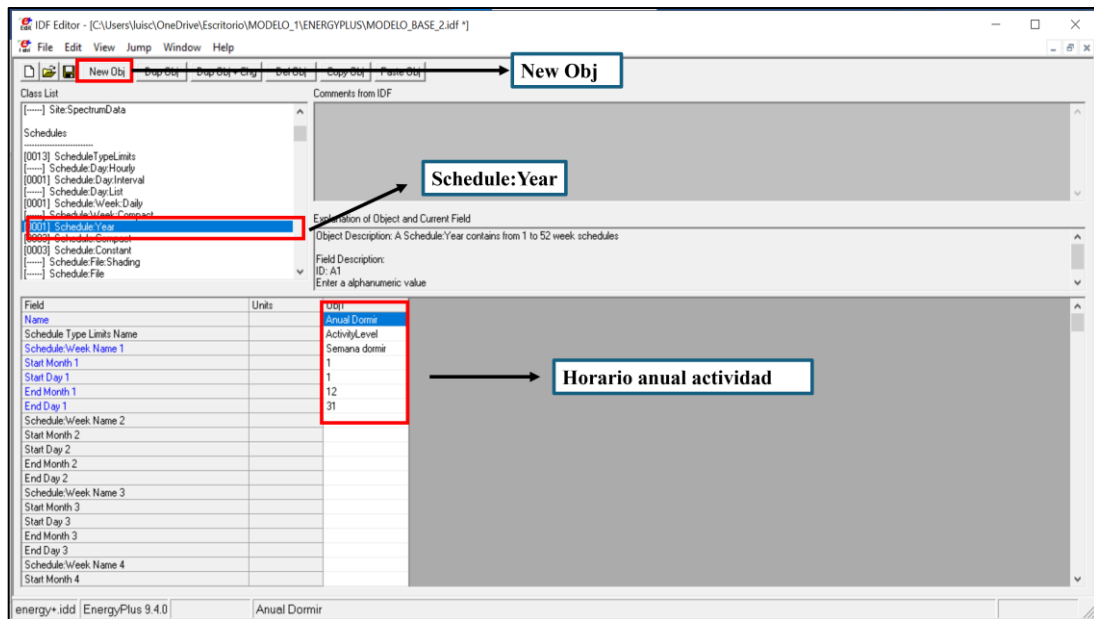


Figura 3-23 "Schedule: Year"

EnergyPlus permite mediante el subapartado “*Schedule: Compact*” definir un horario de forma compacta, es decir, en lugar de especificar valores para cada hora del día, este formato condensa la información en intervalos de tiempo más grandes. Esto es útil cuando se trabaja con horarios que siguen patrones repetitivos a lo largo del día o de la semana. Esta herramienta se ha utilizado para definir los horarios anuales de iluminación, infiltraciones y ventilación (Figura 3-24).

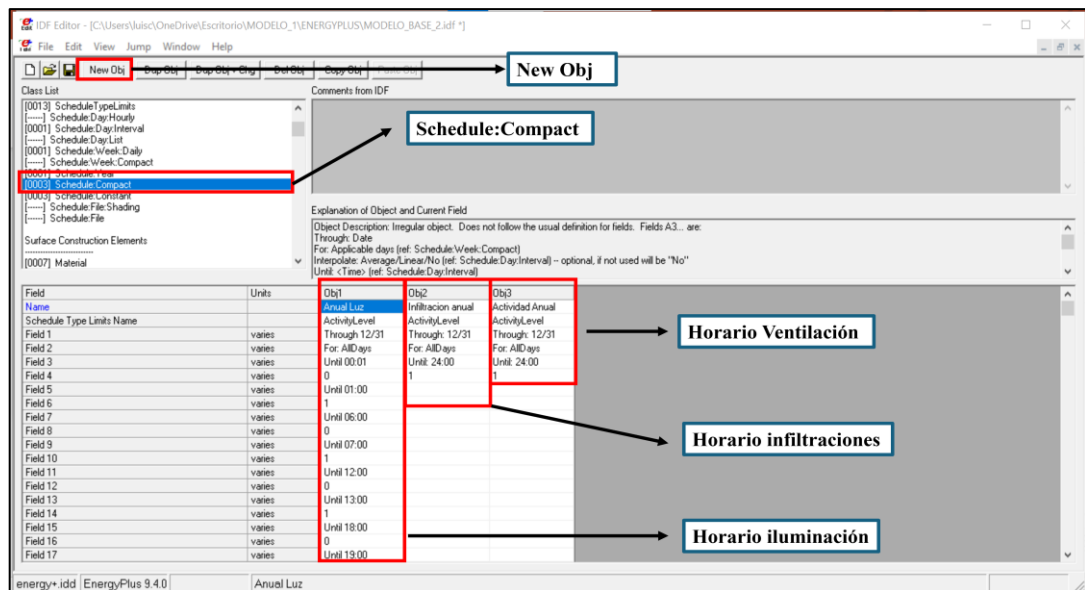


Figura 3-24 "Schedule: Compact"

3.4.5 Ganancias internas

En esta sección se describen los elementos que se encuentran en el interior del edificio y que contribuyen con calor al mismo. Las ganancias internas consideradas son "People" y "Lights".

- **People:** Define el impacto que genera el personal que habita el módulo con las actividades que realiza dentro de él. Hace referencia al horario de actividad definido previamente (Figura 3-25).

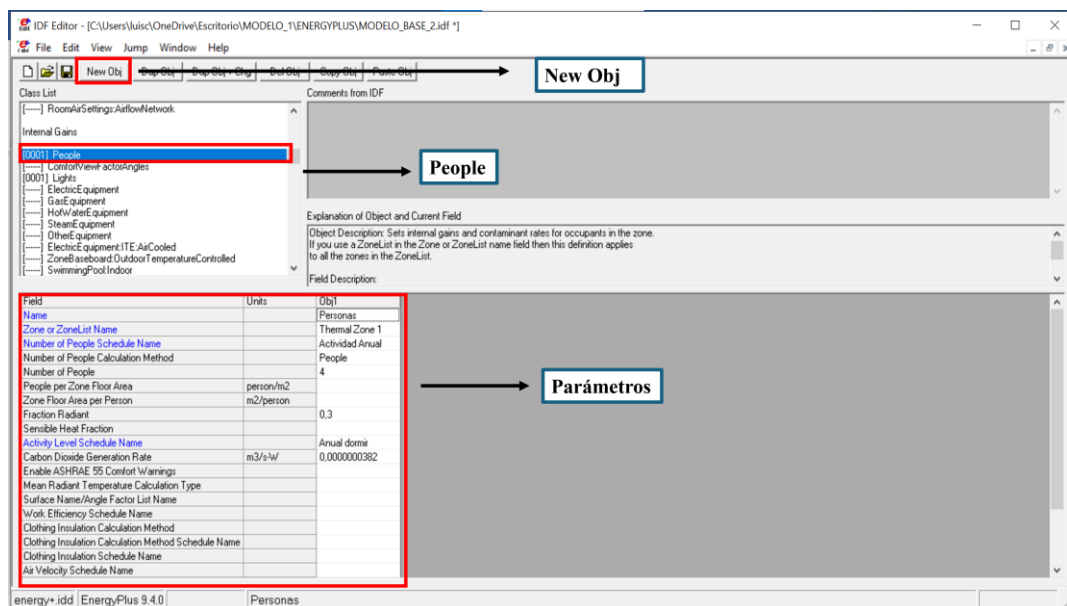


Figura 3-25 Ganancia interna "People"

- **Lights:** Describe la aportación de calor proveniente de las fuentes de iluminación, considerando sus horarios de funcionamiento y la potencia de los dispositivos de iluminación instalados en el edificio (Figura 3-26). Para el apartado *Fraction Repaceable* el software nos ofrece dos opciones: 1 y 0. En la primera, como es en este caso, las luces se atenuarán de manera automática si se detecta luz solar exterior suficiente como para iluminar el interior del habitáculo. Por el contrario, el 0 no tiene en cuenta esta luz exterior, por lo que las luces estarían encendidas en todas las horas indicadas por el calendario introducido. El resto de los parámetros están basados en la Tabla 3-3.

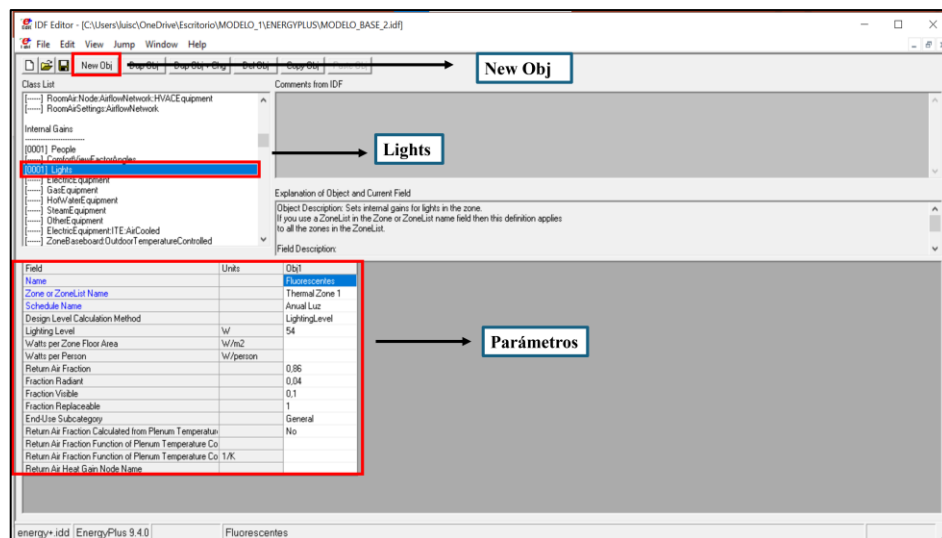


Figura 3-26 Ganancia interna "Lights"

3.4.6 Infiltraciones y ventilación

Este apartado nos permite regular las infiltraciones de aire que se producen por las distintas juntas del módulo o bien por cualquier imperfección en su fachada, así como la ventilación diaria de este, de manera que el aire en el interior del módulo se renueve y la calidad de este mejor.

En primer lugar, los módulos prefabricados al ser construcciones modulares, es más común que se produzca un mayor porcentaje de infiltraciones de aire. Esto se debe a que en las uniones entre superficies suelen producirse más imperfecciones que en las construcciones tradicionales.

Las infiltraciones se definen en el apartado “*Zone airflow*” en el subapartado “*ZoneInfiltration: DesignFlowRate*”. Estas infiltraciones sucederán de manera estable durante todo el año y seguirán el horario definido en la Figura 3-24.

Por otro lado, EnergyPlus ofrece distintos métodos de cálculo de estas infiltraciones (Figura 3-27). Para este caso se seleccionará “*AirChange/Hour*”, es decir, el número de veces que el volumen de aire en el interior del edificio se reemplaza por aire fresco en una hora. En la Figura 3-27 se muestra como quedan definidas las infiltraciones.

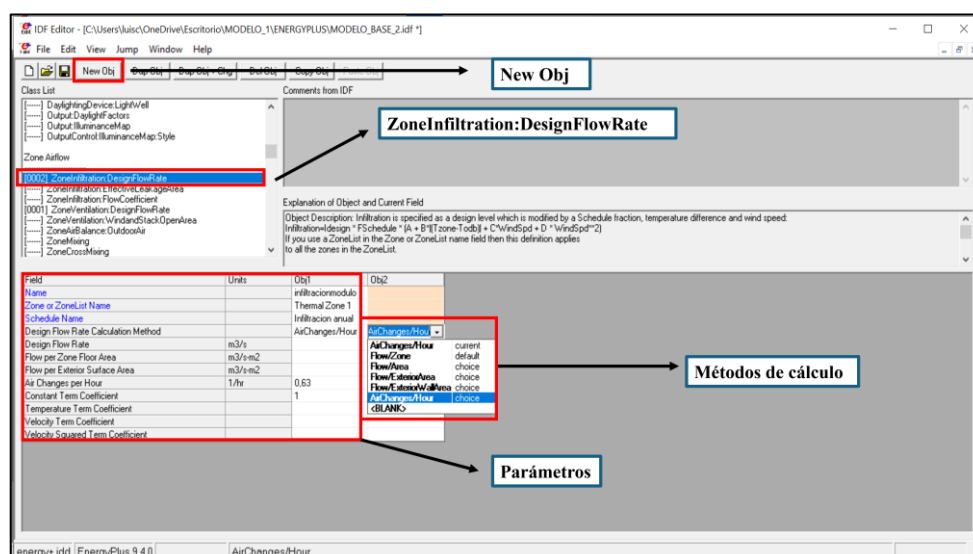


Figura 3-27 "ZoneInfiltration: DesignFlowRate"

A continuación, se define la ventilación diaria del módulo. De nuevo, en el apartado “*Zone airflow*”, esta vez, en el subapartado “*ZoneVentilation: DesignFlowRate*”. La ventilación será constante a lo largo del año y seguirá el horario definido en la Figura 3-24. En la Figura 3-28 se muestra cómo queda definida en EnergyPlus.

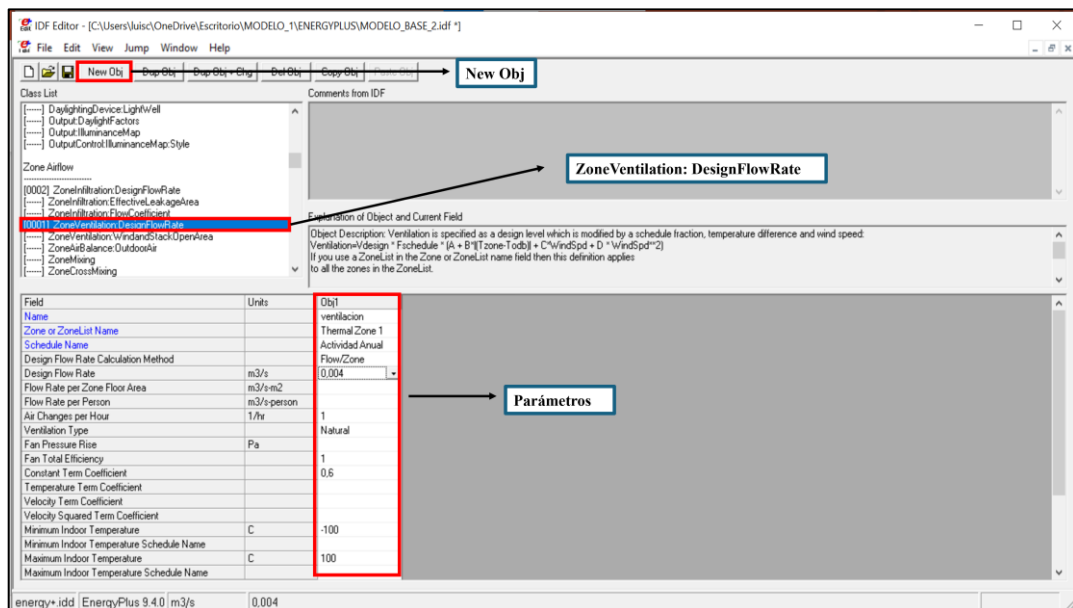


Figura 3-28 "ZoneVentilation: DesignFlowRate"

3.4.7 HVACs

El módulo se encuentra equipado con un único sistema de HVAC, el cual se encarga de regular el ambiente térmico y la calidad del aire en el interior en todo momento. EnergyPlus ofrece la posibilidad de elegir entre múltiples sistemas HVAC. En este caso se hará uso de un termostato ideal que no tenga límites para calentar ni para enfriar ya que el objetivo es determinar la demanda térmica del módulo necesaria para mantener la temperatura interior entre los límites de bienestar o confort térmico (Figura 3-29).

El funcionamiento de este sistema está regulado por la temperatura en el interior del módulo. Se ha establecido que la temperatura interior debe ser entre 18°C y 25°C, nunca fuera de esos límites. De esta manera se ha configurado el HVAC para que entre en funcionamiento de manera automática cuando la temperatura se encuentre fuera de esos límites.

La configuración de estos sistemas se lleva a cabo en el apartado “*HVAC Templates*”. En este apartado se puede parametrizar todo tipo de sistema HVAC. En este caso, al ser un termostato, su configuración se realiza en los subapartados “*HVACTemplate: Thermostat*” y “*HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem*”. En la Figura 3-29 se muestra la configuración del termostato y en la Figura 3-30 se asocia el termostato a la zona térmica del módulo.

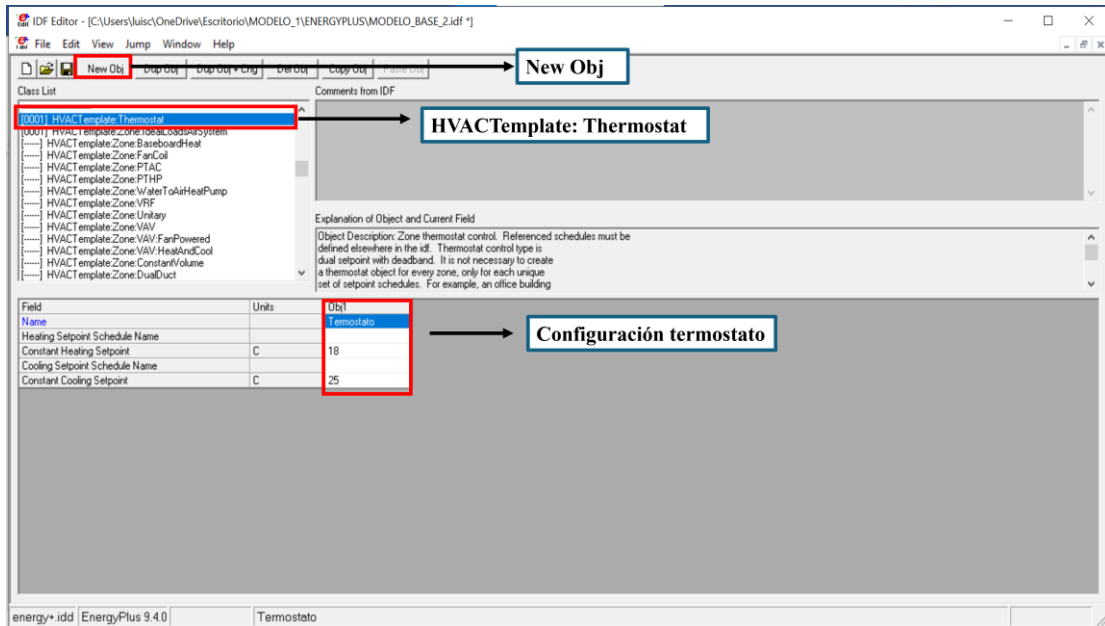


Figura 3-29 "HVACTemplate: Thermostat"

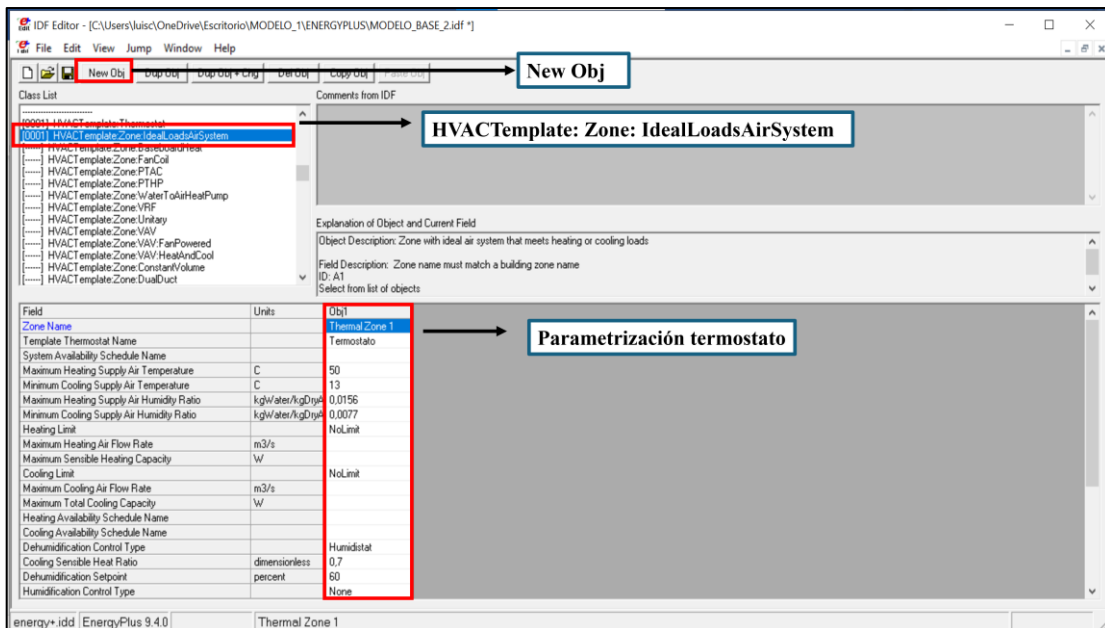


Figura 3-30 "HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem"

3.4.8 Datos generales simulación

Los datos generales de EnergyPlus para simulación pueden observarse en la Figura 3-31.

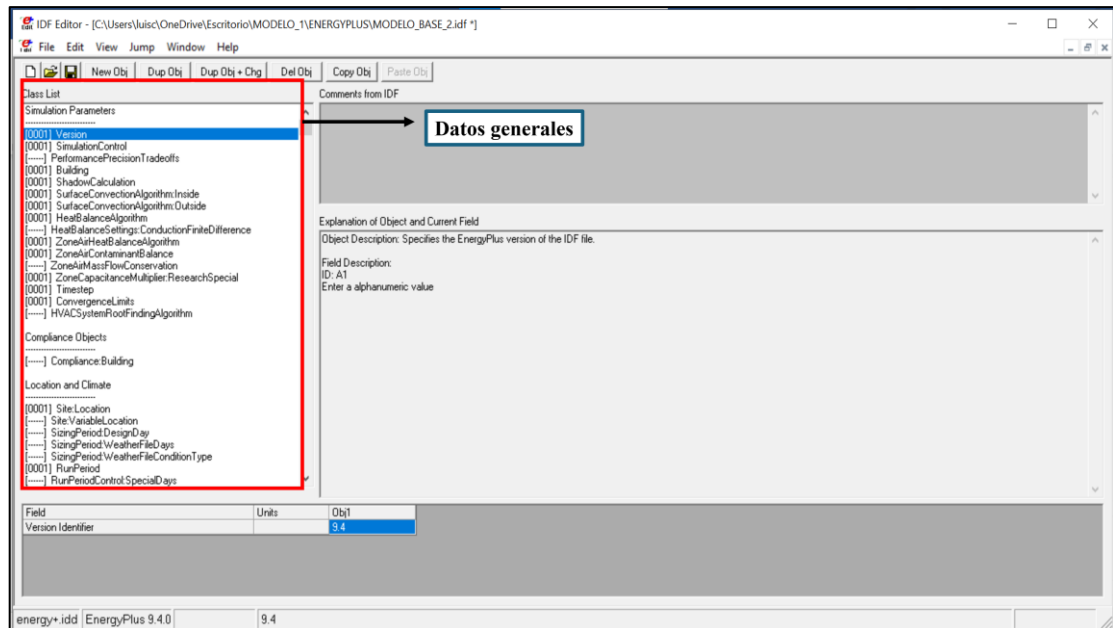


Figura 3-31 Datos generales EnergyPlus

Entre ellos destacan los subapartados:

- **TimeStep**: Especifica el número de intervalos de tiempo en los que se divide una hora para realizar los cálculos de la simulación. En este caso su valor es 6, es decir, EnergyPlus realizará la simulación considerando intervalos de 10 minutos (Figura 3-32).

Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		6

Figura 3-32 "TimeStep"

- **Run Period**: Especifica las fechas entre las que se realiza la simulación. En este caso comprende un periodo anual completo (Figura 3-33).

Field	Units	Obj1
Name		Run Period 1
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
Begin Year		
End Month		12
End Day of Month		31

Figura 3-33 "Run Period"

3.5 Datos climáticos

Los archivos climáticos contienen información detallada sobre las condiciones meteorológicas de una zona geográfica determinada. Estos datos son recopilados durante largos periodos de tiempo mediante las distintas estaciones meteorológicas.

Para la simulación térmica del módulo en los distintos emplazamientos, son necesarios los archivos climáticos EPW (EnergyPlus Weather) correspondientes a estos lugares. Estos archivos son descargados directamente en la página web Climate.OneBuilding.org [43]. Una vez descargados se introducen en "Weather File" en EP-Launch (véase Figura 3-13) para posteriormente realizar la simulación.

Los archivos EPW contienen datos meteorológicos horarios para una zona geográfica específica y proporcionan datos sobre:

- Temperatura
- Velocidad y dirección del viento
- Precipitaciones
- Radiación solar
- Humedad relativa

Durante el desarrollo de los siguientes apartados se hace referencia a la climatología específica de los distintos emplazamientos. Los datos se corresponden a los expuestos en el Anexo III: Datos climatológicos, que se han obtenido del resultado de las simulaciones en EnergyPlus.

3.6 Alternativas constructivas

Una vez queda definido y parametrizado el módulo genérico, se proponen distintas alternativas constructivas a este. Posteriormente, estos nuevos módulos serán sometidos a simulaciones en los mismos lugares con el objetivo de poder cuantificar las mejoras que estos módulos ofrecen.

3.6.1 Zonas climáticas

En primer lugar, los siete emplazamientos para los que están pensados estas alternativas se han agrupado en cuatro zonas según su climatología:

- Antártida
- Bosnia-Herzegovina, Letonia y Líbano
- Irak
- Malí y Haití

Así pues, se van a diseñar únicamente cuatro propuestas diferentes en lugar de siete. Esto se debe a que algunos lugares presentan similitudes en sus patrones climáticos. De esta manera, al reducir el número de diseños, los módulos resultantes serán más versátiles y estarán pensados para que puedan adaptarse fácilmente a una variedad de ubicaciones y condiciones climáticas. Esta mayor versatilidad garantiza una mayor flexibilidad en la implementación de los módulos en diferentes entornos geográficos, lo que optimiza su utilidad y eficacia en diversos contextos. Otro enfoque beneficioso radica en el hecho de que, al reducir la cantidad de diseños, se simplifica considerablemente el proceso de adquisición para las FAS. Al contar con un conjunto más limitado de alternativas constructivas, se elimina la necesidad de diseñar módulos específicos para cada ubicación, lo que agiliza y simplifica el proceso de compra y logística. Esta eficiencia en la adquisición no solo ahorra tiempo y recursos, sino que también facilita la gestión y mantenimiento de los módulos en el futuro, al estandarizar los diseños y componentes utilizados en las FAS. En contrapartida, estas alternativas pueden que no alcancen su versión óptima debido a que no estarán específicamente adaptados para un emplazamiento concreto.

3.6.2 Estrategias bioclimáticas

Las alternativas constructivas se han desarrollado desde un enfoque basado en estrategias bioclimáticas. Estas estrategias se centran en el diseño y la optimización de elementos arquitectónicos y constructivos para aprovechar al máximo los recursos naturales disponibles, como la luz solar, la ventilación y el calor, con el objetivo de lograr un confort térmico y lumínico adecuado en el interior del edificio, reduciendo al mismo tiempo su consumo energético y su impacto ambiental. Esto implica que se han considerado las condiciones climáticas y ambientales de cada ubicación, así como las características del entorno natural. Este enfoque integral no solo busca crear espacios habitables y saludables, sino también promover la sostenibilidad y la eficiencia energética en cada una de las alternativas constructivas propuestas.

Algunas de las principales estrategias de actuación pasiva incluyen:

- **Orientación y forma del edificio:** En este caso el edificio está diseñado (contenedor de 20 pies), pero la orientación y distribución de los contenedores es muy importante, de manera que maximice la captación de luz solar y la ventilación natural, reduciendo la exposición a condiciones climáticas desfavorables.
- **Aislamiento térmico:** Empleo de materiales aislantes en paredes, techos y suelos para minimizar las pérdidas de calor en invierno (o zonas frías) y la ganancia de calor en verano (o zonas cálidas), manteniendo así una temperatura interior más estable.
- **Ventilación natural:** Especialmente en climas cálidos, diseñar aberturas estratégicas, como ventanas o tragaluces, que permitan la entrada de aire fresco y la expulsión de aire caliente, favoreciendo la circulación natural del aire y reduciendo la necesidad de sistemas de ventilación mecánica.
- **Protección solar:** Muy vinculado a la orientación del edificio, es el criterio de instalar elementos de sombreado, como parasoles, para evitar la entrada directa de radiación solar en verano y permitir su entrada en invierno, controlando así el sobrecalentamiento y aprovechando la energía solar para la calefacción.
- **Iluminación natural:** Maximizar el uso de la luz natural a través de la ubicación estratégica de ventanas, reduciendo la necesidad de iluminación artificial durante el día y mejorando la calidad del ambiente interior.

3.7 Módulos alternativos

Tal y como se ha mencionado previamente, se plantean cuatro módulos distintos para las cuatro zonas climáticas establecidas. Los cambios en las nuevas propuestas residen principalmente en cambios en la morfología y materiales del edificio, por lo que las actividades y cargas internas (apartado 3.3) se mantendrán en todas las alternativas.

3.7.1 Zona climática 1: Antártida

La Antártida presenta el clima más adverso de todos los emplazamientos, con clima polar extremadamente frío y seco, por lo tanto, la estrategia a seguir en este lugar será la opuesta a la que se seguirá en los siguientes casos: protegerse del entorno.

Para ello, se ha planteado un paralelepípedo de dimensiones similares a las planteadas en el apartado 3.2. Este contenedor cuenta, en su cara frontal, con una puerta de 0,9 x 2,15 m que tiene integrada una ventana en su parte superior de 0,6 x 0,4 m, siendo esta la única abertura de la envolvente térmica (véase Figura 3-34).

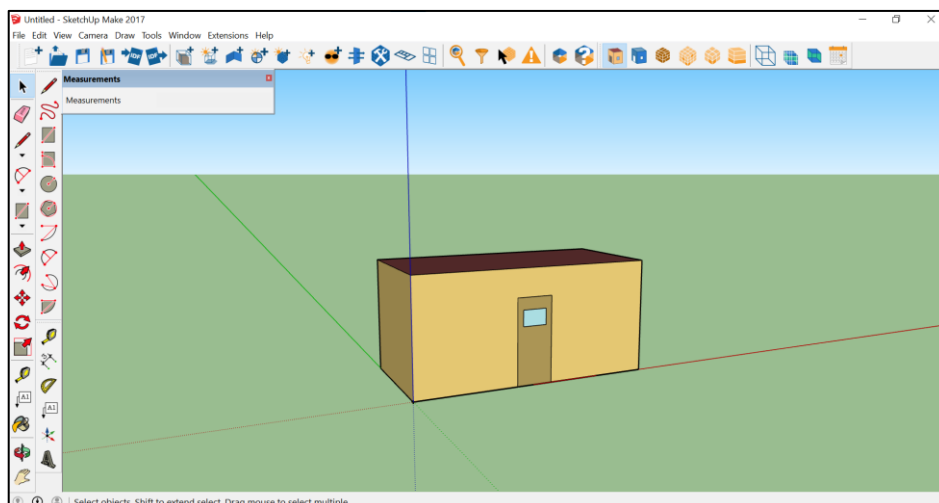


Figura 3-34 Diseño alternativo Antártida

Reducir el número de ventanas y sus dimensiones se debe a que las ventanas son puntos débiles en el aislamiento térmico, por lo tanto, las ventanas más pequeñas significan menos área expuesta al frío exterior y, por ende, menos pérdida de calor. De igual manera, es una forma de mitigar la infiltración de aire frío a través de ellas.

Además de la modificación en la morfología del edificio, se ha planteado una nueva distribución de materiales y espesores.

En primer lugar, el módulo se sustenta sobre un suelo de tres capas: una losa de hormigón de 500 mm de espesor a modo de capa externa, una capa intermedia de mortero con arlita de 100 mm y por último una tarima interna de 20 mm de madera. Las paredes y la cubierta están compuestas por una chapa de acero prelacado de 0,6 mm seguido de dos planchas de poliestireno de 200 mm de espesor a modo de aislante y un doble panel de yeso laminado de 13 mm cada uno.

La puerta está compuesta por una capa de policloruro de vinilo (PVC) de 100 mm de espesor. Por último, las ventanas cuentan con tres capas: una capa externa e interna de vidrio de 8 mm de espesor y una cámara de aire intermedia de 16 mm. En la Tabla 3-4 se recogen los materiales que componen cada una de las superficies descritas, así como su espesor final.

Superficie	Materiales	Espesor [mm]
Suelo	Hormigón + Arlita + Madera	620
Paredes	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	426,6
Cubierta	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	426,6
Puerta	PVC	100
Ventanas	Vidrio + Cámara de aire + Vidrio	32

Tabla 3-4 Materiales módulo Antártida

3.7.2 Zona climática 2: Bosnia-Letonia-Líbano

Estos tres emplazamientos presentan climas similares, inviernos fríos y veranos calurosos, no superando la media de 15°C anuales. Para esta zona se aprovechará el entorno y los recursos naturales que ofrece para intentar reducir la demanda energética del edificio.

En cuanto a su morfología, al ser un contenedor de 20 pies, se mantiene el paralelepípedo planteado en el apartado 3.2. Sin embargo, la distribución de ventanas es diferente. En este módulo se ha optado por una ventana de mayor dimensión en la superficie frontal, de 0,6 x 2,10 m (véase Figura 3-35), y una ventana de menor tamaño en la superficie opuesta de 0,84 x 0,76 m (véase Figura 3-36), permitiendo así la ventilación cruzada en época de verano.

Un mayor número de ventanas y que estas dispongan de una mayor dimensión, en este caso, permite un mayor aprovechamiento de la luz natural, reduciendo así la necesidad de la iluminación artificial durante las horas de luz.

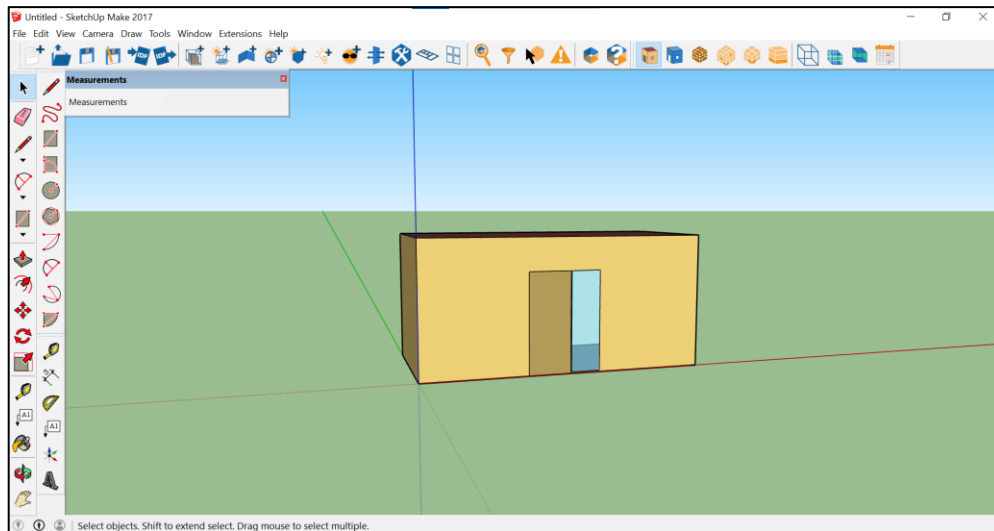


Figura 3-35 Vista frontal diseño alternativo Bosnia-Letonia-Líbano

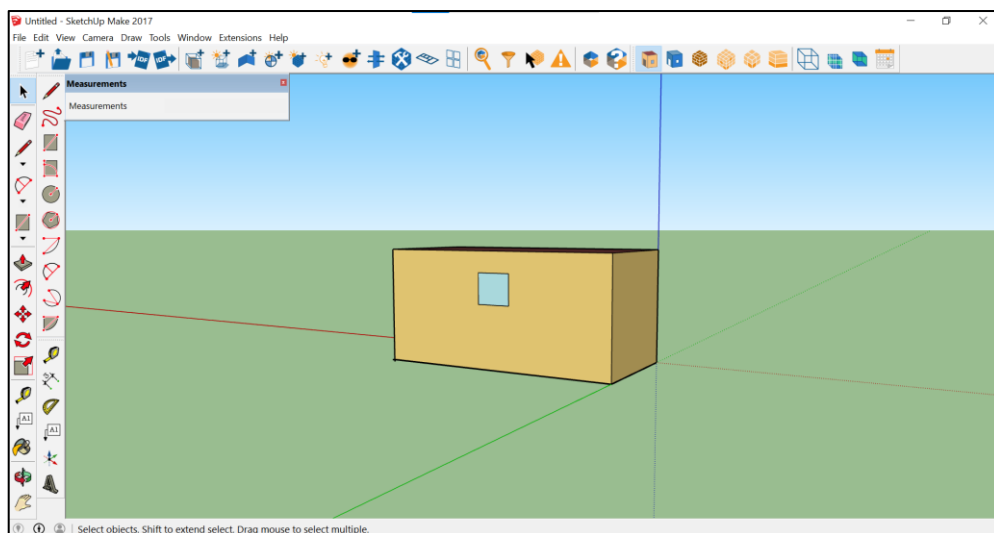


Figura 3-36 Vista trasera diseño alternativo Bosnia-Letonia-Líbano

Por otro lado, el elenco de materiales y su distribución es similar al propuesto en la Antártida, cambiando espesores de los materiales y, en alguna superficie la distribución de materiales es diferente.

El suelo se compone de una losa de hormigón armado de 250 mm de espesor, una capa de mortero de regularización de 30 mm y una tarima de madera de 20 mm. Las paredes y la cubierta tienen una composición similar a las del módulo de la Antártida, sin embargo, estas, a modo de aislante, cuentan con dos planchas de poliestireno de 150 mm de espesor.

La puerta mantiene su composición de PVC, con un espesor de 60 mm y las ventanas, mantienen distribución de materiales, pero con menor espesor, siendo el vidrio de 6 mm y la cámara de aire de 12 mm. En la Tabla 3-5 se recogen los materiales que componen cada una de las superficies descritas, así como su espesor final.

Superficie	Materiales	Espesor [mm]
Suelo	Hormigón + cemento + Madera	300
Paredes	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	326,6
Cubierta	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	326,6
Puerta	PVC	60
Ventanas	Vidrio + Cámara de aire + Vidrio	24

Tabla 3-5 Materiales módulo Bosnia-Letonia-Líbano

En Bosnia y Líbano, donde los veranos son muy calurosos, se ha programado ventilación cruzada durante estos meses como una medida para ayudar al sistema HVAC a refrigerar el edificio ya que puede tener dificultades para mantener una temperatura confortable si la carga térmica es demasiado alta.

Esto se debe a que el edificio está diseñado con un alto nivel de aislamiento para protegerse del frío durante el invierno. El aislamiento es crucial para retener el calor dentro del edificio en climas fríos, pero puede crear un problema durante los meses cálidos si no se proporciona una ventilación adecuada.

La ventilación cruzada programada durante los meses de verano va a permitir la entrada de aire fresco desde el exterior y la expulsión de aire caliente del interior. Esto ayuda a reducir la temperatura interior y a aliviar la carga térmica en el sistema HVAC. Al combinar la ventilación cruzada con el funcionamiento del sistema de aire acondicionado, se puede lograr un ambiente interior más confortable y reducir la demanda de energía del sistema de refrigeración.

La ventilación se va a simular mediante dos aberturas de 0,04 m² dispuestas en la cara este y oeste del edificio, con una diferencia de alturas entre aberturas de dos metros, favoreciendo que se produzca el efecto chimenea.

Estos parámetros se introducen en el apartado “*Zone airflow*” en el subapartado “*ZoneVentilation: WindandStackOpenArea*”, como se refleja en la Figura 3-37. El calendario que sigue esta ventilación queda reflejado en la Figura 3-38.

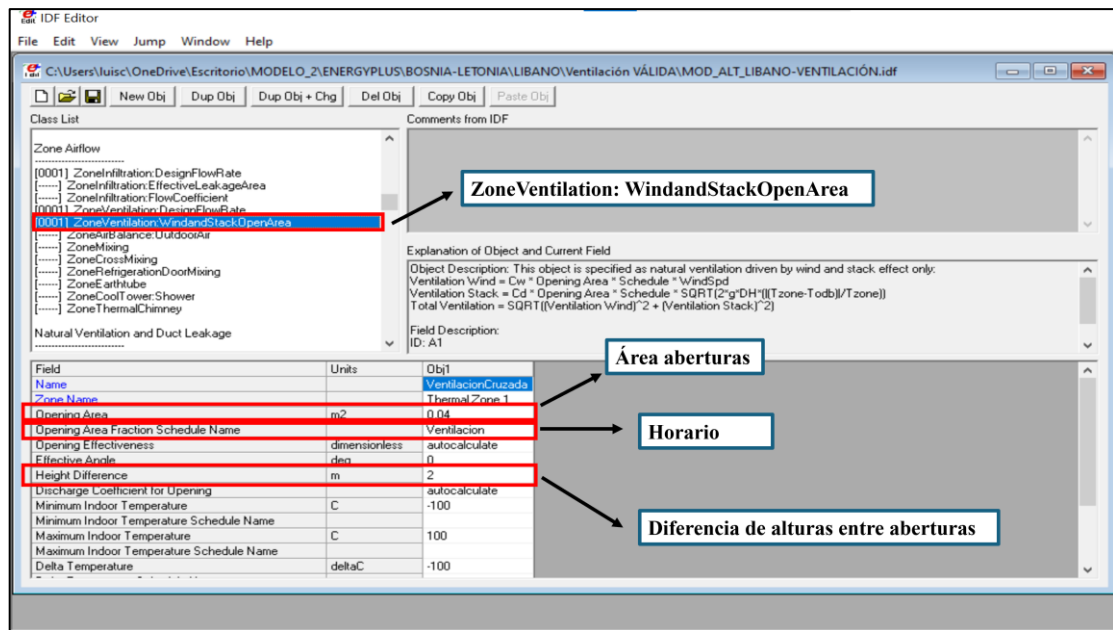


Figura 3-37 "ZoneVentilation: WindandStackOpenArea"

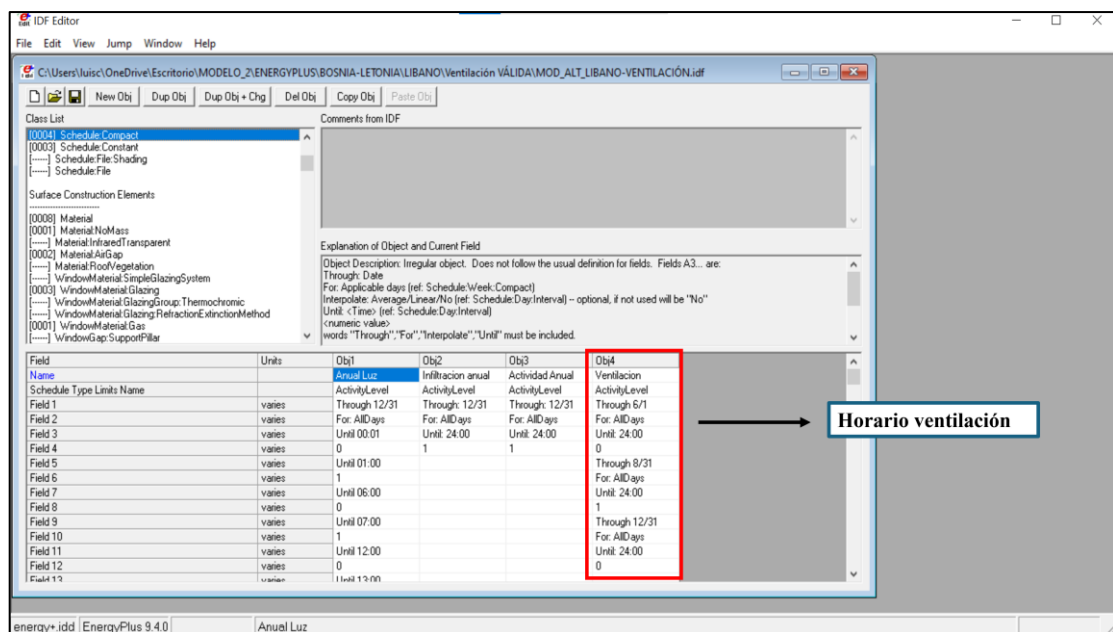


Figura 3-38 Horario Ventilación

3.7.3 Zona climática 3: Irak

Irak presenta un clima notablemente diferente al de la zona climática 2. Mientras que los inviernos pueden llegar a ser algo fríos, los veranos son extremadamente calurosos rozando temperaturas máximas de 50°C.

Este modelo no presenta cambios en su morfología respecto al modelo de la zona climática 2. Los cambios residen principalmente en la distribución de materiales y en sus espesores.

En cuanto a los acabados de este módulo, el suelo mantiene una estructura de dos capas, una losa de hormigón armado de 25 mm y una tarima de madera 17 mm de espesor. Las paredes y la cubierta están compuestas por una chapa de acero prelacado de 0,6 mm seguido de dos planchas de poliestireno de 150 mm de espesor a modo de aislante y un panel de yeso laminado de 13 mm de espesor. Por último, la puerta y las ventanas se mantienen idénticas a las planteadas en el módulo anterior. En la Tabla 3-6 se recogen los materiales que componen cada una de las superficies descritas, así como su espesor final.

Superficie	Materiales	Espesor [mm]
Suelo	Hormigón + Madera	42
Paredes	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	313,6
Cubierta	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	313,6
Puerta	PVC	60
Ventanas	Vidrio + Cámara de aire + Vidrio	24

Tabla 3-6 Materiales módulo Irak

Para Irak no se ha programado ventilación cruzada en los meses de verano debido a las temperaturas extremas en el exterior del módulo. La entrada de aire tan caliente hace que el sistema de refrigeración trabaje más para mantener una temperatura interior confortable.

3.7.4 Zona climática 4: Mali-Haití

Mali y Haití representan el caso opuesto a la Antártida, una climatología adversa debido a las altas temperaturas. La estrategia que se va a seguir en este caso es la de proteger al módulo de la radiación solar mediante la incorporación de parasoles en la cara sur y oeste, siendo estas las más expuestas a la radiación solar.

El modelo presenta la misma morfología que los anteriores añadiendo dos parasoles (véase Figura 3-39). El parasol de la cara sur (cara frontal) tiene unas dimensiones de 6,05 x 1,3 m, mientras que el de la cara oeste (cara lateral) tiene unas dimensiones de 2,9 x 1,3 m (Figura 3-40).

Estas estructuras se añaden en SketchUp de manera gráfica seleccionando “New Shading Surface Group” (véase Figura 3-39) y dimensionando la estructura sobre la superficie sobre la que se quiera hacer sombra.

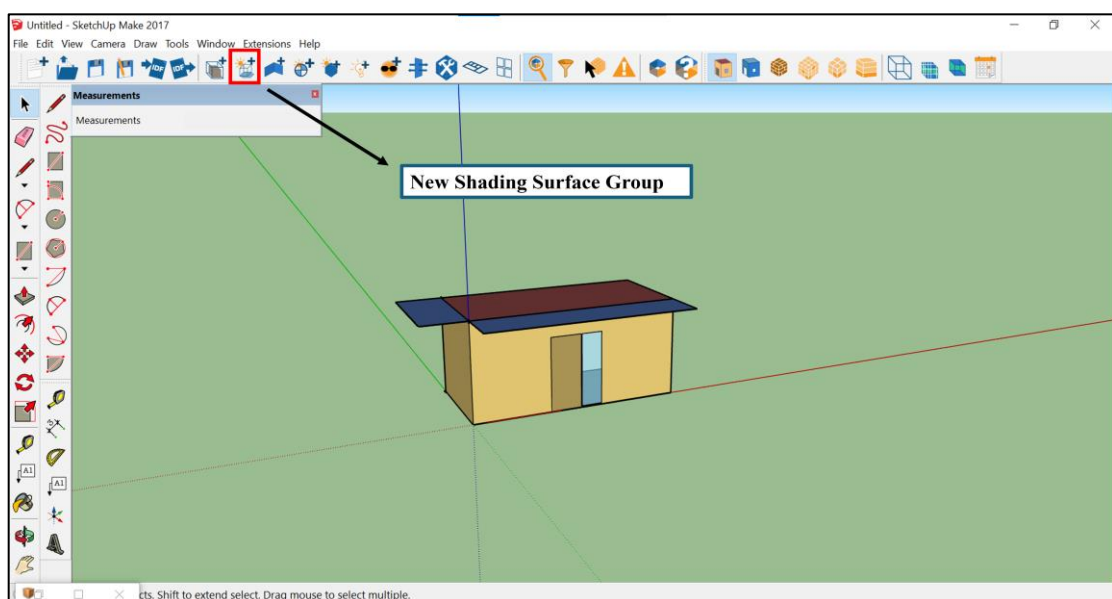


Figura 3-39 Vista frontal diseño alternativo Mali-Haití

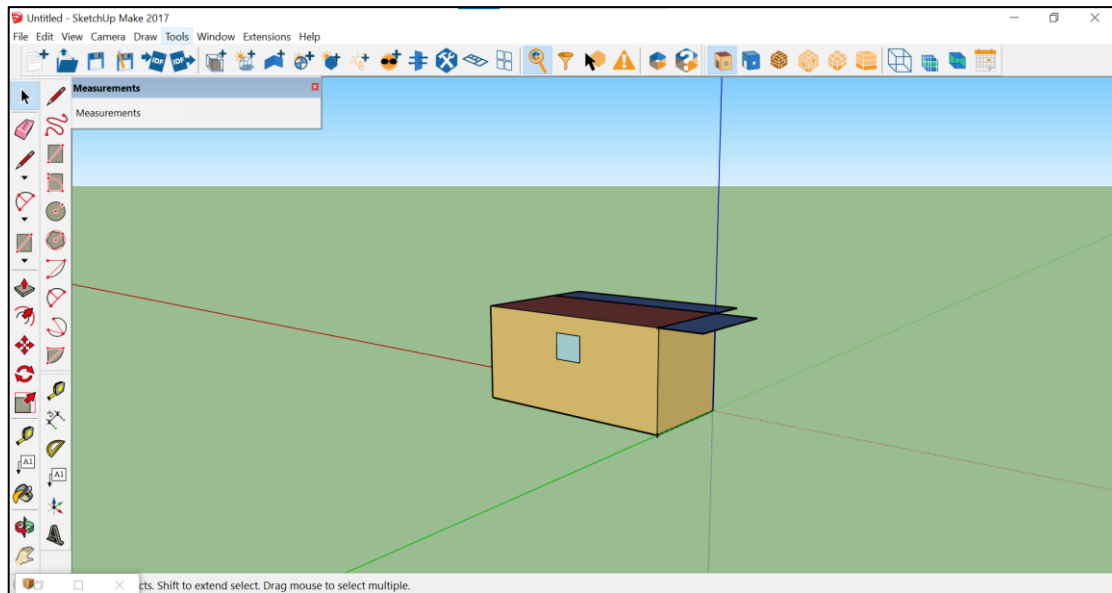


Figura 3-40 Vista trasera diseño alternativo Mali-Haití

Las propiedades de estas estructuras son asignadas en el software EnergyPlus. Para ello, en el apartado “*Thermal Zones and Surfaces*” en el subapartado “*Shading: Zone: Detailed*” y “*ShadingProperty: Reflectance*” se introducen los parámetros requeridos (véase Figura 3-41 y Figura 3-42).

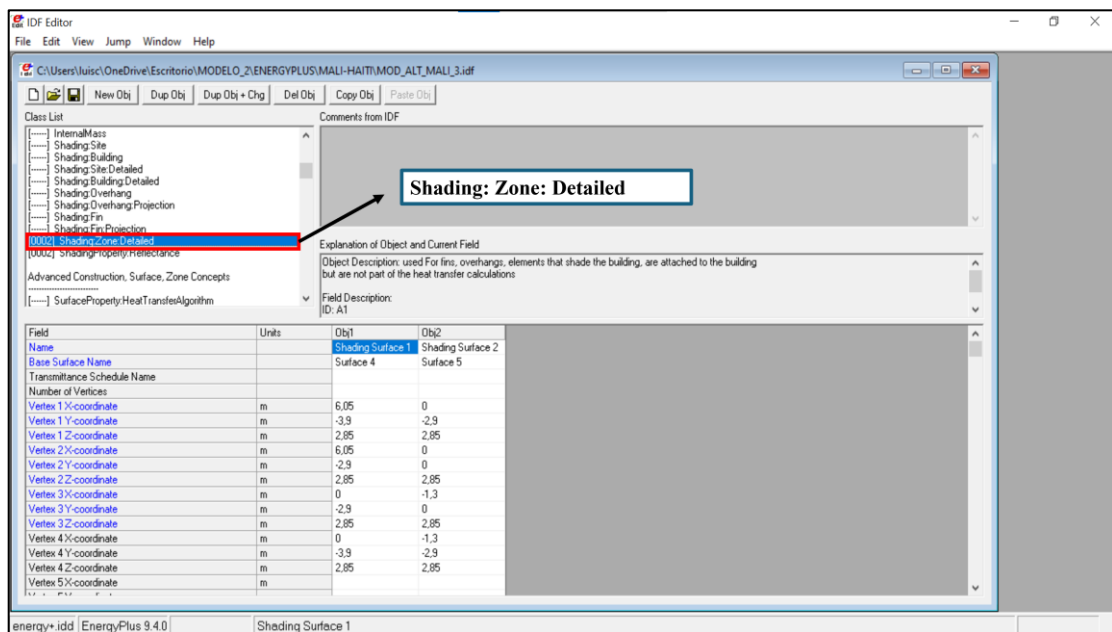


Figura 3-41 "Shading: Zone: Detailed"

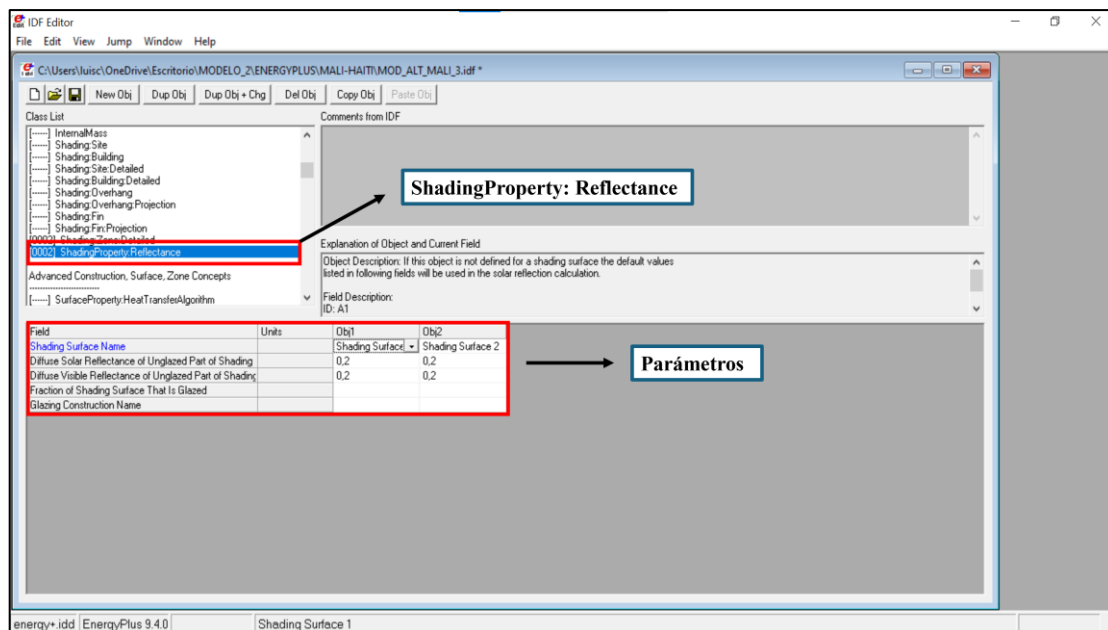


Figura 3-42 "ShadingProperty: Reflectance"

La distribución de materiales se ha modificado reduciendo la cantidad de aislante. El suelo está compuesto por una tarima de madera sobre rastreles de 100 mm. Las paredes y la cubierta están compuestas de tres capas: a modo de capa más externa se ha planteado una chapa de acero prelacado de 0,6 mm, doble plancha de poliestireno de 100 mm como capa aislante y un panel de yeso laminado de 13 mm como capa interna.

La puerta y ventanas mantienen la misma composición y espesores que las planteadas para las zonas climáticas 2 y 3. En la Tabla 3-7 se recogen los materiales que componen cada una de las superficies descritas, así como su espesor final.

Superficie	Materiales	Espesor [mm]
Suelo	Madera	100
Paredes	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	213,6
Cubierta	Acero prelacado + Doble plancha poliestireno + Doble panel yeso laminado	213,6
Puerta	PVC	60
Ventanas	Vidrio + Cámara de aire + Vidrio	24

Tabla 3-7 Materiales módulo Mali-Haití

4 SIMULACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Simulación

Una vez desarrollado el modelo básico y los distintos modelos alternativos de acuerdo con los datos y características descritos a lo largo del apartado 3, se procede a la simulación. La simulación se realiza en la interfaz del subprograma EP-Launch, que permite combinar el archivo IDF generado en la interfaz IDF Editor de EnergyPlus con el archivo meteorológico correspondiente al emplazamiento donde se quiera realizar la simulación (Figura 4-1).

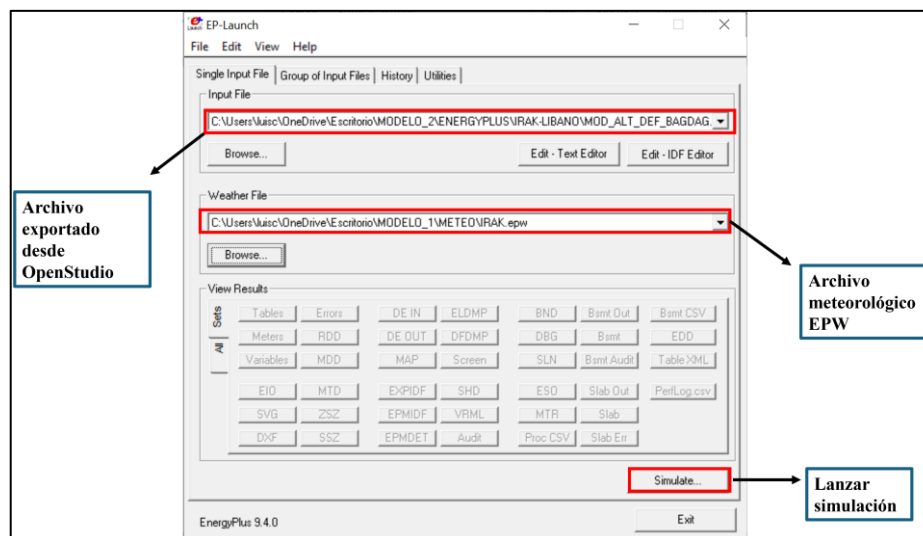


Figura 4-1 Simulación EnergyPlus

4.2 Resultados

Una vez ejecutada la simulación, EnergyPlus genera una serie de archivos que contienen los resultados del proceso. Estos archivos son guardados automáticamente en la ubicación del equipo donde esté almacenado el archivo IDF empleado en la simulación. También se puede acceder a ellos desde la interfaz de EP-Launch. Los ficheros disponibles tras la simulación aparecen resaltados en la interfaz mientras que los que no se han generado permanecen en un color claro, tal y como aparecían antes de realizar la simulación (véase Figura 4-2).

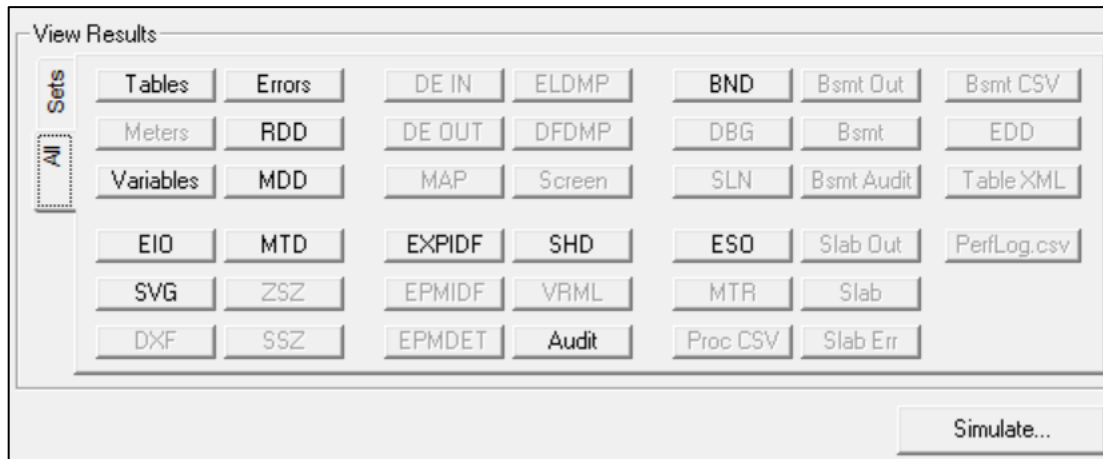


Figura 4-2 Ficheros de salida EnergyPlus

Para el análisis y visualización de los resultados obtenidos se emplean los ficheros:

- **ESO:** Proporciona un informe de todas las variables de salida. Para poder visualizar este fichero es necesario el uso de la aplicación XesoView [44]. En esta aplicación se generan automáticamente las gráficas totales, mensuales, semanales y horarias de cada variable de salida. Además, esta aplicación permite exportar los datos a Microsoft Excel para realizar cálculos, gráficos y análisis estadísticos sobre ellos.
- **Tables:** Permite visualizar y analizar los resultados de la simulación en forma tabular. Estas tablas ofrecen una forma organizada y estructurada de presentar los datos obtenidos.

4.2.1 Variables de salida de interés en las simulaciones

Este trabajo pretende analizar y evaluar el ahorro energético y económico de la incorporación de diseños alternativos adaptados a distintas zonas climáticas. Para ello, en primer lugar, se simula durante un año completo el módulo genérico en los siete emplazamientos, posteriormente se simulan las cuatro alternativas constructivas en sus correspondientes zonas climáticas. En la Figura 4-3 se esquematiza las distintas simulaciones realizadas.

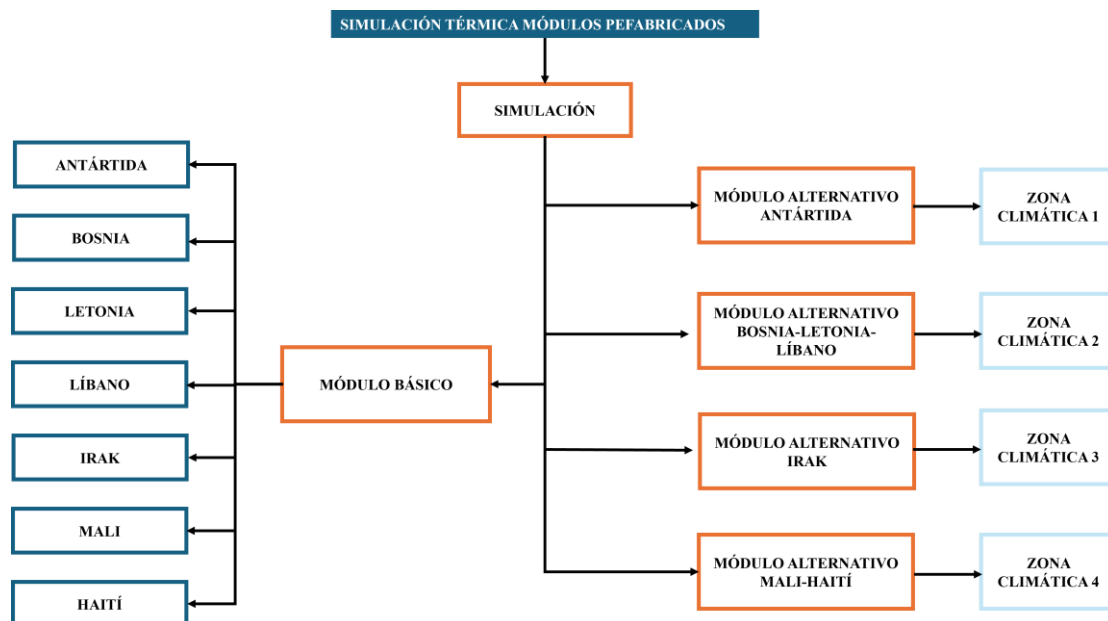


Figura 4-3 Esquema general de simulaciones

Las variables de salida que se van a analizar principalmente son:

- Site Outdoor Air Drybulb Temperature (Temperatura exterior)
- Zone Air Temperature (Temperatura interior)
- Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy (Demanda de calefacción)
- Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy (Demanda de refrigeración)

4.3 Discusión de los resultados obtenidos en el módulo básico

En primer lugar, se simula energéticamente el módulo original en los distintos emplazamientos durante un año completo. Como se muestra en la Tabla 4-1, las mayores demandas térmicas se dan en la Antártida (en calefacción), seguido de Haití (en refrigeración).

Emplazamiento	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Demanda total [kWh]
La Antártida	4991,32	0	4991,32
Bosnia	1146,89	456,62	1603,51
Letonia	2130,82	128,72	2259,54
Líbano	540,51	502,77	1043,28
Irak	199,19	1863,82	2063,01
Mali	0	2634,39	2634,39
Haití	0	2828,81	2828,81

Tabla 4-1 Demandan energética del módulo original en los emplazamientos estudiados

Estas demandas energéticas se pueden ver de manera más visual en la Figura 4-4. En ella se muestra como la demanda energética fluctúa a lo largo del año. De nuevo, puede verse como la Antártida presenta las demandas más altas y el Líbano las menores.

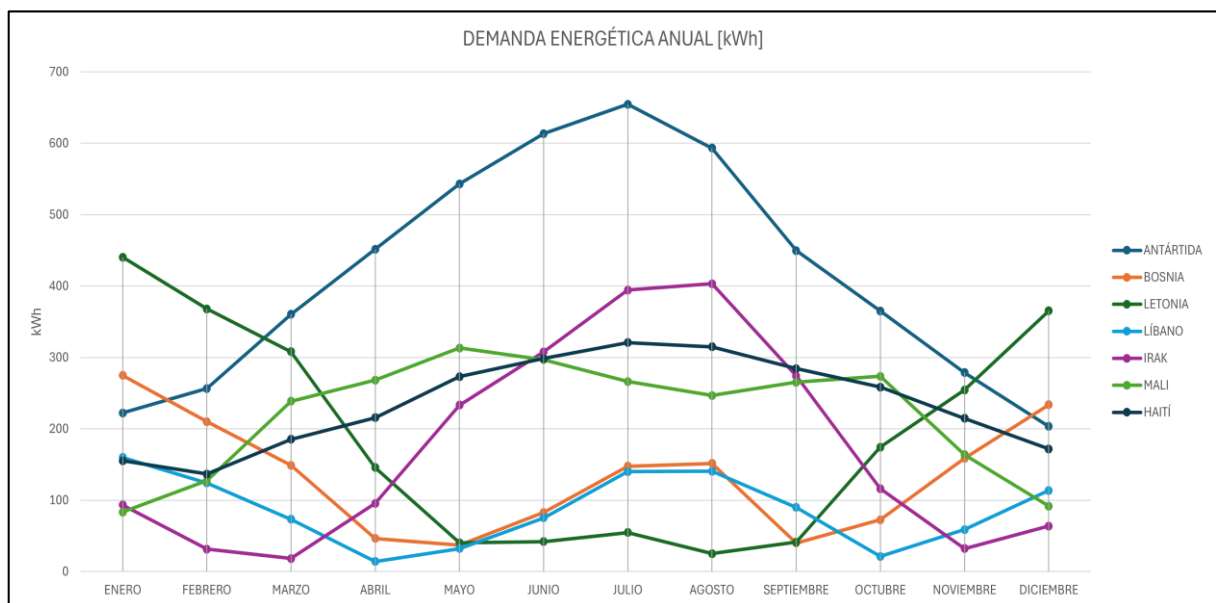


Figura 4-4 Gráfica demanda energética anual módulo básico

A continuación, se muestran las demandas por calefacción y refrigeración en cada emplazamiento a lo largo de un año obtenidas en EnergyPlus. Además, se mostrará la temperatura en el interior del módulo para contextualizar estas demandas energéticas.

4.3.1 Antártida

Debido a las temperaturas extremas que se registran en la Antártida, el aporte de energía de calefacción necesario para mantener la temperatura en el interior del módulo por encima de los 18°C es muy elevado, por el contrario, no será necesario aportar energía para refrigerar el módulo. En la Figura 4-5 se observa que la temperatura en el interior del módulo rara vez supera los 18°C.

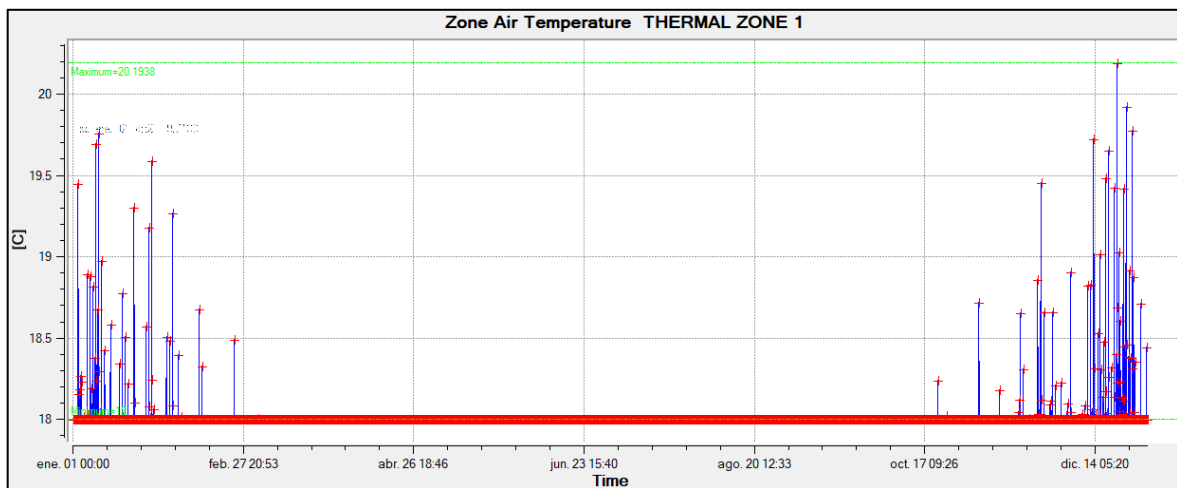


Figura 4-5 Temperatura en el interior del módulo básico en La Antártida

Por otro lado, en la Figura 4-6 se observa la demanda energética anual (en julios) por calefacción obtenido como resultado de la simulación en EnergyPlus. De igual manera, en la Figura 4-7 se muestra la demanda energética anual por refrigeración, siendo prácticamente nula en todo el periodo de simulación. La Figura 4-8 muestra la demanda mensual total (en kilovatios por hora), en este caso toda la energía se corresponde con el aporte energético por calefacción.

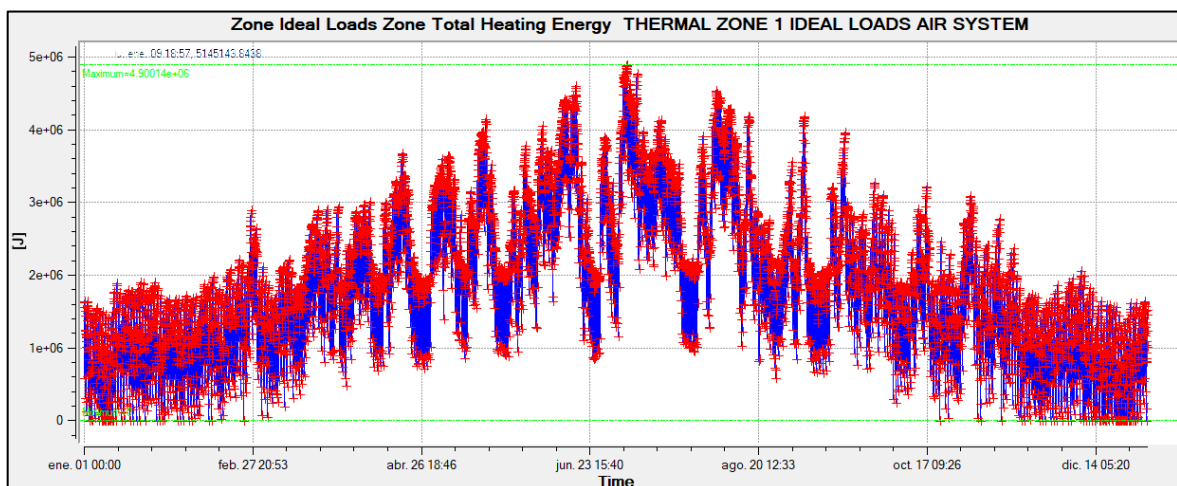


Figura 4-6 Demanda energética por calefacción del módulo básico en La Antártida

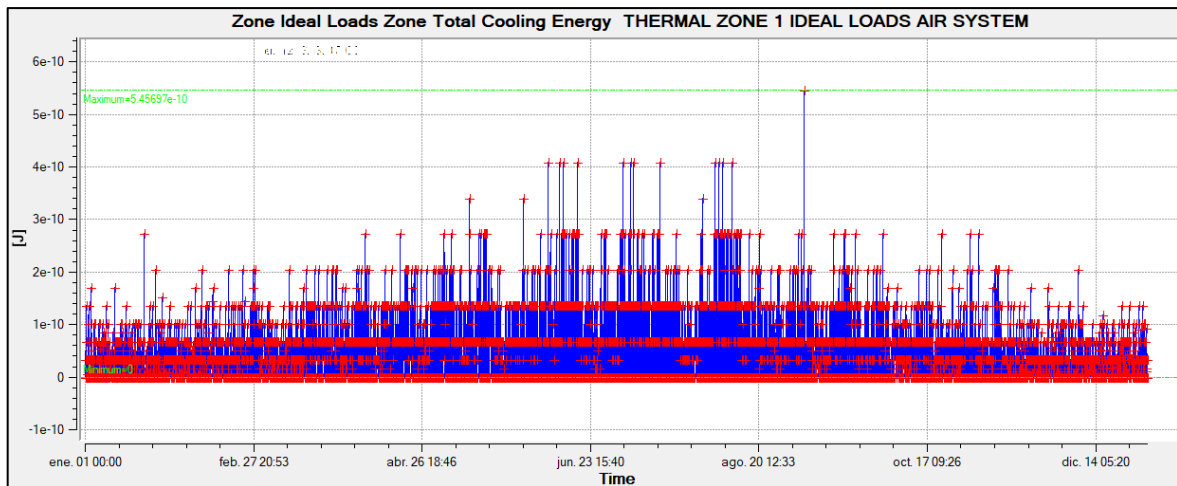


Figura 4-7 Demanda energética por refrigeración del módulo básico en La Antártida

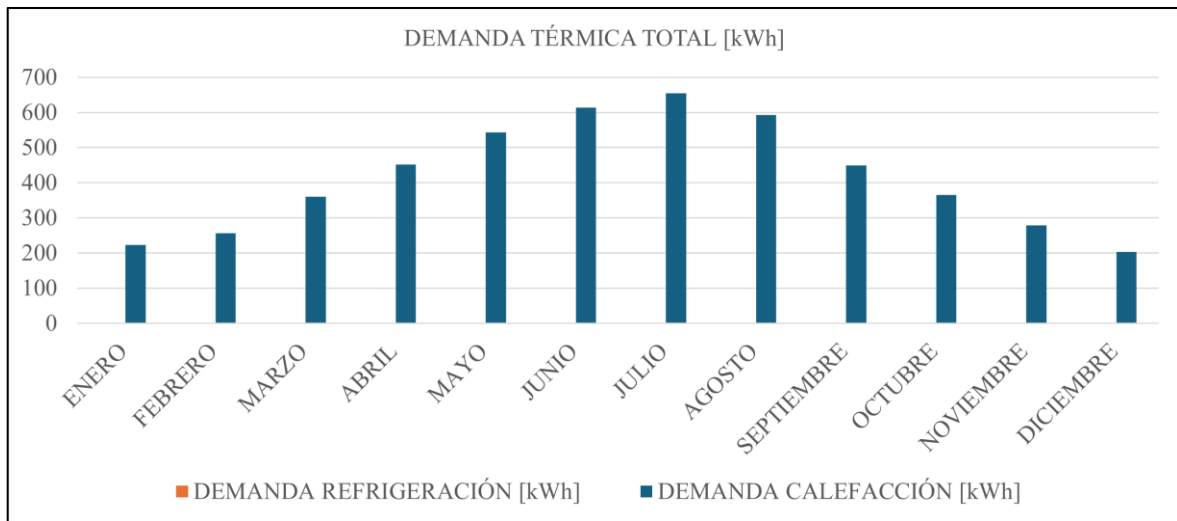


Figura 4-8 Demanda energética total del módulo básico en la Antártida

En las tres gráficas se puede observar cómo durante los meses de junio, julio y agosto es necesario una aportación mayor de energía. Esto se debe a que esos meses coinciden con el invierno en el hemisferio sur, época donde se registran las temperaturas más bajas.

4.3.2 Bosnia-Herzegovina

Bosnia-Herzegovina registra unas temperaturas que van desde los -3°C , en los meses de invierno, hasta los 40°C , en los días más calurosos de verano. Por este motivo, la temperatura en el interior del módulo fluctuará a lo largo del año (Figura 4-9), demandando calefacción o refrigeración según la época del año.

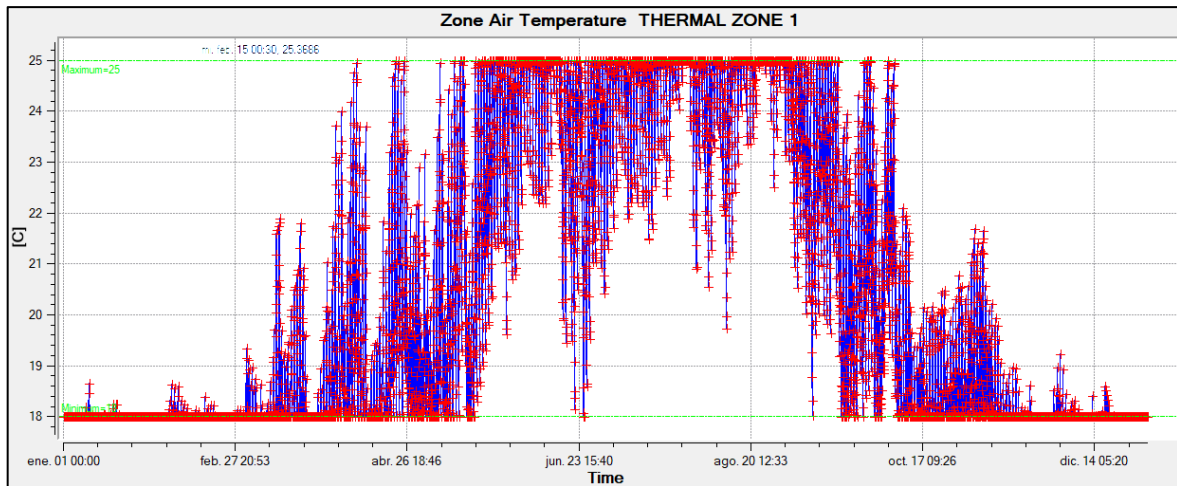


Figura 4-9 Temperatura en el interior del módulo básico en Bosnia

En la Figura 4-10 se puede apreciar como el aporte energético por calefacción aumenta en los meses fríos y como, por el contrario, es nulo durante los meses de verano. El efecto contrario se puede apreciar en la demanda de refrigeración en la Figura 4-11.

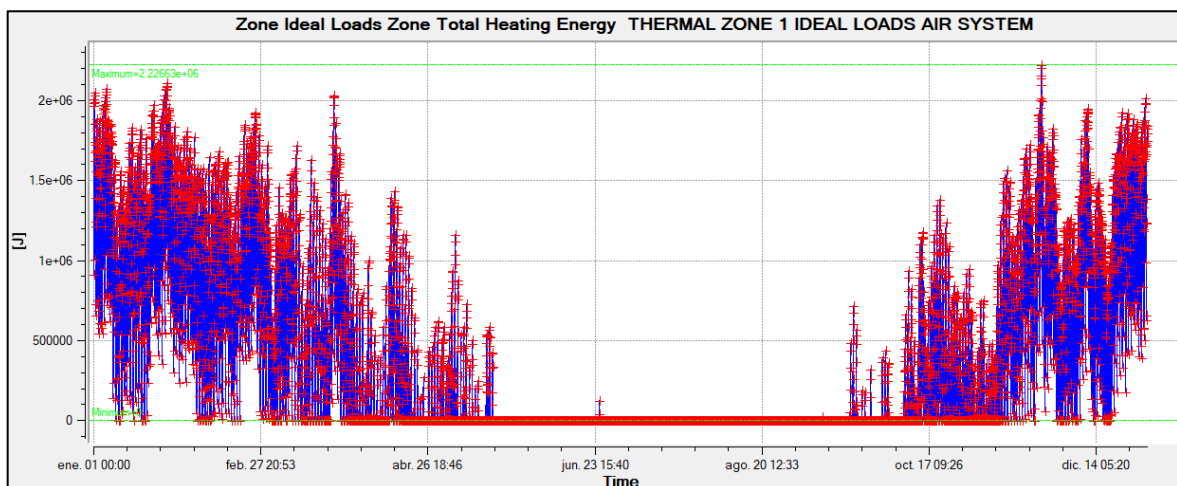


Figura 4-10 Demanda energética por calefacción para del módulo básico en Bosnia

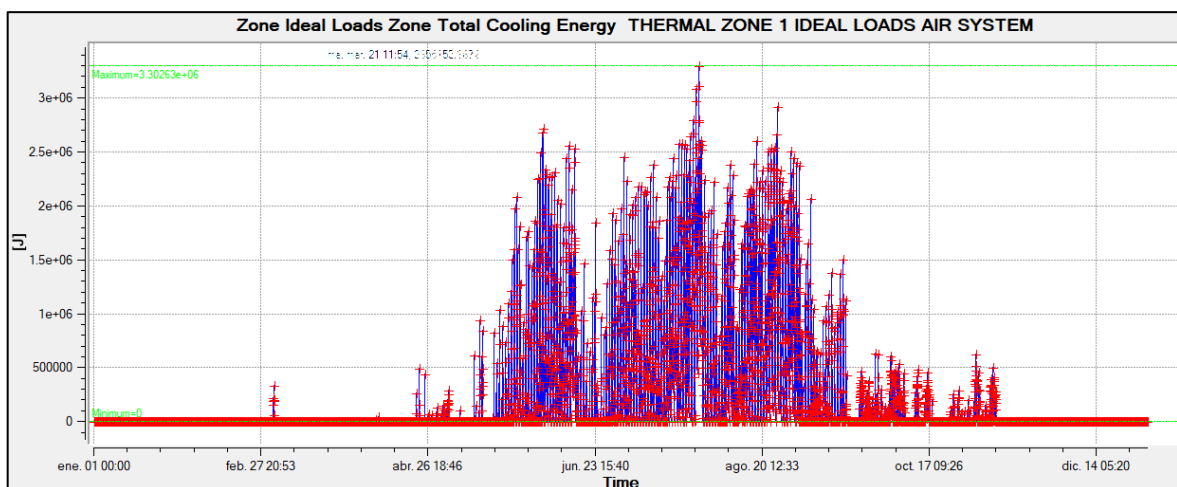


Figura 4-11 Demanda energética por refrigeración del módulo básico en Bosnia

En la Figura 4-12 queda representada la demanda térmica anual, apreciándose la demanda correspondiente a refrigeración y a calefacción. En la gráfica se observa que la demanda de calefacción es mucho mayor que la de refrigeración; esto es debido a que las temperaturas medias invernales se alejan más al límite inferior de temperatura interior establecido (18°C).

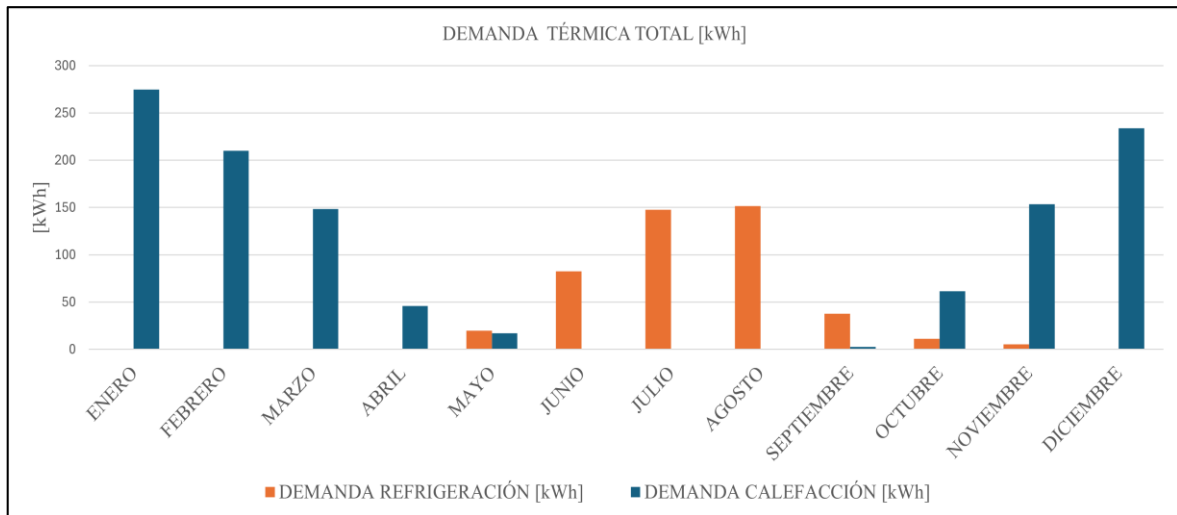


Figura 4-12 Demanda térmica total del módulo básico en Bosnia

4.3.3 Letonia

Letonia presenta un clima más adverso que Bosnia, registrando temperaturas de -21°C durante los meses de invierno y superando levemente los 30°C en la época de estío. Por lo tanto, para mantener el confort en el interior del módulo, será necesario un gran aporte energético durante los meses más fríos y un aporte energético menor en refrigeración durante los meses más calurosos. En la Figura 4-13 puede apreciarse que en los meses de invierno la temperatura interior se mantiene constante en 18°C .

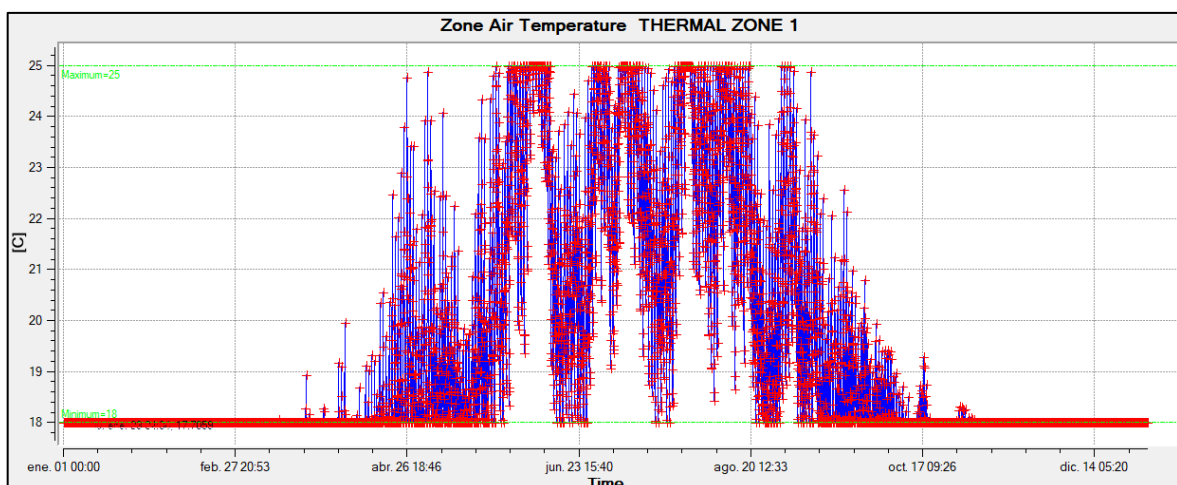


Figura 4-13 Temperatura en el interior del módulo básico en Letonia

En la Figura 4-14 se observa como la demanda térmica en calefacción aumenta durante esos meses, alcanzando valores muy elevados. Por el contrario, la demanda durante los meses de verano se mantiene prácticamente nula.

En la Figura 4-15 se aprecia como la demanda aumenta en los meses calurosos y como, al contrario que con la demanda por calefacción, la demanda por refrigeración no alcanza valores tan elevados.

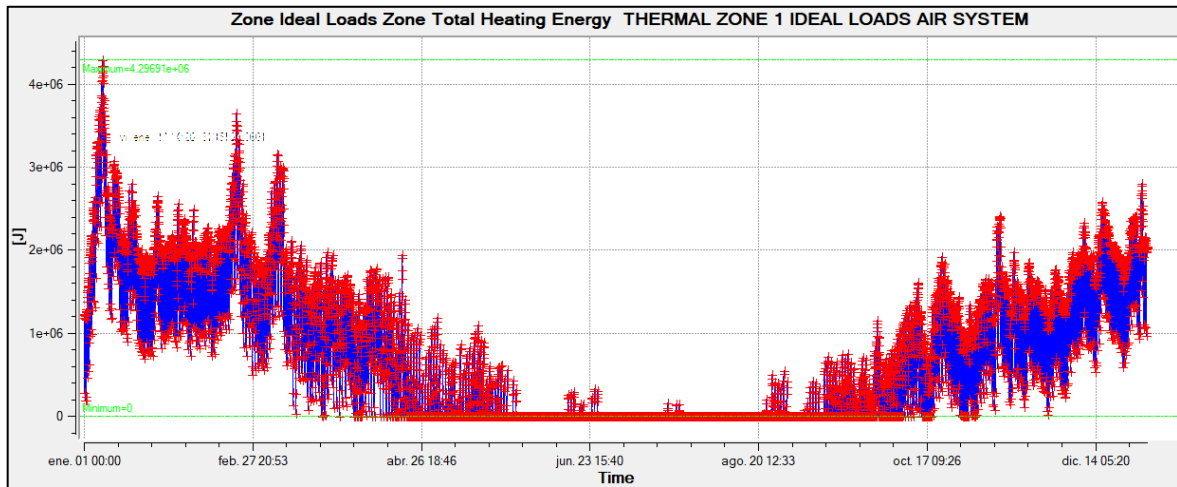


Figura 4-14 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Letonia

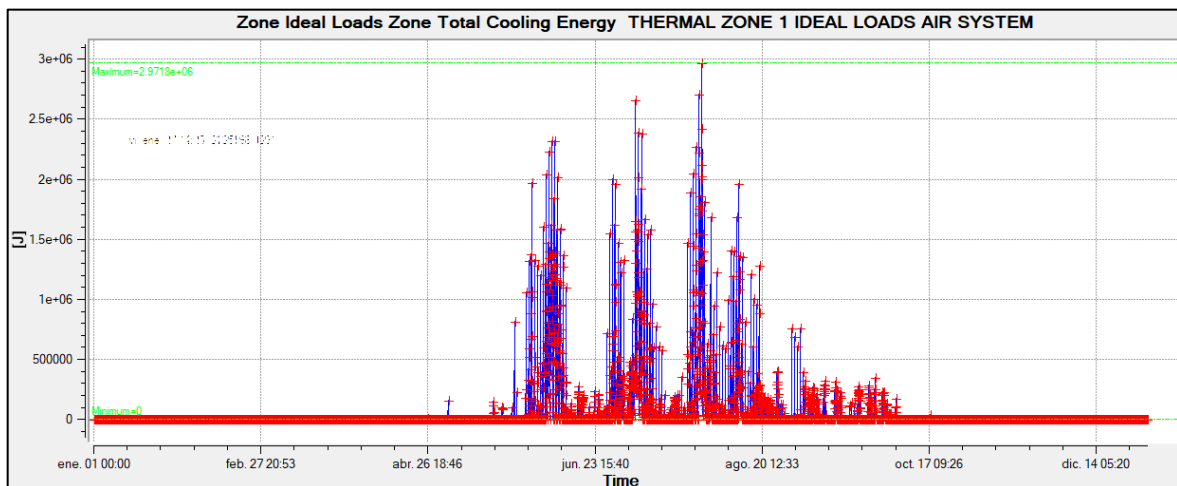


Figura 4-15 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Letonia

En la Figura 4-16 se aprecia de manera más visual la diferencia entre las demandas térmicas por calefacción y por refrigeración. Esto es debido a que las temperaturas invernales son más extremas que las registradas en verano y distan más del límite de temperatura en el interior.

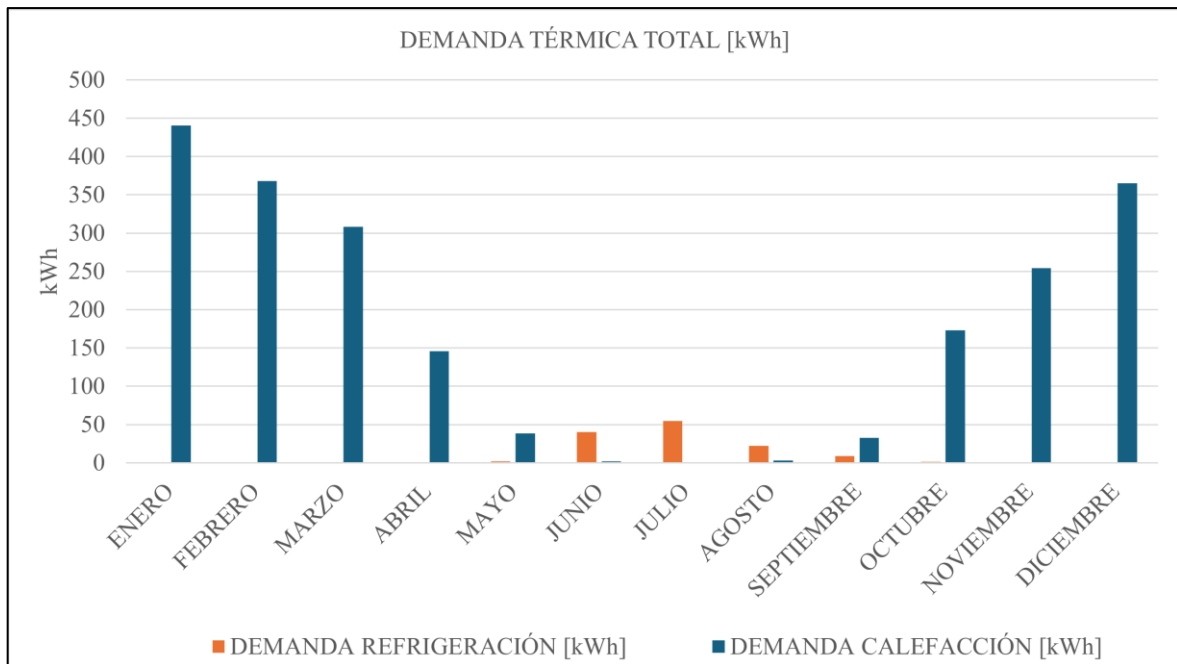


Figura 4-16 Demanda térmica total del módulo básico en Letonia

4.3.4 Líbano

En el Líbano se registran temperaturas que van desde los -3°C en época invernal hasta los 30°C durante los meses de verano, un clima similar al de Bosnia, pero con veranos más suaves. En la Figura 4-17 se puede ver como el sistema HVAC, durante la estación fría, es capaz de mantener la temperatura en el interior por encima del límite establecido. Durante los meses más calurosos la temperatura en el interior se mantiene cerca del límite superior.

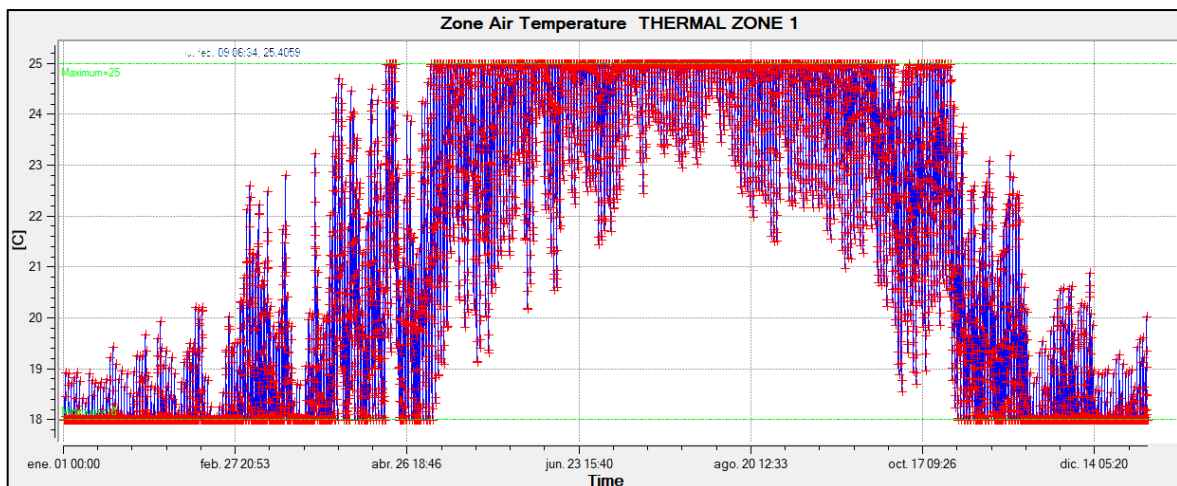


Figura 4-17 Temperatura interior del módulo básico en el Líbano

En la Figura 4-18 y Figura 4-19 puede apreciarse que las demandas térmicas por calefacción y refrigeración alcanzan valores similares durante el año, siendo muy inferiores a las mencionadas anteriormente.

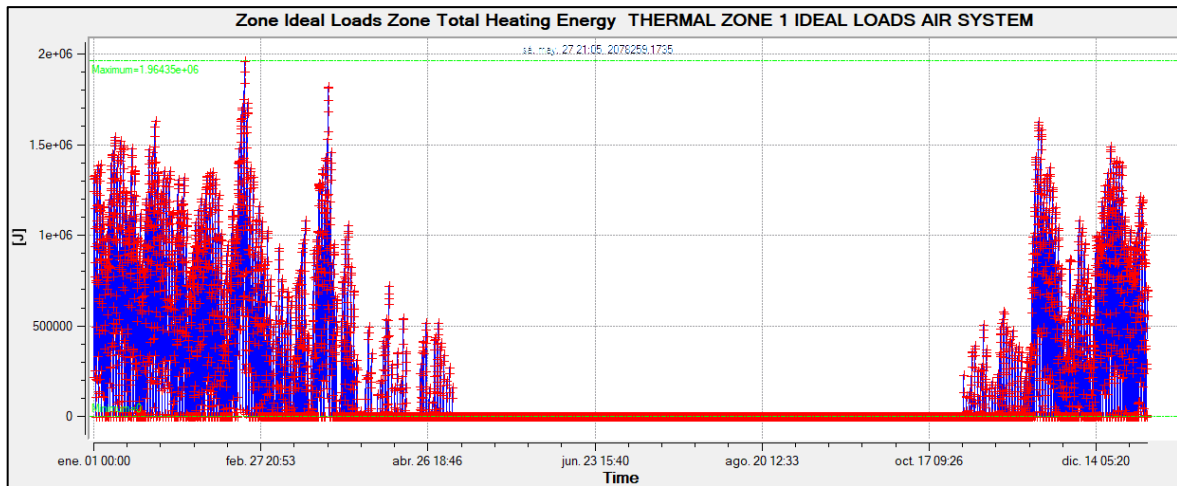


Figura 4-18 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en el Líbano

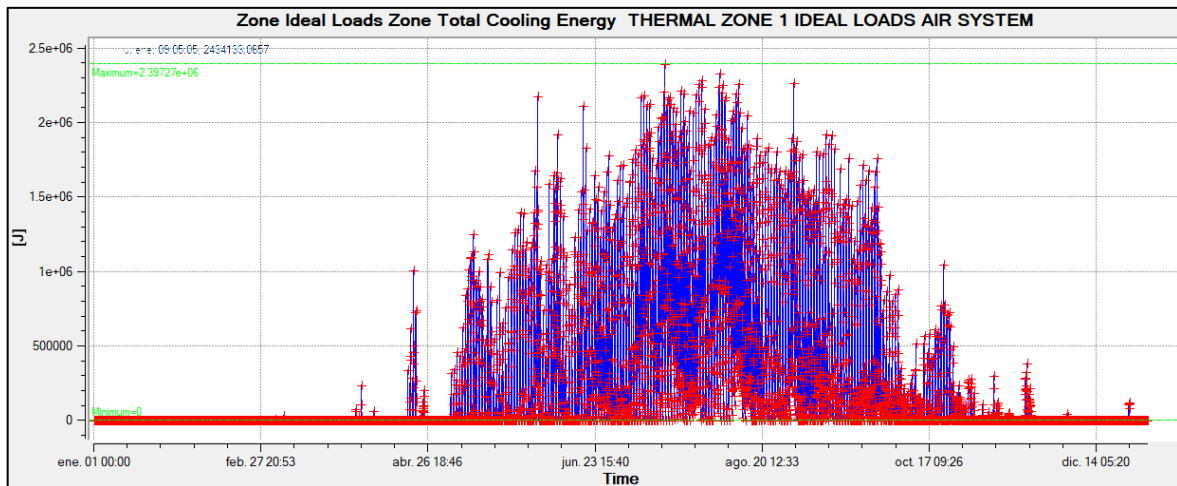


Figura 4-19 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en el Líbano

En la Figura 4-20 se aprecia con mayor detalle la similitud entre las demandas térmicas por calefacción y por refrigeración a lo largo del año. Esto acontece a causa de que la temperatura media en invierno y la temperatura media en los meses de verano es prácticamente equidistante a los límites del módulo.

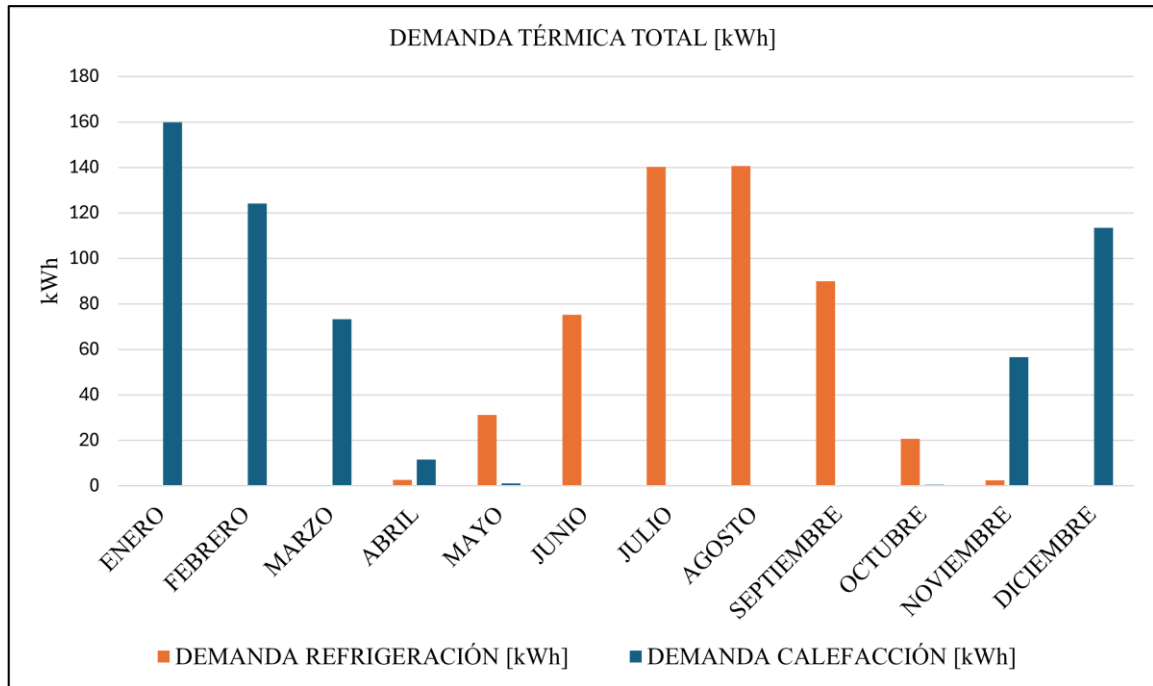


Figura 4-20 Demanda térmica total del módulo básico en el Líbano

4.3.5 Irak

En Irak, los meses calurosos predominan sobre los meses fríos. La temperatura durante los meses calurosos supera los 38°C alcanzando temperaturas de hasta 50°C. Durante los pocos meses de frío, las temperaturas oscilan entre los 12°C y 17°C. Ante esta situación, cabe esperar, por tanto, que la demanda de energía de enfriamiento va a ser elevada, al contrario que ocurrirá con la de calentamiento. Esta deducción se puede observar en la Figura 4-22 y la Figura 4-23.

Debido a lo descrito en el párrafo previo, la temperatura en el interior se mantendrá constante en el límite superior la mayor parte del año, fluctuando entre los límites el resto del año (véase Figura 4-21).

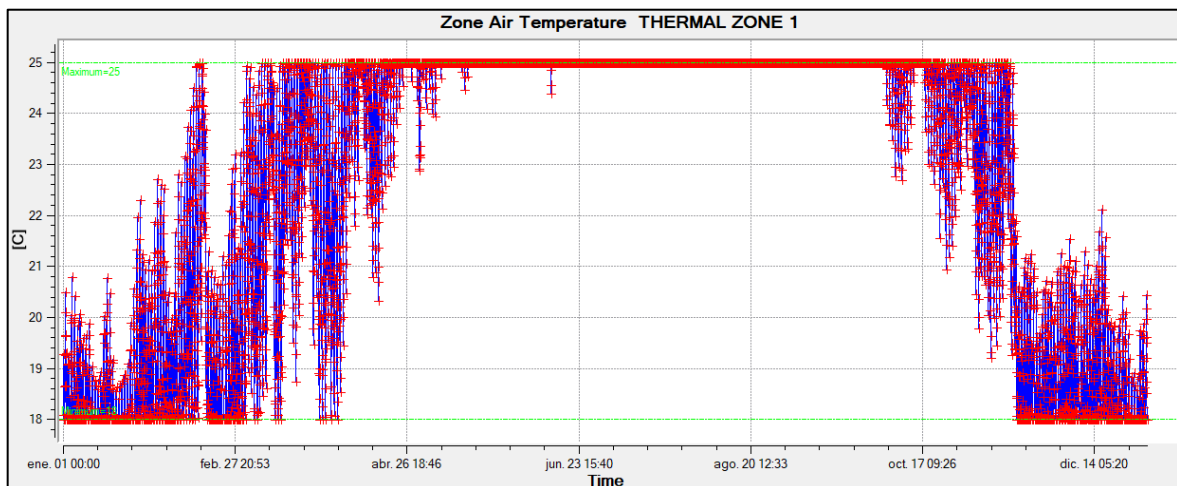


Figura 4-21 Temperatura en el interior del módulo básico en Irak

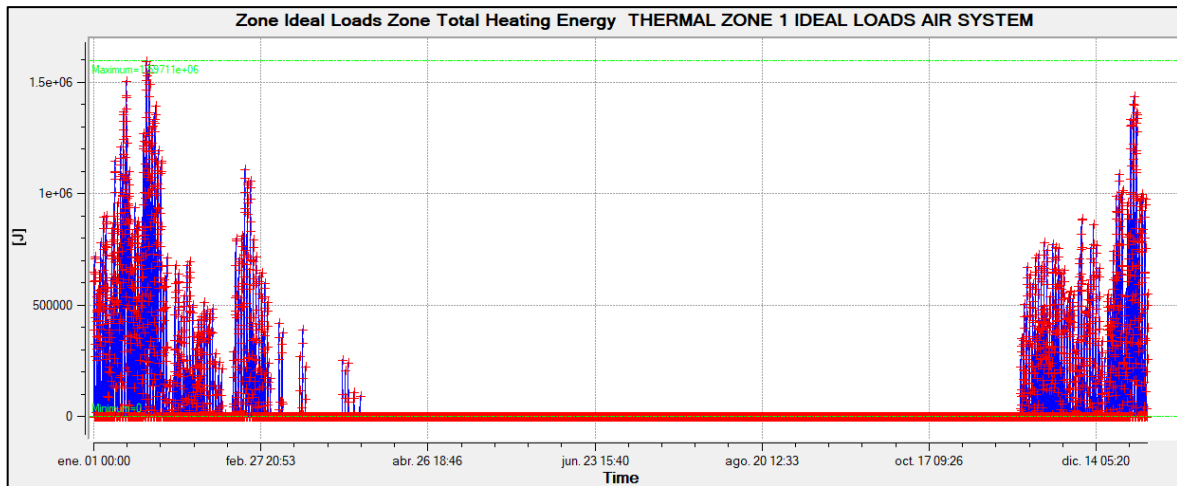


Figura 4-22 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Irak

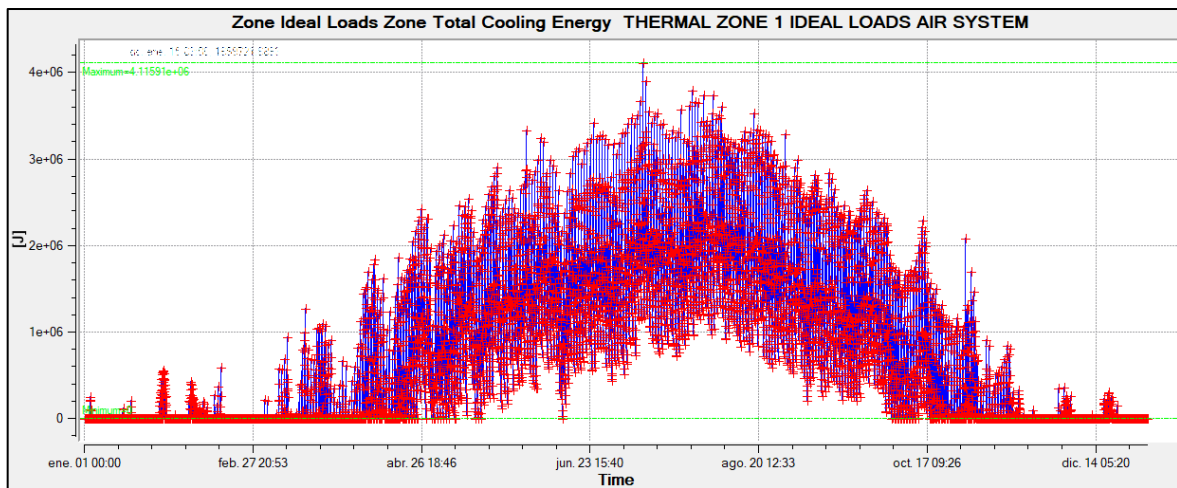


Figura 4-23 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Irak

En la Figura 4-24 se grafican las demandas térmicas por calefacción y refrigeración y se observa que la demanda energética por calefacción es prácticamente despreciable comparada con la demanda por refrigeración y que en Irak es necesario el uso de aire acondicionado durante casi todo el año.

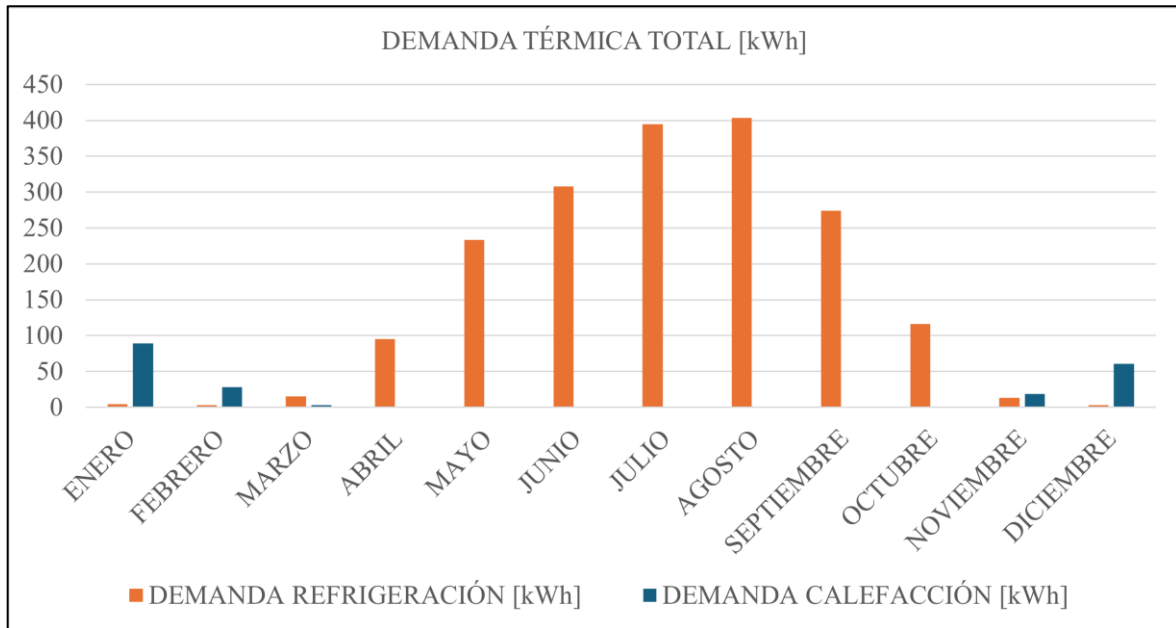


Figura 4-24 Demanda térmica total del módulo básico en Irak

4.3.6 Mali

Debido a las altas temperaturas que se registran en Mali, el aporte de energía de refrigeración necesario para mantener la temperatura en el interior del módulo por debajo de los 25°C es muy elevado. Por otro lado, no será necesario aportar energía de calefacción ya que la temperatura media de cada mes es siempre mayor a la mínima establecida. En la Figura 4-25 se observa que la temperatura en el interior se mantiene cercana a los 25°C durante todo el año, no alcanzando nunca el mínimo establecido.

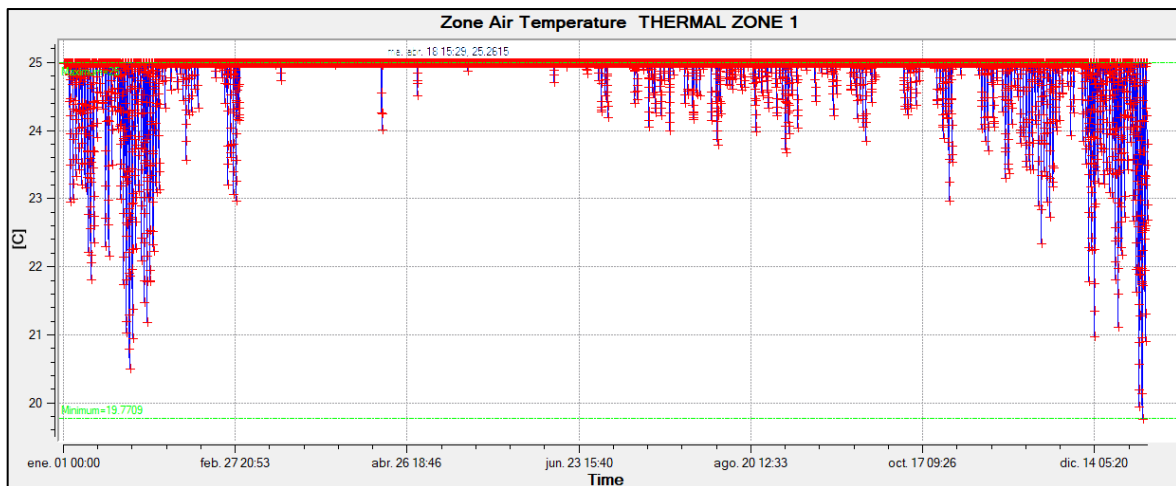


Figura 4-25 Temperatura en el interior del módulo básico en Mali

En la Figura 4-26 se observa que la aportación de energía por calefacción es prácticamente nula. Por el contrario, en la Figura 4-27 se muestra la alta demanda térmica por refrigeración a lo largo del año.

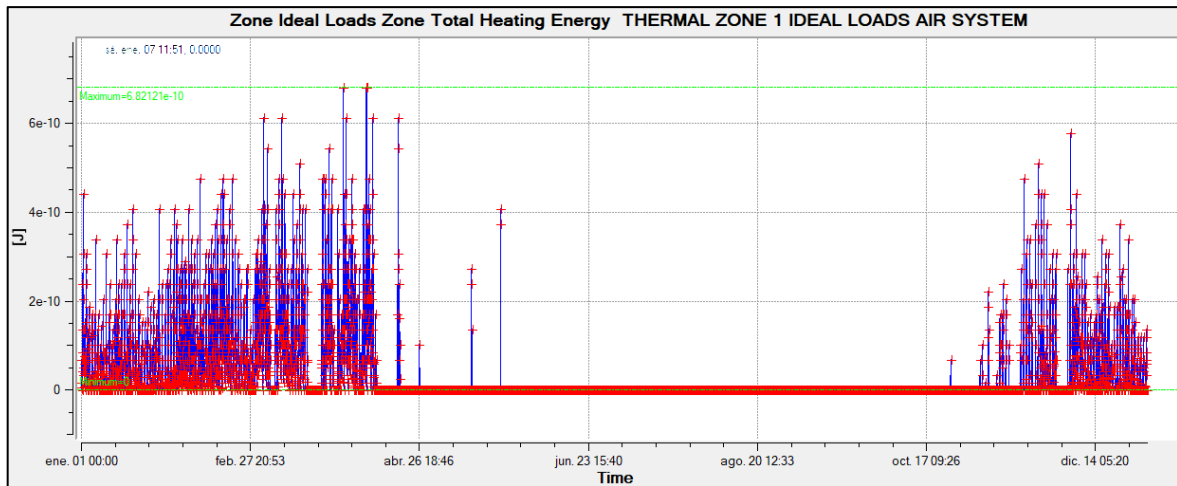


Figura 4-26 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Mali

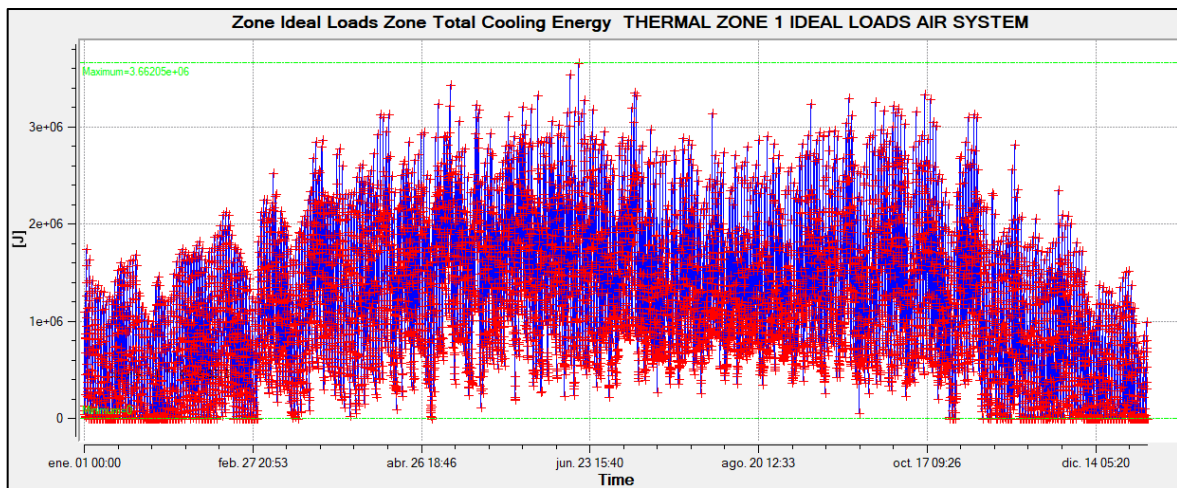


Figura 4-27 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Mali

En la Figura 4-28 se puede ver como la elevada demanda térmica por refrigeración perdura a lo largo del año, no siendo necesaria la calefacción en ningún momento.

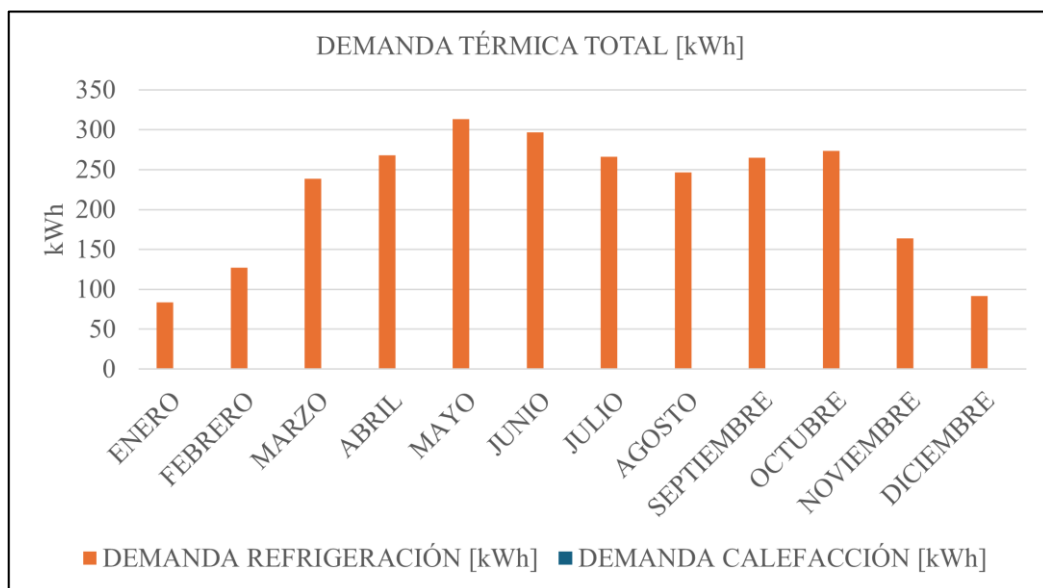


Figura 4-28 Demanda térmica total del módulo básico en Mali

4.3.7 Haití

En Haití se registran temperaturas superiores a los 24°C durante todo el año. Al igual que ocurre en Mali, en este emplazamiento la demanda térmica por refrigeración será muy elevada mientras que por calefacción será nula. En la Figura 4-29 se muestra la temperatura en el interior del módulo será durante todo el año próxima al límite superior establecido.

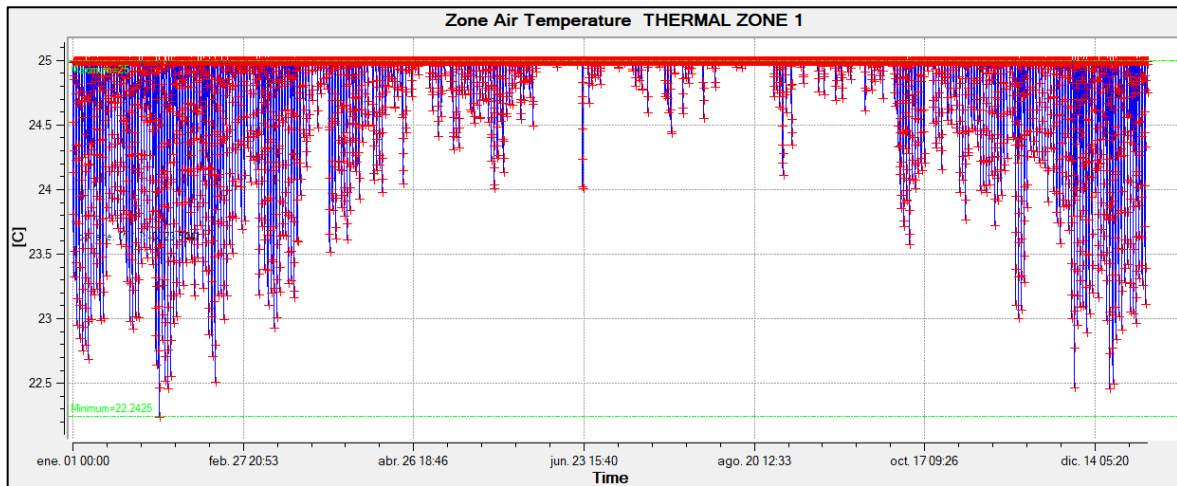


Figura 4-29 Temperatura en el interior del módulo básico en Haití

La situación descrita en la gráfica, donde la demanda energética por calefacción es nula y la demanda por refrigeración es alta, se muestra en la Figura 4-30 y la Figura 4-31 respectivamente. En este escenario, la alta demanda por refrigeración se debe a las altas temperaturas exteriores típicas de Haití, especialmente durante la temporada cálida o de verano, donde la demanda térmica alcanza sus valores más elevados. Dado a que las temperaturas exteriores son lo suficientemente altas, se requiere el funcionamiento constante de sistemas de refrigeración para mantener el confort térmico dentro del módulo.

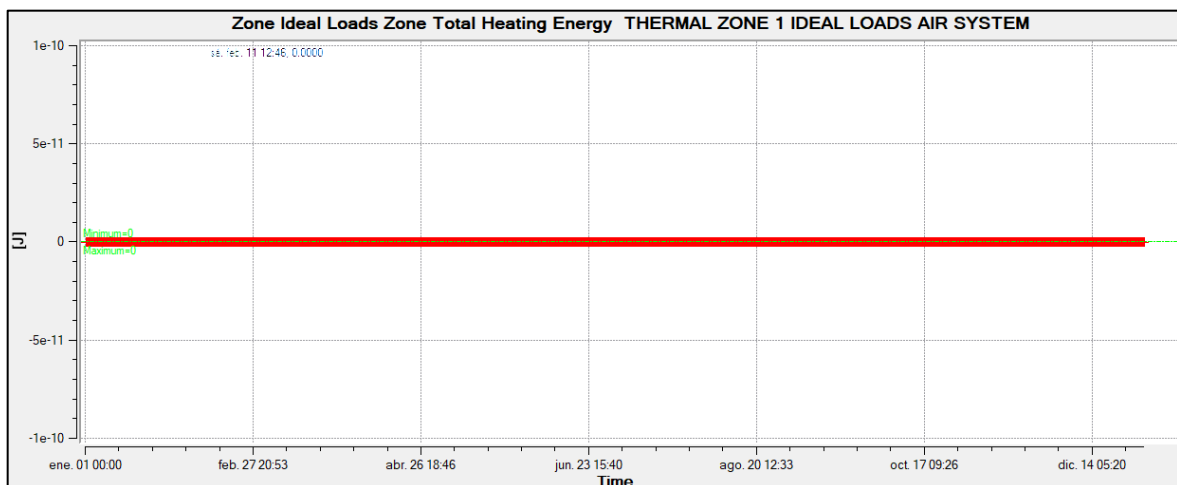


Figura 4-30 Demanda térmica por calefacción del módulo básico en Haití

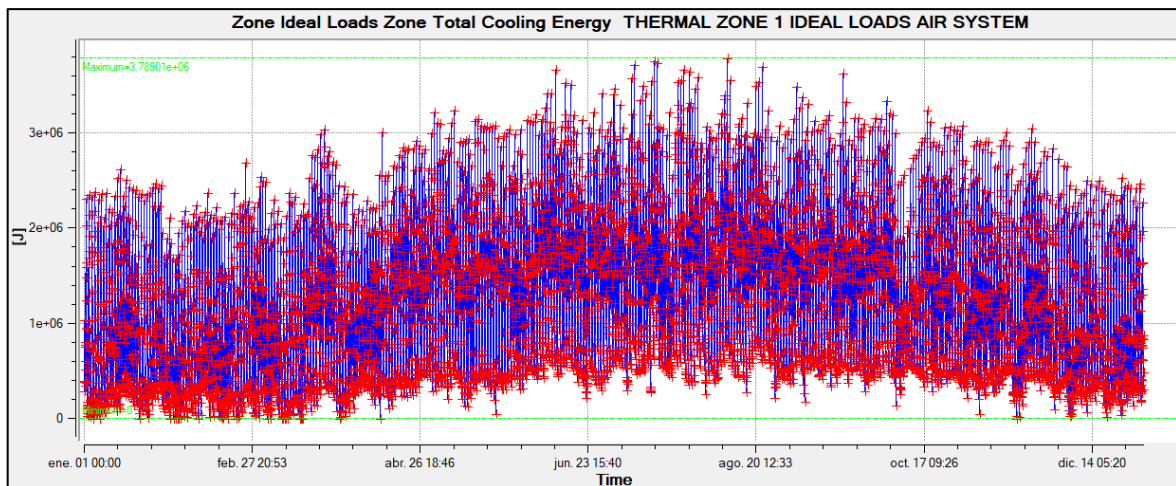


Figura 4-31 Demanda térmica por refrigeración del módulo básico en Haití

En el diagrama de barras que se muestra en la Figura 4-32, se observa la demanda térmica por refrigeración en Haití a lo largo de un año. Este gráfico proporciona una visión clara de cómo varía esta demanda en función de las estaciones y las condiciones climáticas. Al observar el diagrama, podemos identificar los meses en los que la demanda por refrigeración es más alta, lo que probablemente coincidirá con la temporada cálida o de verano en Haití. Estos meses se representan con barras más altas en el diagrama, lo que indica una mayor necesidad de refrigeración para mantener el confort térmico en los espacios interiores. Al contrario, ocurre con los meses en los que la demanda por refrigeración es más baja, estos son representados con las barras más bajas. Este análisis visual permite identificar patrones estacionales en la demanda de refrigeración y proporciona información para el diseño de módulos alternativos, contribuyendo así a la optimización de la eficiencia energética de estos módulos.

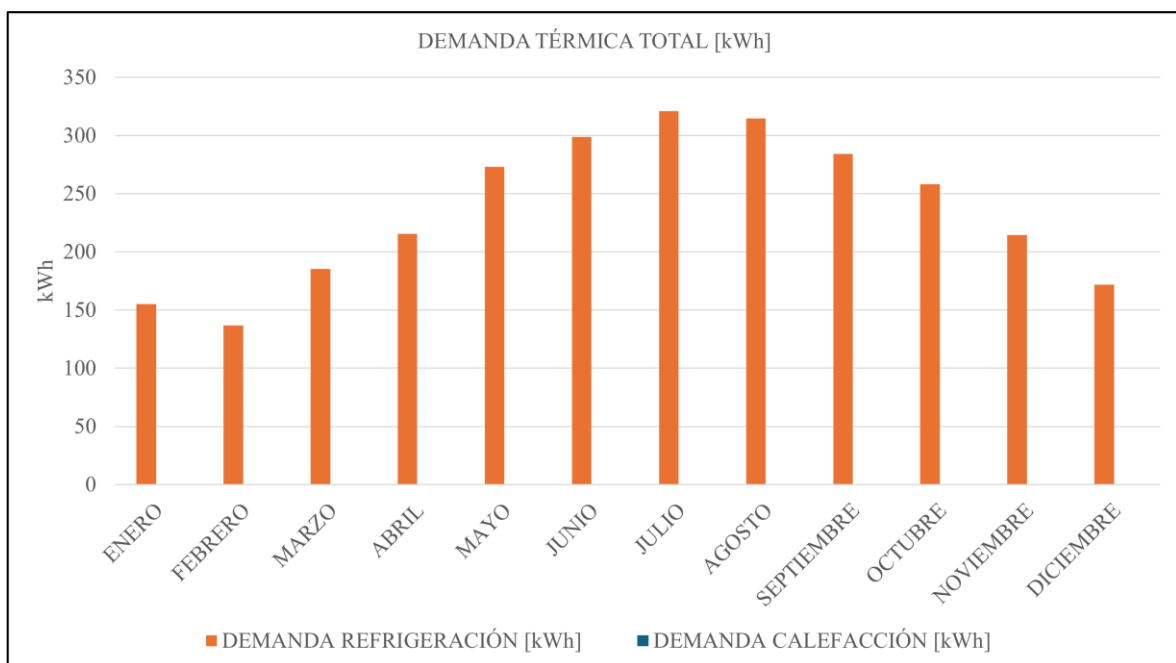


Figura 4-32 Demanda térmica total del módulo básico en Haití

4.4 Discusión de los resultados obtenidos en los módulos alternativos

Una vez analizados los resultados obtenidos de las simulaciones del módulo genérico, se simulan energéticamente los distintos módulos alternativos en sus respectivas zonas climáticas durante un año completo.

En la Tabla 4-2 se muestran las nuevas demandas energéticas obtenidas tras simular las nuevas alternativas constructivas. De nuevo, las demandas térmicas más altas se dan en la Antártida y en Haití, sin embargo, es notable la reducción en comparación con las obtenidas en el módulo genérico. Esta disminución significativa refleja eficazmente el impacto positivo de las estrategias llevadas a cabo para el diseño de los nuevos modelos. La adopción de nuevas estrategias, así como la selección cuidadosa de materiales de construcción, ha resultado en una reducción notable en las necesidades de calefacción y refrigeración de los nuevos módulos.

En el diagrama de barras de la Figura 4-33 se muestra la demanda térmica en el módulo básico y en los módulos alternativos para cada emplazamiento, proporcionando una visión clara de la reducción obtenida tras analizar los segundos.

Emplazamiento	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Demanda total [kWh]
La Antártida	2888,46	0	2888,46
Bosnia	891,55	302,46	1194,01
Letonia	1037,48	68,18	1105,66
Líbano	133,99	316,41	450,40
Irak	244,52	195,03	439,55
Mali	0	1396,24	1396,24
Haití	0	1770,43	1770,42

Tabla 4-2 Demanda energética de los módulos alternativos en los emplazamientos estudiados

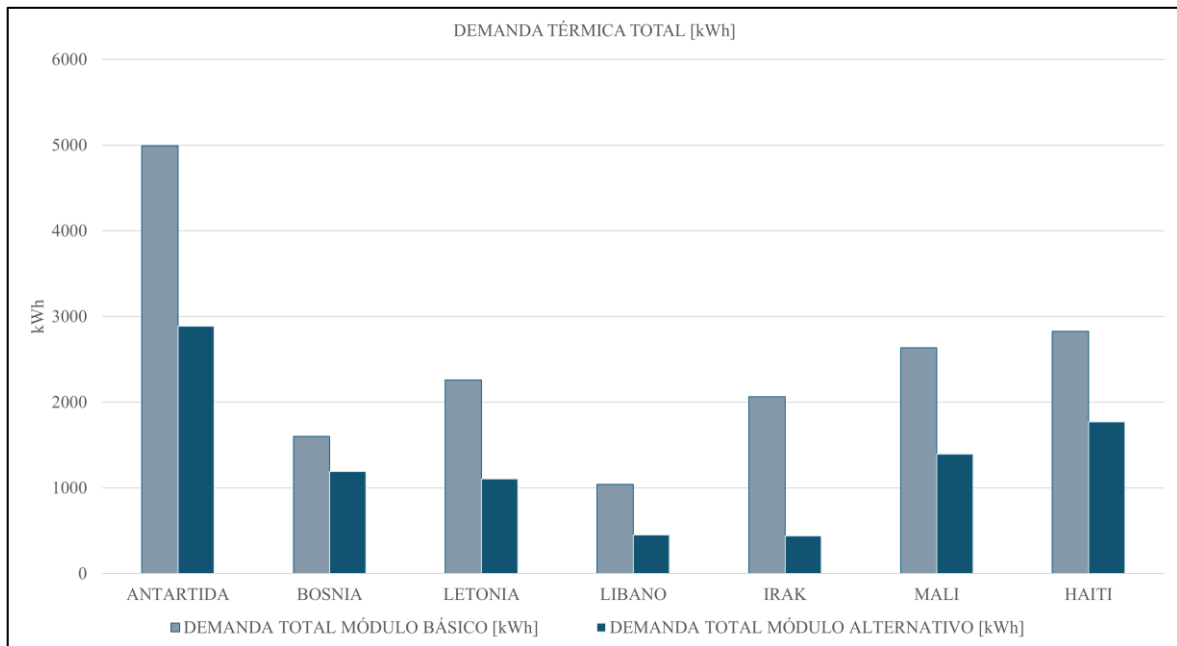


Figura 4-33 Comparativa demanda térmica total entre módulo básico y alternativo

4.4.1 Zona climática 1: Antártida

En la Antártida, se ha logrado un significativo ahorro energético gracias a los cambios implementados en el diseño del nuevo módulo (apartado 3.7). Estos cambios han demostrado ser altamente efectivos, adaptándose a las extremas condiciones climáticas de la región antártica.

En la Figura 4-34 se muestra cómo la temperatura en el interior del módulo se mantiene dentro de los límites establecidos. En este caso, al contrario que en el módulo básico, la temperatura nunca alcanza los 19°C. A pesar de esto, es significativo que la demanda energética necesaria es aproximadamente la mitad en comparación con el módulo básico. Este resultado sugiere que el módulo permite optimizar de una manera más efectiva el consumo de energía.

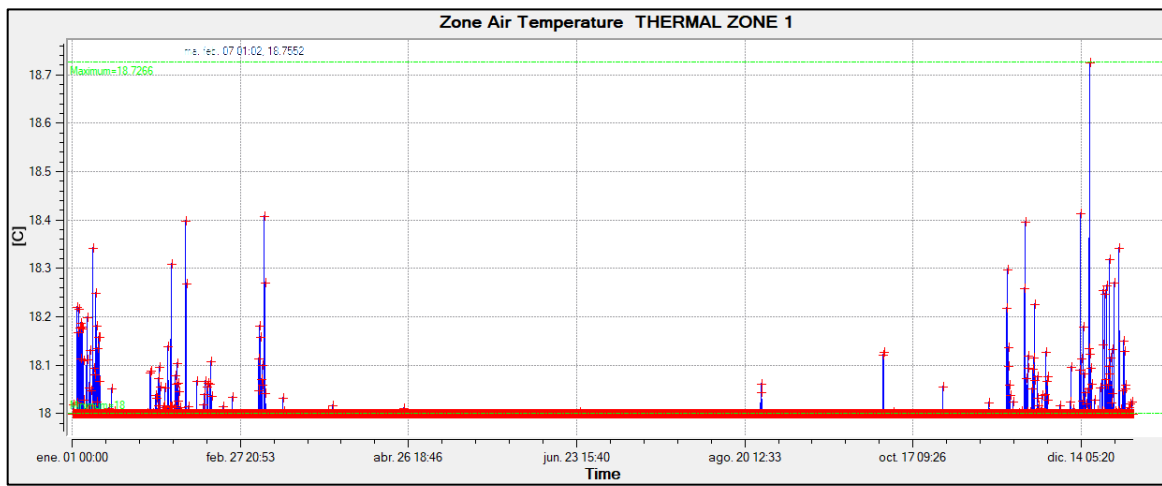


Figura 4-34 Temperatura en el interior del módulo alternativo en La Antártida

En la Figura 4-35 y en la Figura 4-36 se muestran las demandas térmicas tanto por calefacción como por refrigeración. La demanda energética por refrigeración, como era de esperar, es nula.

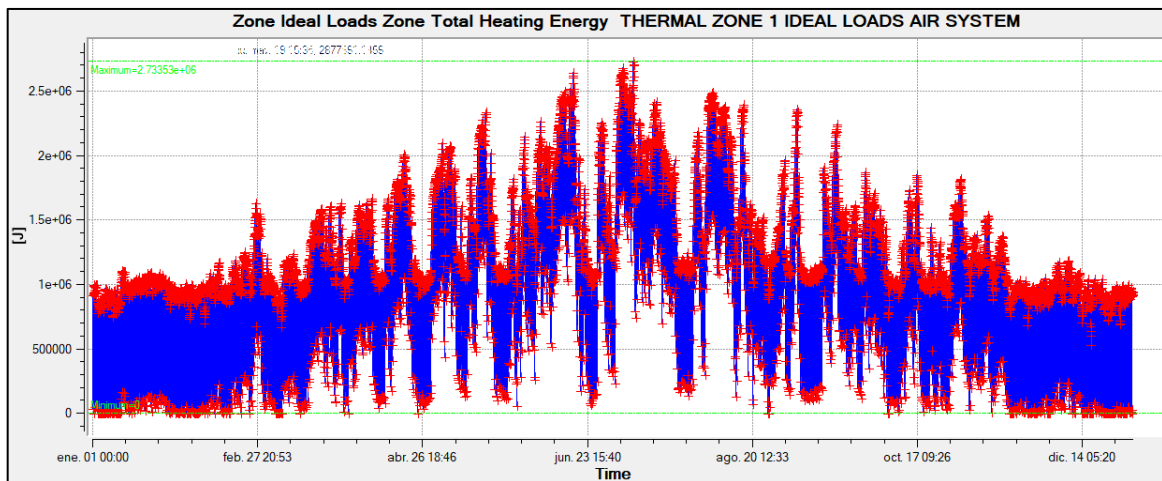


Figura 4-35 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en La Antártida

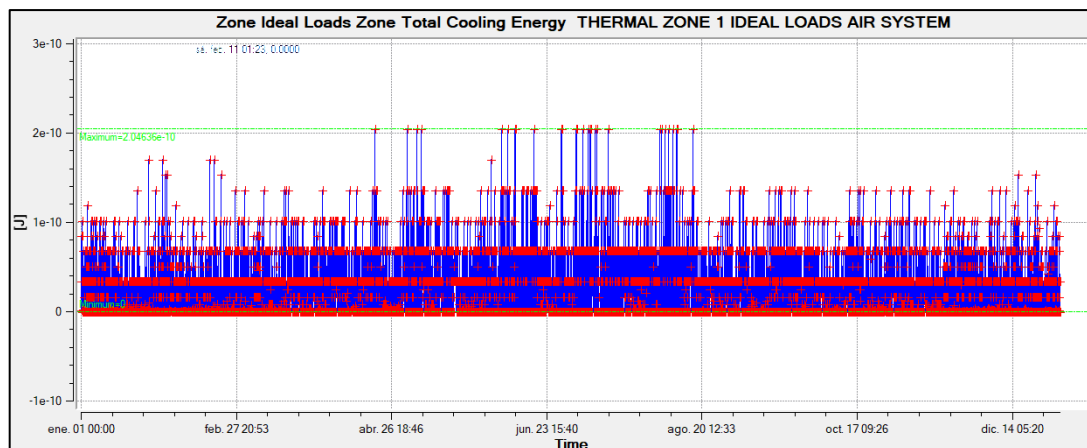


Figura 4-36 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en La Antártida

En el diagrama de barras que se muestra en la Figura 4-37 se muestra la comparativa mensual entre los requerimientos energéticos del módulo básico y los requerimientos de la alternativa constructiva. En la gráfica se observa como en los meses más fríos (de mayo a septiembre) se producen los mayores ahorros energéticos. Este hecho resalta la eficacia de las medidas adoptadas, particularmente en periodos de clima más frío. Esto se debe a que el módulo alternativo cuenta con un mejor aislamiento térmico y presenta menos pérdidas de calor a través de puertas y ventanas.

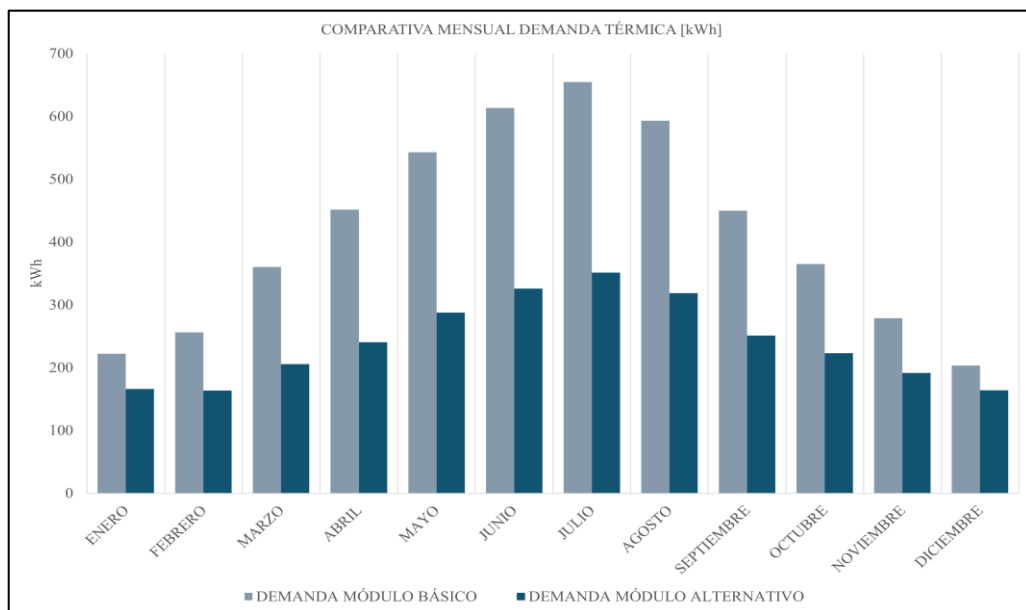


Figura 4-37 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.4.2 Zona climática 2: Bosnia-Letonia-Líbano

4.4.2.1 Bosnia-Herzegovina

En Bosnia se ha obtenido el ahorro energético más bajo entre todos los emplazamientos estudiados. No obstante, el módulo alternativo ha conseguido reducir tanto la demanda por calefacción como por refrigeración, cumpliendo la normativa al mantener la temperatura del módulo entre los límites.

En la Figura 4-38 se puede observar que la temperatura en el interior fluctúa según la época del año, sin embargo, en los meses de verano, a través de la ventilación cruzada programada, se ha conseguido alcanzar una temperatura media más alejada al límite superior.

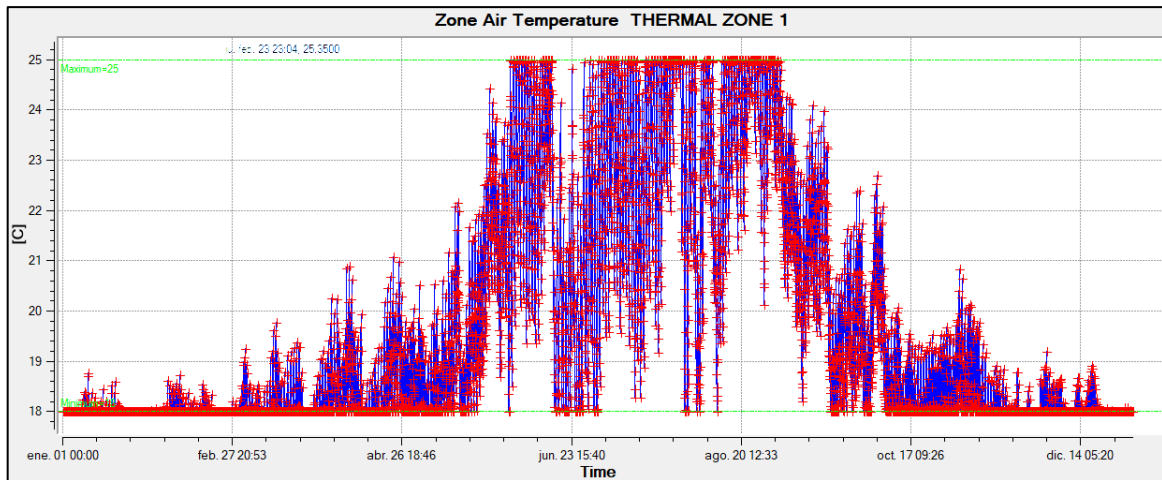


Figura 4-38 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Bosnia

En la Figura 4-39 y en la Figura 4-40 se muestran los resultados de la simulación. Los resultados son similares a los obtenidos en el módulo básico a excepción de la demanda por refrigeración que registra demandas significativamente inferiores a las obtenidas previamente.

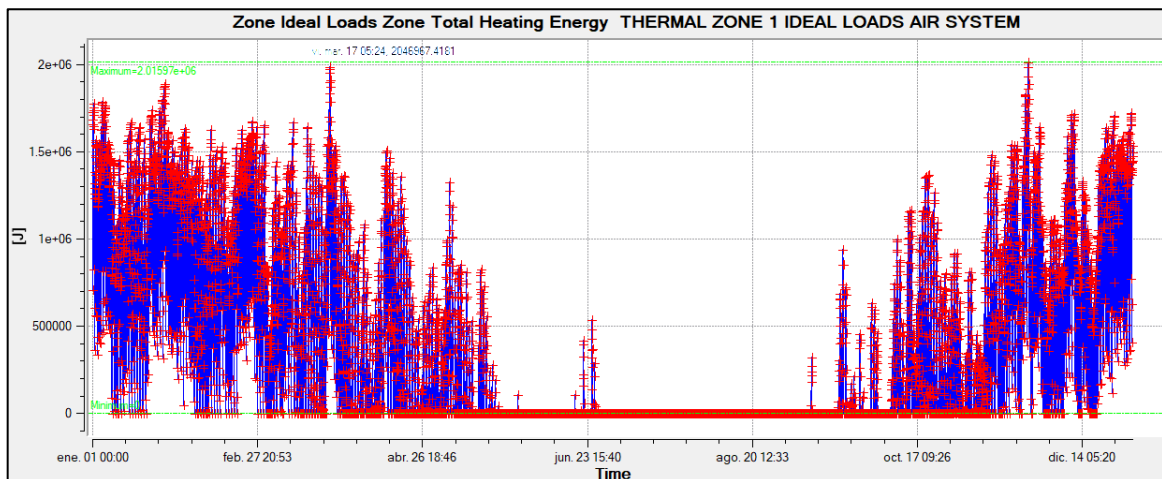


Figura 4-39 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Bosnia

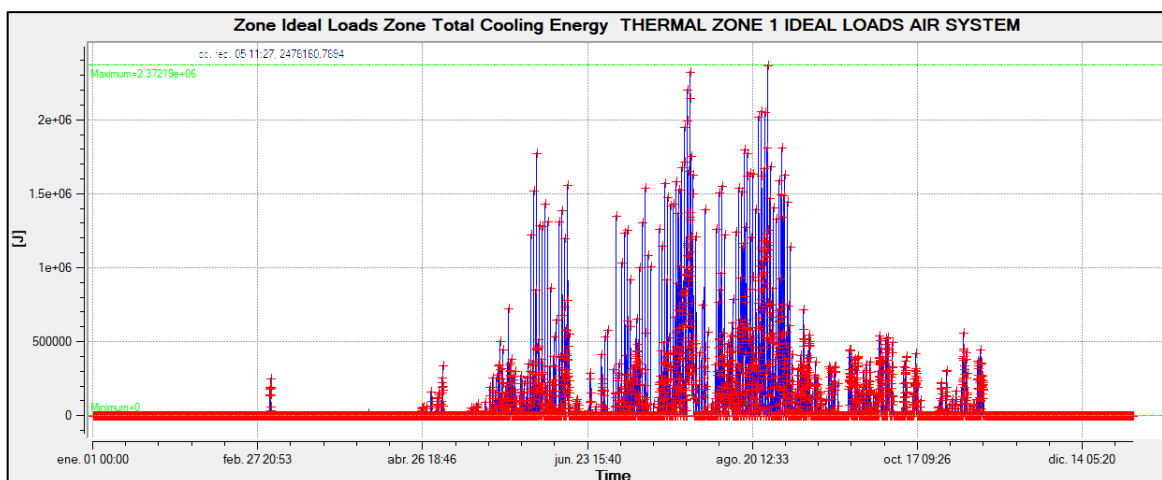


Figura 4-40 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Bosnia

En el gráfico de barras de la Figura 4-41 se muestra la comparativa mensual de los requerimientos energéticos entre los módulos. Aunque en términos generales el módulo alternativo muestra ser más eficiente que el básico, el balance mensual no es siempre positivo, el mes de abril la demanda energética del módulo alternativo supera a la del básico. Al no seguir un patrón, no se pueden sacar conclusiones de la causa de este hecho.

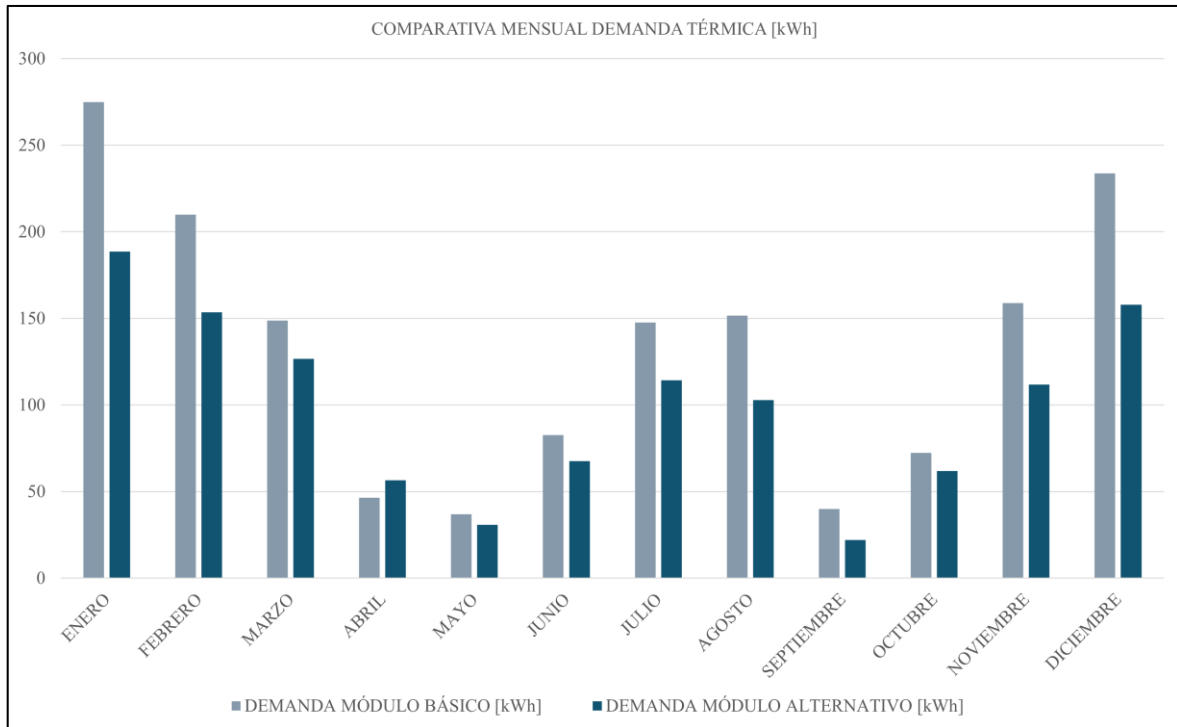


Figura 4-41 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.4.2.2 Letonia

La nueva alternativa constructiva propuesta para esta zona climática ha resultado ser altamente efectiva para la climatología de Letonia. Muestra de ello, si la temperatura en el interior del módulo alternativo (Figura 4-42) es comparada con la temperatura en el interior del módulo básico (Figura 4-13), no se aprecia apenas diferencia, sin embargo, la demanda térmica para alcanzar ese confort es aproximadamente un 50% inferior en el nuevo módulo.

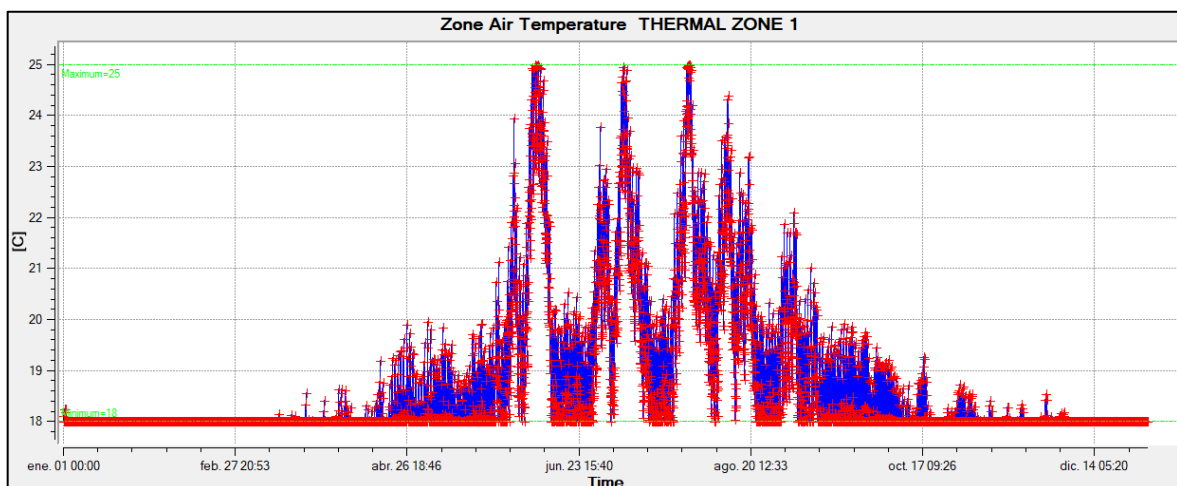


Figura 4-42 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Letonia

En las gráficas resultantes de las simulaciones (Figura 4-43 y Figura 4-44) se aprecia un patrón similar al obtenido con el módulo básico, altas demandas por calefacción en los meses fríos y nula en verano y demandas no tan altas por refrigeración en los meses de calor. No obstante, en la Figura 4-45 se muestra de manera más visual el ahorro obtenido con el nuevo módulo, siendo mayor en los meses de invierno, reflejando de nuevo lo efectivas que son las estrategias en situaciones de frío extremo.

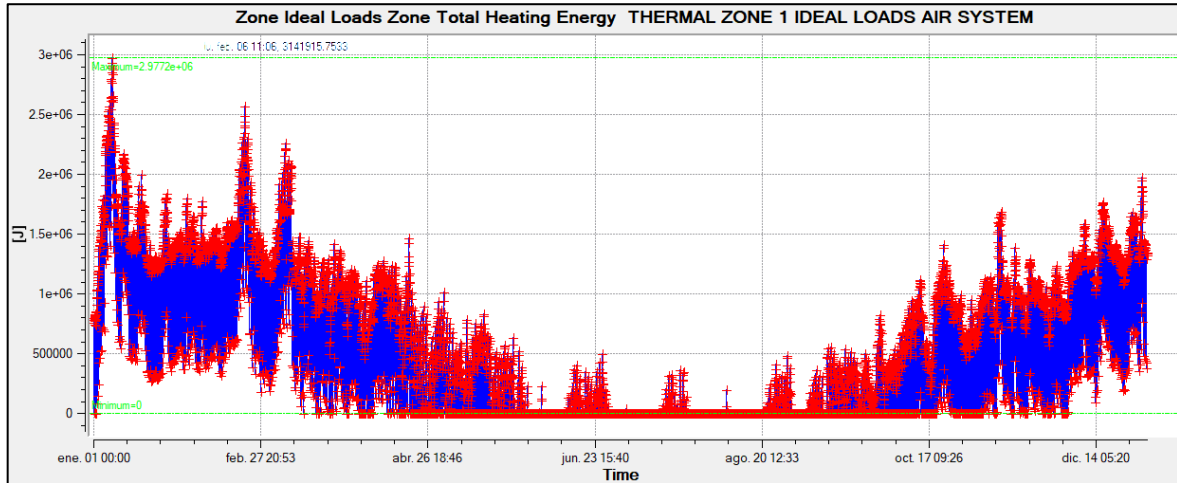


Figura 4-43 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Letonia

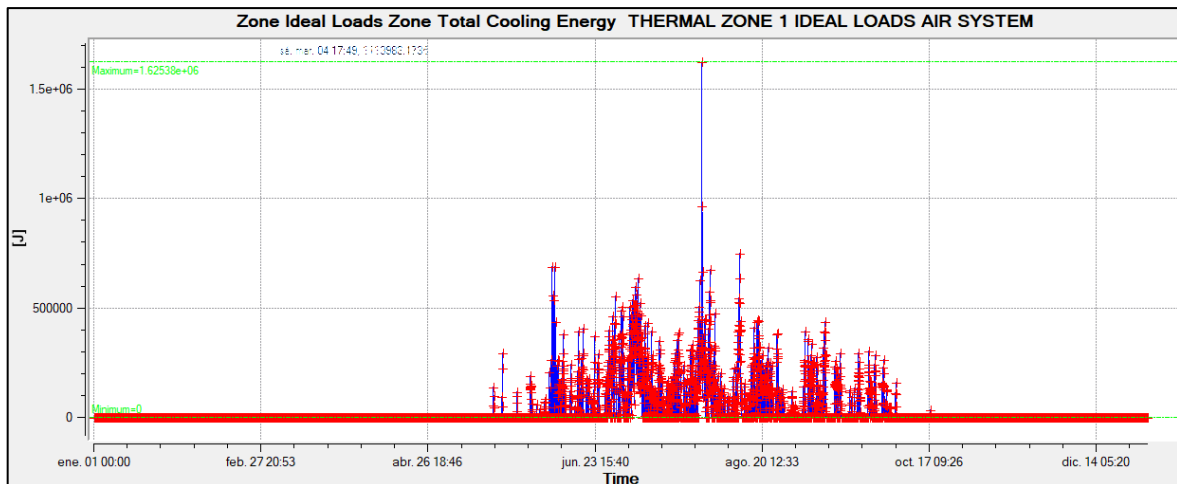


Figura 4-44 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Letonia

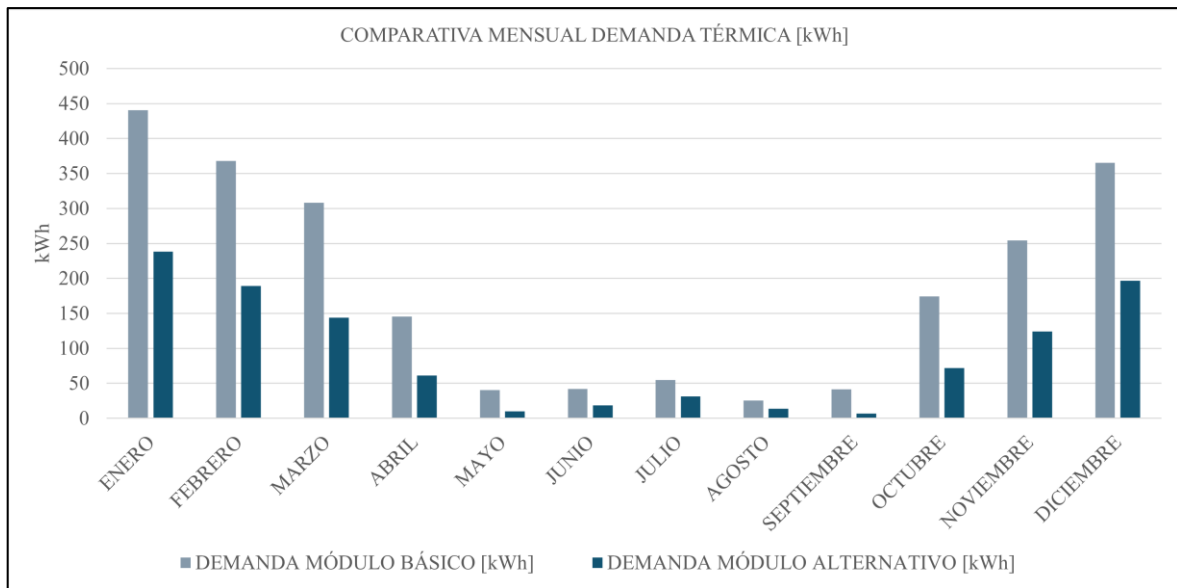


Figura 4-45 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.4.2.3 Líbano

Las estrategias adoptadas para esta zona climática han demostrado una excelente adaptación a la climatología del Líbano, reduciendo la demanda térmica y asegurando condiciones de confort térmico adecuadas para los ocupantes del módulo durante todo el año (Figura 4-46).

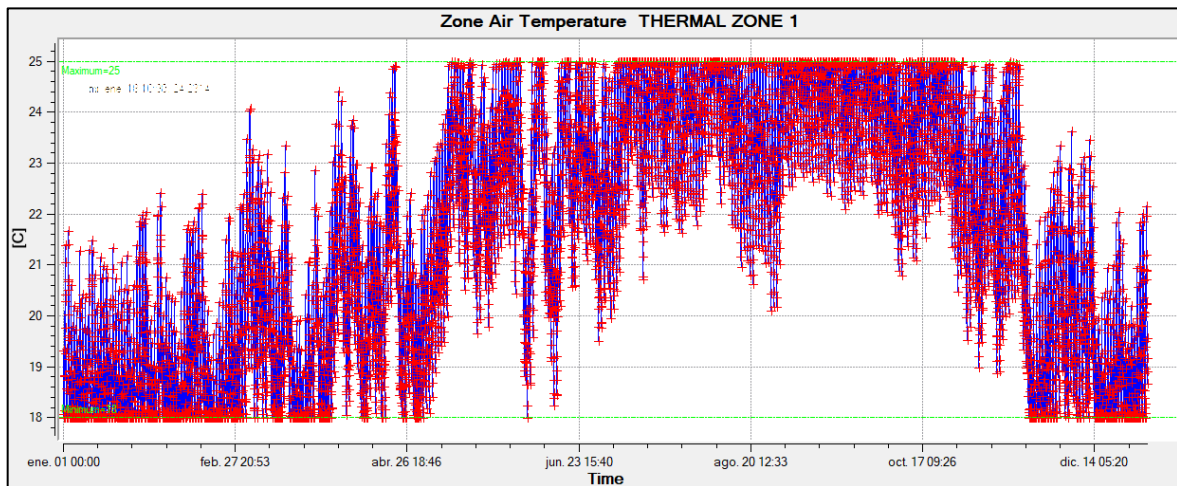


Figura 4-46 Temperatura en el interior del módulo alternativo en el Líbano

A diferencia del módulo básico, que registraba demandas similares por calefacción y refrigeración, este módulo registra una menor demanda térmica por calefacción que por refrigeración a pesar de haber adoptado medidas (ventilación cruzada) para reducir esta demanda (véase Figura 4-47 y Figura 4-48). Esto sugiere que, aunque las estrategias de diseño aplicadas han logrado eficientemente optimizar el consumo energético en términos de calefacción, aún queda margen para mejorar la eficiencia en cuestiones de refrigeración. En la Figura 4-49 la gráfica muestra claramente una mayor eficacia en los meses fríos que en los calurosos.

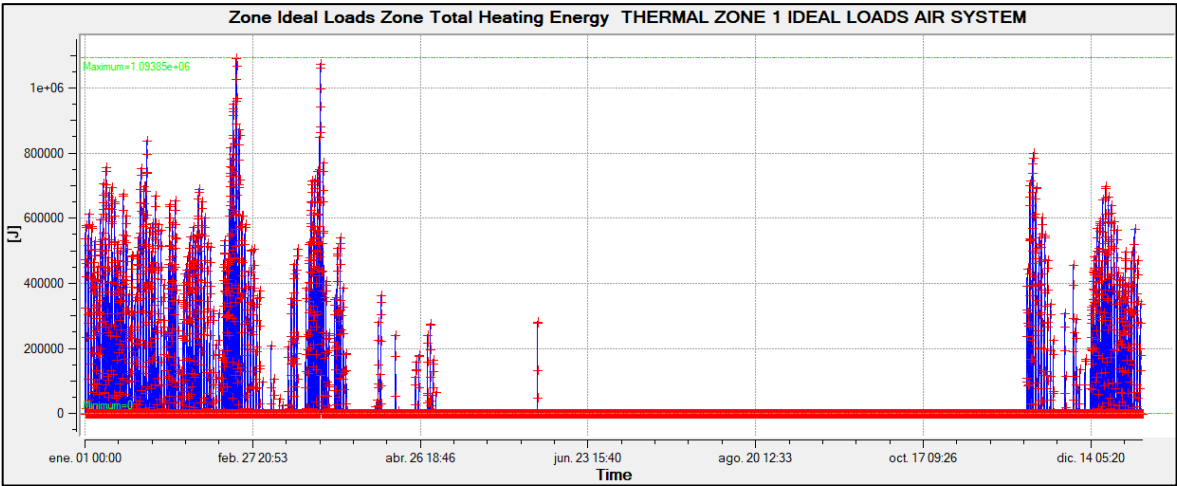


Figura 4-47 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en el Líbano

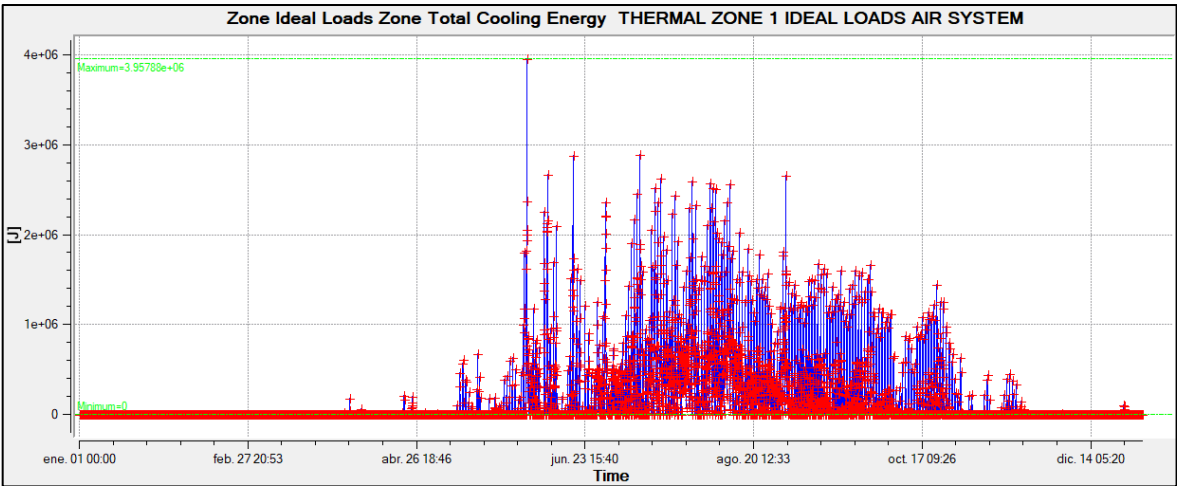


Figura 4-48 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en el Líbano

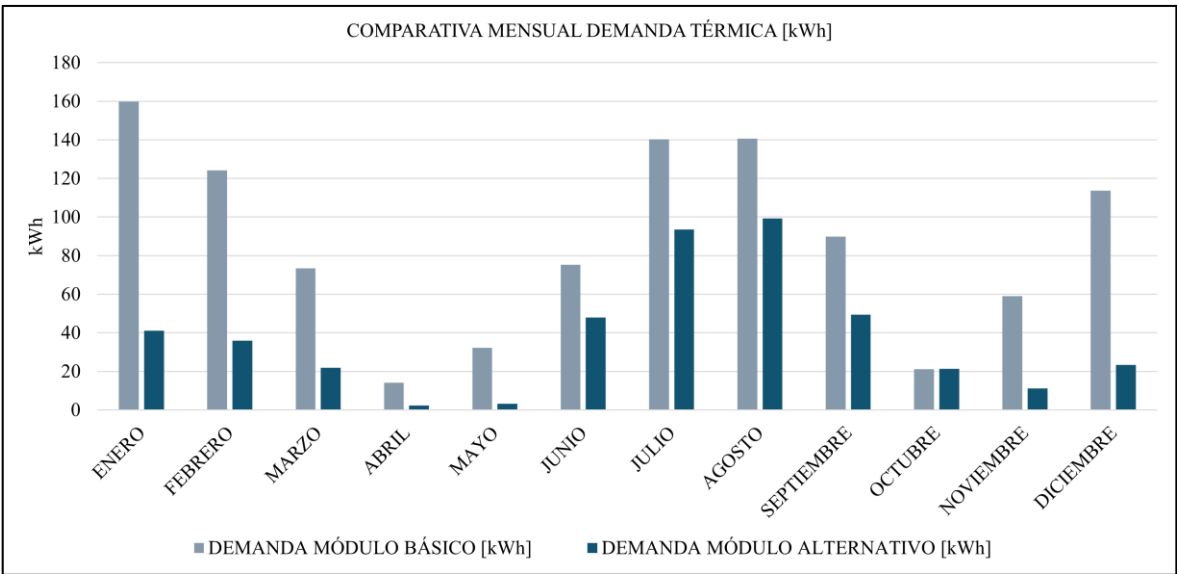


Figura 4-49 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.4.3 Zona climática 3: Irak

Irak presenta los mejores registros de ahorro energético de todos los emplazamientos. Los datos muestran una gran reducción en la demanda de energía, especialmente por refrigeración. El módulo propuesto, con menos cantidad de aislante, ha sabido adaptarse correctamente a la calurosa climatología de Irak.

Por otro lado, con esta alternativa la temperatura interior fluctúa más durante los meses de verano, no manteniéndose invariable en los 25°C como ocurría en el módulo básico (véase Figura 4-50).

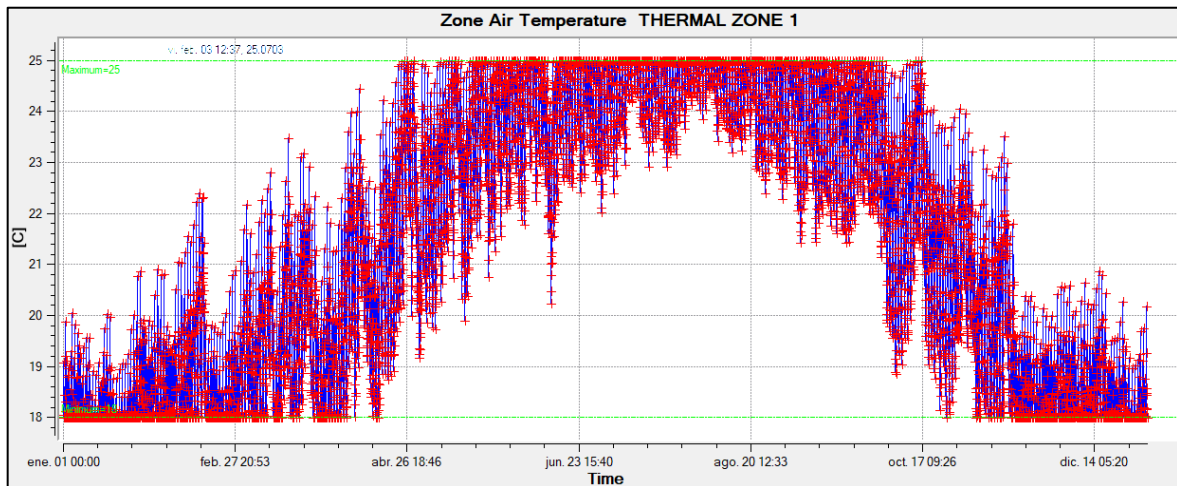


Figura 4-50 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Irak

La Figura 4-51 y la Figura 4-52 muestran las demandas de energía por calefacción y refrigeración. La falta de aislante provoca que, durante los meses fríos, escasos en esta zona, el aporte energético necesario para mantener el confort en el módulo sea mayor debido a que se produzcan considerables pérdidas de calor. Sin embargo, esta pérdida de calor durante los meses cálidos provoca que las temperaturas en el interior del módulo disminuyan, minimizando la necesidad de refrigeración.

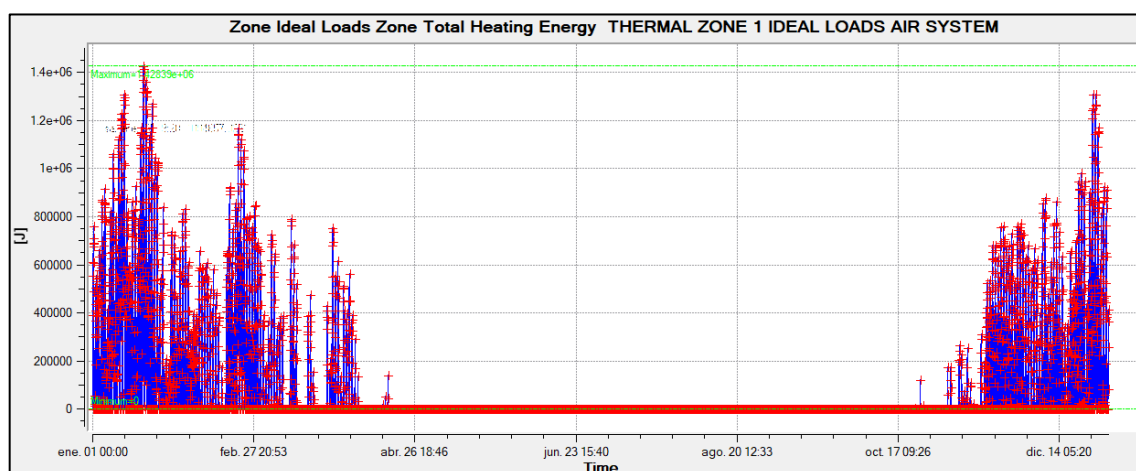


Figura 4-51 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Irak

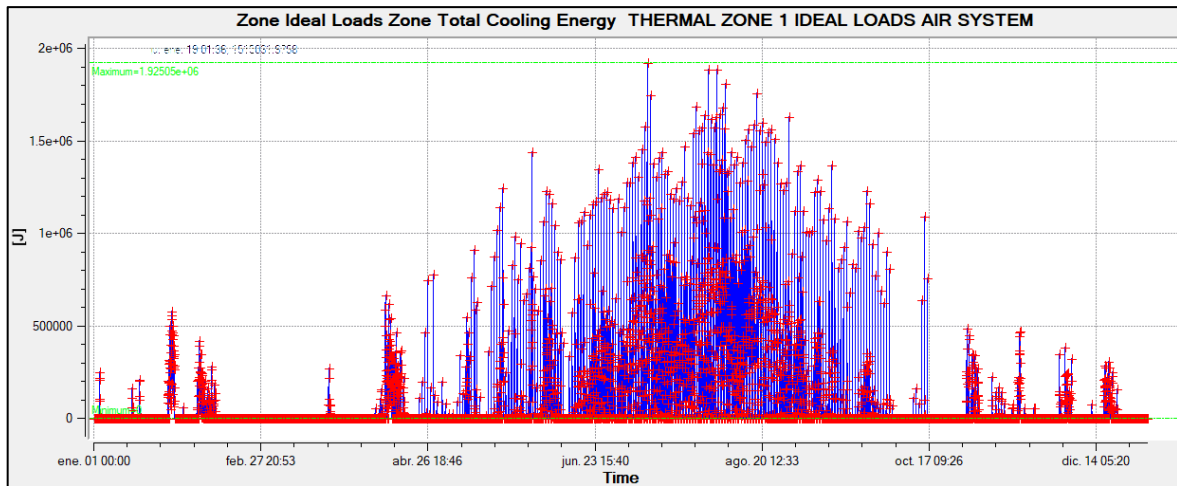


Figura 4-52 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Irak

En la Figura 4-53 se muestra un diagrama de barras en el que se compara la demanda térmica del módulo básico con la del nuevo módulo propuesto. Este diagrama muestra con claridad lo comentado en el párrafo anterior. Durante los meses de enero y diciembre, que registran las temperaturas más bajas, el balance es negativo, demandando más energía por calefacción. Sin embargo, estas pérdidas son compensadas durante los meses cálidos, donde la demanda por refrigeración disminuye, llegando a ser casi nula en los meses que la temperatura media en el exterior se encuentra dentro de los límites del módulo.

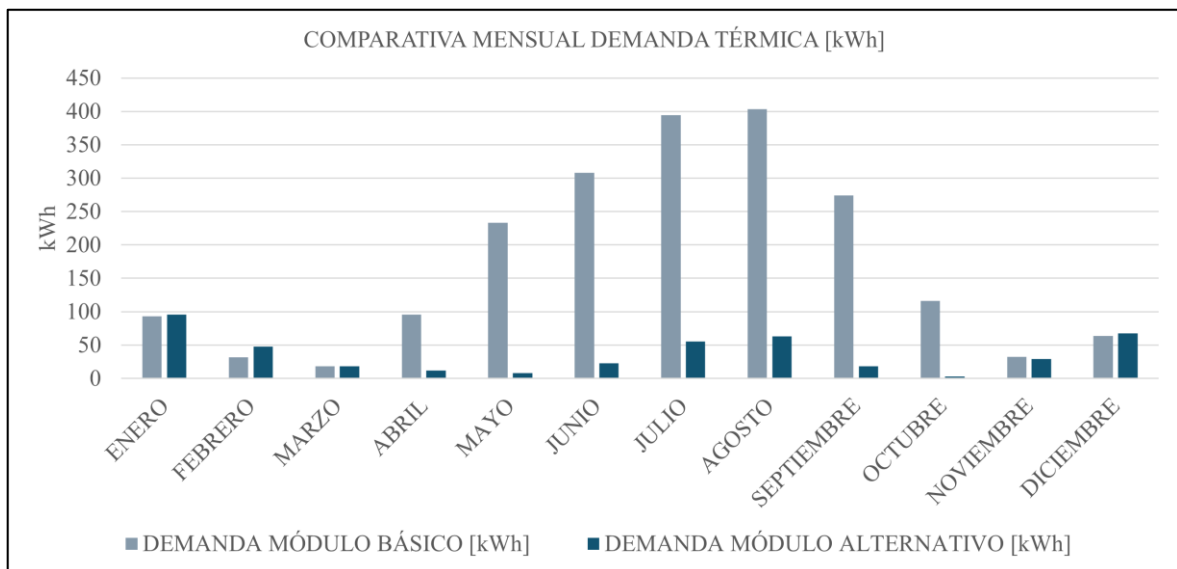


Figura 4-53 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.4.4 Zona climática 4: Mali-Haití

4.4.4.1 Mali

El modelo propuesto para esta zona climática ha obtenido buenos resultados en las simulaciones, consiguiendo reducir notablemente la demanda térmica, manteniendo unas temperaturas en el interior del módulo más suaves que en el anterior módulo (Figura 4-54).

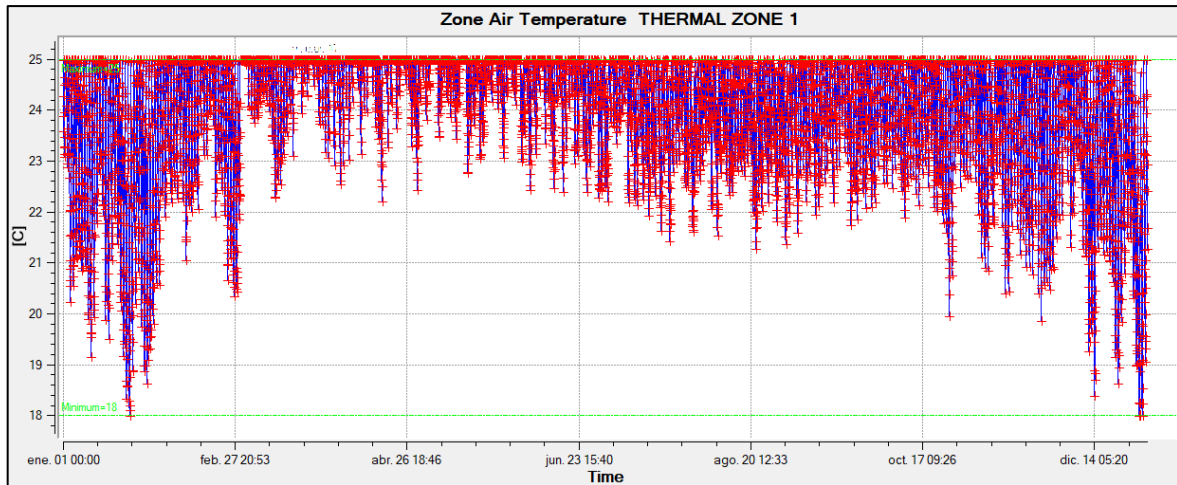


Figura 4-54 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Mali

Las altas temperaturas que se registran en este emplazamiento hacen que la calefacción no sea necesaria en ningún momento del año (Figura 4-55). Además, al igual que ocurre en Irak, la falta de aislante provoca que el calor que entra del exterior no quede retenido elevando la temperatura del interior. De esta manera, no es necesario un aporte de energía tan elevado para refrigerar el módulo (Figura 4-56 y Figura 4-57).

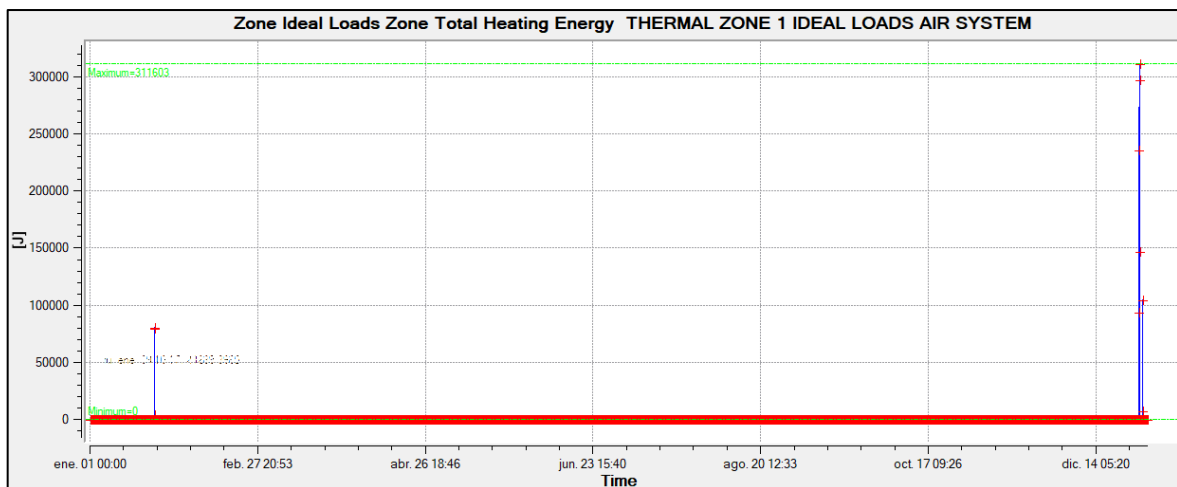


Figura 4-55 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Mali

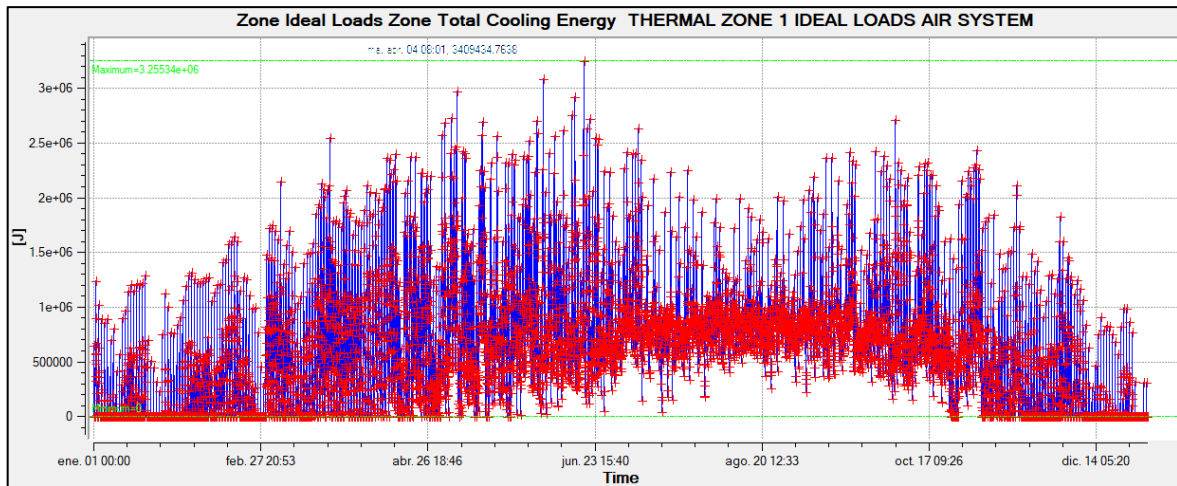


Figura 4-56 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Mali

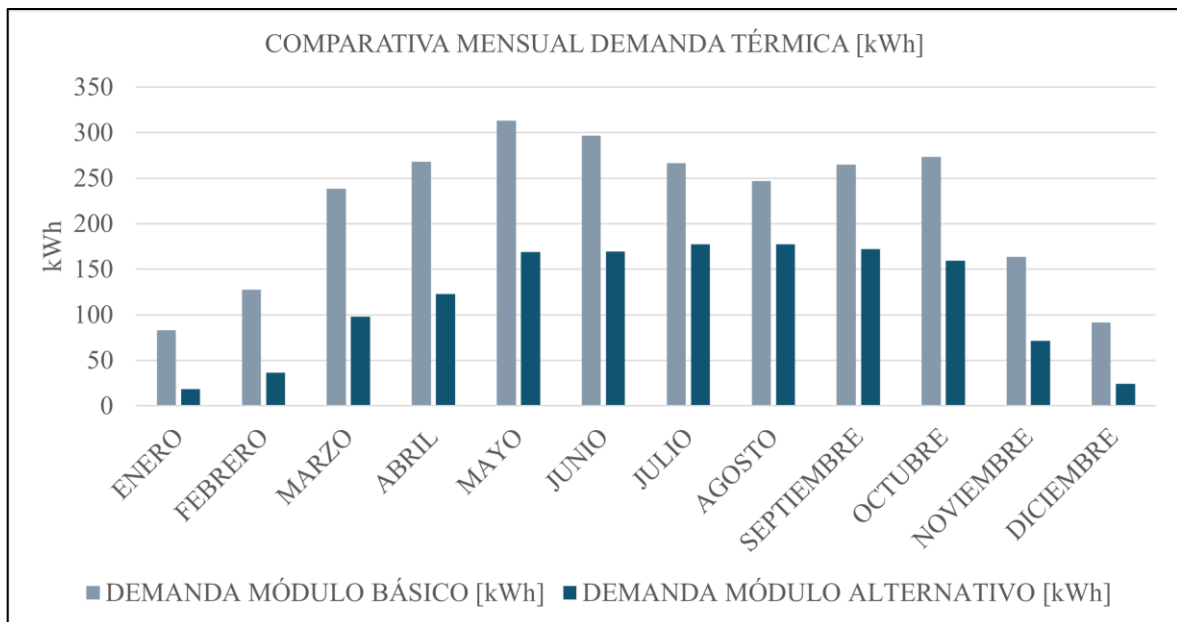


Figura 4-57 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.4.4.2 Haití

Haití, a pesar de registrar temperaturas similares a Mali, el módulo alternativo no ha obtenido resultados tan positivos en términos de ahorro energético. No obstante, la demanda térmica se ha visto reducida mejorando el confort en el interior del módulo (Figura 4-58).

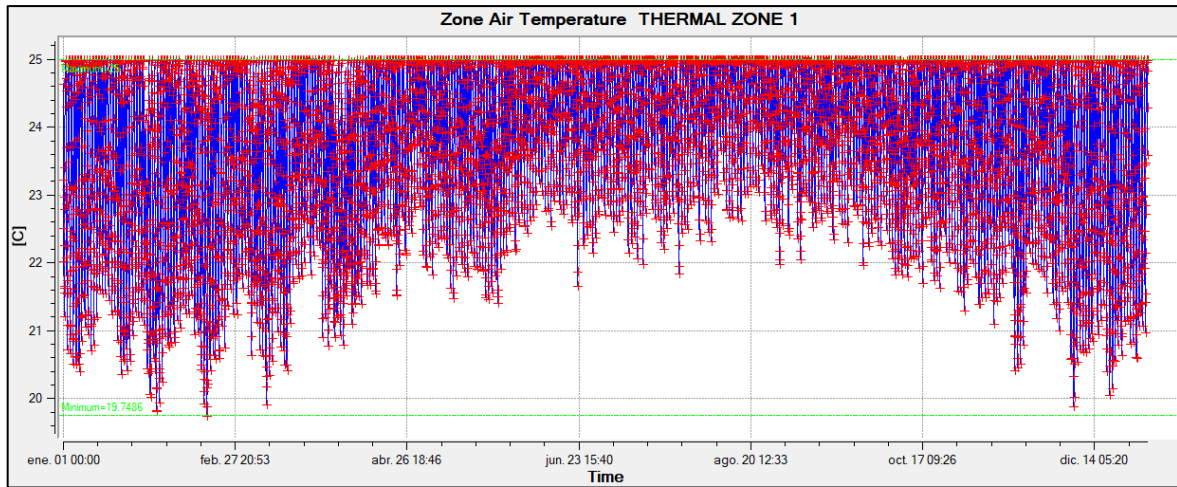


Figura 4-58 Temperatura en el interior del módulo alternativo en Haití

Los resultados obtenidos por calefacción se mantienen como nulos, sin embargo, la demanda térmica por refrigeración se ha visto reducida significativamente (Figura 4-59 y Figura 4-60).

En el gráfico de barras que se muestra en la Figura 4-61 se puede apreciar que el ahorro energético es constante a lo largo del año, no produciéndose ningún balance negativo.

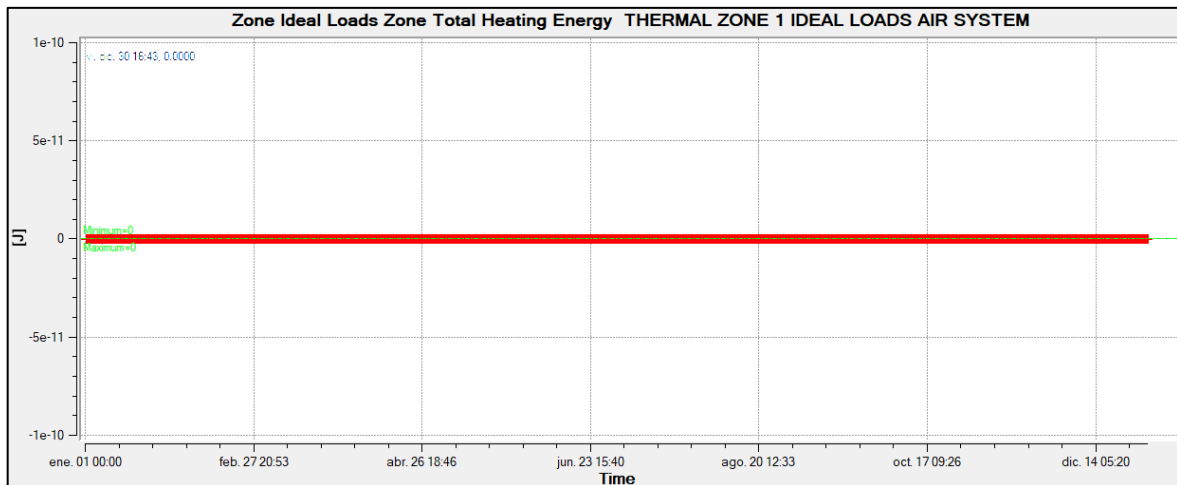


Figura 4-59 Demanda térmica por calefacción del módulo alternativo en Haití

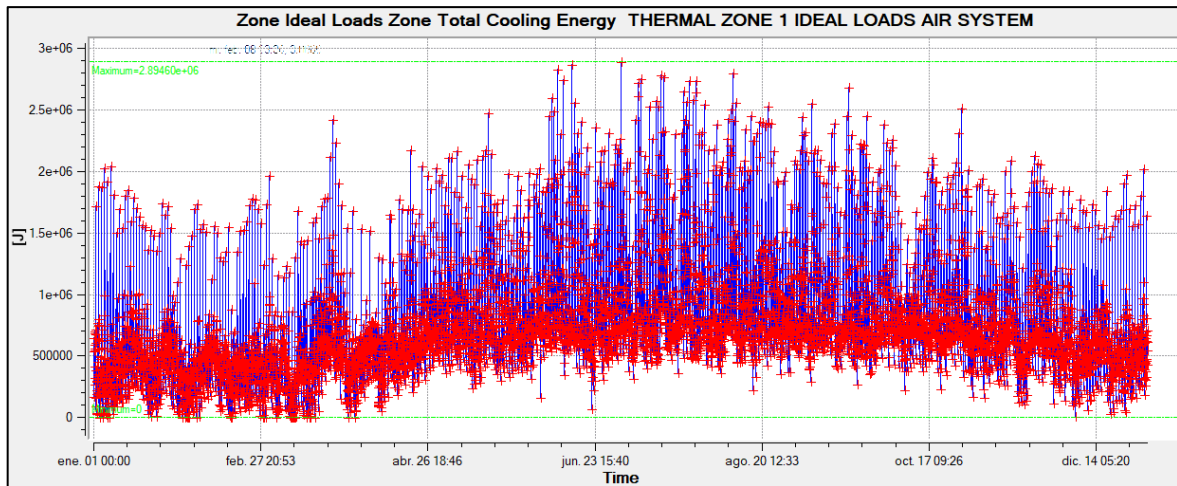


Figura 4-60 Demanda térmica por refrigeración del módulo alternativo en Haití

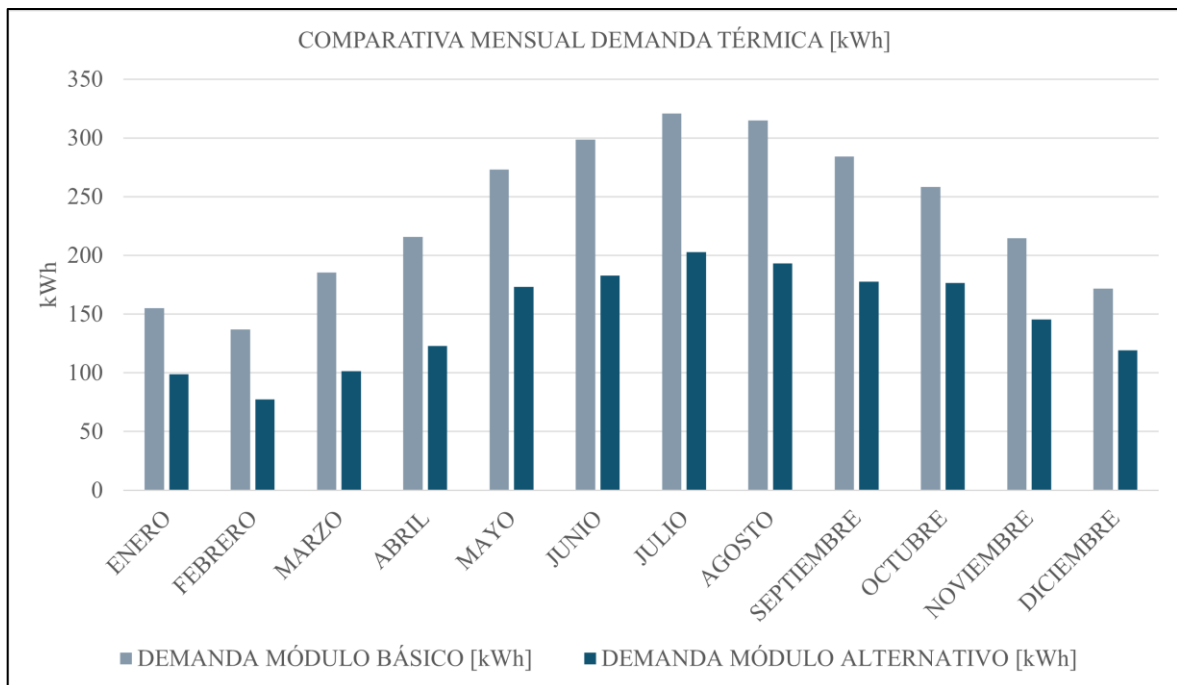


Figura 4-61 Comparativa mensual demanda térmica entre módulos

4.5 Ahorro

Tras analizar los resultados obtenidos tras las simulaciones, se cuantifica las mejoras obtenidas en el aspecto energético y económico.

4.5.1 Ahorro energético

En la Tabla 4-3 se muestra el ahorro energético obtenido tanto en calefacción y refrigeración como el balance general obtenido. Como se puede apreciar, todos los balances son positivos, a excepción de la demanda por calefacción en Irak, que experimenta un incremento del 22,75%. En el caso de La Antártida, Mali y Haití, no se obtienen ahorros energéticos porque en esos casos la demanda térmica correspondiente se mantiene con un valor nulo.

Emplazamiento	Ahorro en calefacción [%]	Ahorro en refrigeración [%]	Ahorro demanda total [%]
La Antártida	42,13	0	42,13
Bosnia	22,26	33,76	25,54
Letonia	51,31	47,03	51,06
Líbano	75,21	37,06	56,83
Irak	-22,75	89,54	78,69
Mali	0	47	47
Haití	0	37,42	37,42

Tabla 4-3 Ahorro energético anual

4.5.2 Ahorro económico

Como se menciona en el apartado 2.3, la generación de energía en zonas de operaciones se realiza a través de generadores diésel. Para el cálculo de costes económicos se ha empleado como referencia que un litro de este combustible proporciona 10,7 kWh de energía [45] , por otro lado se ha tomado como referencia el valor medio del diésel en 2023, siendo este de 1,499 € cada litro [46] . Con estos datos, el cálculo del coste total es sencillo, a través de un factor de conversión con la demanda energética total y el precio por litro de diésel. Teniendo esto en cuenta, en Tabla 4-4 se muestra el coste energético de cada módulo en cada emplazamiento, así como el ahorro económico resultante de implementar las estrategias bioclimáticas en el módulo alternativo.

$$Coste = \frac{DEMANDA\ TÉRMICA\ [kWh] \times 1,499\ €/l}{10,7\ kWh/l}$$

Emplazamiento	Coste energético módulo básico [€]	Coste energético módulo alternativo [€]	Ahorro económico [€]
La Antártida	699.25	404.65	294.60
Bosnia	224.64	167.27	57.37
Letonia	316.55	154.90	161.65
Líbano	146.16	63.10	83.06
Irak	289.01	61.58	227.44
Mali	369.06	195.60	173.46
Haití	396.30	248.02	148.27

Tabla 4-4 Ahorro económico anual

4.5.2.1 Presupuestos

El presupuesto para la adquisición de los distintos módulos no se puede conocer con exactitud debido a la falta de detalle en el diseño estructural de los módulos. De igual manera, comparar el coste de adquisición entre el módulo básico y los módulos alternativos no es posible.

Es por ello por lo que, para el presente Trabajo de Fin de Grado, se ha contactado con la empresa *ARINCO arquitectos e ingenieros consultores* para conocer el coste real de adquisición de algún módulo alternativo. Para ello, se le ha proporcionado únicamente las dimensiones del módulo, así como la disposición de materiales de la envolvente térmica del módulo alternativo de la Zona climática 3: Irak, por lo que han realizado algunas suposiciones, como los acabados de las carpinterías o la tornillería a emplear. Con esos datos, han realizado un cálculo del presupuesto para dicho módulo que se detalla en el Anexo IV Presupuesto módulo alternativo Irak. En la Figura 4-62 se observa el resumen del coste del módulo presupuestado.

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
Implantación BAGDAD			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
CC01	TRABAJOS PREVIOS Y CIMENTACION.....	882,22	10,64
CC02	CUBIERTA E IMPERMEABILIZACIONES.....	953,28	11,50
CC03	ADECUACION DE CONTENEDORES.....	6.455,22	77,86
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		8.290,72	
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		8.290,72	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		8.290,72	
Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de OCHO MIL DOSCIENTOS NOVENTA EUROS con SETENTA Y DOS CÉNTIMOS			
Bagdad, a 6 de abril de 2024.			
Ministerio de Defensa		El redactor	

Figura 4-62 Resumen del presupuesto del módulo alternativo de Irak

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

La actual crisis energética y ambiental, sin precedentes en la historia, está impulsando a las diferentes organizaciones internacionales a desarrollar políticas y estrategias que les permitan satisfacer sus necesidades con los recursos disponibles, mientras se adaptan progresivamente a sus objetivos ambientales a largo plazo. En un contexto donde la demanda energética sigue en aumento y los combustibles tradicionales muestran signos de agotamiento, la urgencia de encontrar soluciones sostenibles y eficientes se hace cada vez más apremiante.

La principal conclusión que emerge del desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado son las grandes ventajas, tanto económicas como energéticas, de adoptar estrategias que busquen optimizar la eficiencia en el diseño de construcciones, en este caso módulos prefabricados. Dentro de un marco en el que las FAS están involucradas en un número creciente de despliegues, el uso generalizado de módulos prefabricados presenta una oportunidad excepcional para lograr considerables ahorros energéticos y económicos para el Ministerio de Defensa. Por lo tanto, resulta vital no solo fomentar la innovación y la creación de nuevas estrategias y tecnologías, sino también la búsqueda de la mejora y la eficiencia de las ya existentes.

En cuanto a la consecución del objetivo fijado al inicio del trabajo, puede darse por completada tras haber diseñado y modelado un módulo básico y cuatro módulos alternativos capaces de obtener ahorros significativos, tanto en demanda térmica como en términos económicos, en todos los emplazamientos en los que han sido sometidos a simulación. Estos ahorros quedan reflejados en la Tabla 4-3 y Tabla 4-4. De igual manera, se han conseguido los objetivos intermedios fijados en un inicio para la consecución del mismo, por lo que puede concluirse que es una metodología válida para el desarrollo de este tipo de trabajos.

Por otro lado, tras realizar un análisis con retrospectiva de los resultados, se puede concluir que las estrategias bioclimáticas implementadas han sido un éxito, obteniendo ahorros mayores al 25% en todas las alternativas. Sin embargo, se puede observar que las medidas adoptadas no son igual de efectivas en todo tipo de climatologías, todo ello en base a una serie de indicadores que a continuación se relacionan.

En los resultados se observa que en entornos donde se registran temperaturas extremadamente bajas, como Letonia o la Antártida, las estrategias adoptadas maximizan su rendimiento en los meses más fríos, obteniéndose las mayores reducciones de demanda térmica. Esto sugiere que, añadir una gran cantidad de aislante y reducir las pérdidas de calor a través de ventanas y puertas causa un gran impacto en los requerimientos energéticos del módulo. Sin embargo, en los lugares más cálidos, como Haití y Mali, ocurre lo contrario. La reducción de la cantidad de aislante ha permitido que el calor en el interior del

módulo no quede retenido, produciéndose pérdidas que reducen la temperatura interior y disminuyen el aporte de energía para refrigeración.

Por último, en lo que respecta a la ventilación cruzada, su eficacia varía según las condiciones climáticas locales. En lugares con temperaturas moderadas durante los meses de verano, como Bosnia-Herzegovina y el Líbano, este método ha demostrado ser altamente efectivo al reducir significativamente los requerimientos energéticos para refrigeración. Sin embargo, en emplazamientos donde las temperaturas son extremadamente elevadas, como Irak, Haití y Mali, la ventilación cruzada no resulta efectiva. Esto se debe a que las altas temperaturas exteriores provocan que el aire que ingresa al módulo esté más caliente que el aire que sale, lo que aumenta la demanda térmica en lugar de reducirla.

5.2 Líneas futuras

Una vez analizado los resultados y expuestas las conclusiones, se proponen las siguientes líneas futuras que permiten continuar el desarrollo del presente trabajo y trasladar el estudio realizado a otras aplicaciones:

- Estudio de viabilidad de utilización de energías renovables para satisfacer la demanda térmica de una BAE.
- Estudio térmico de residencia militar prefabricada en despliegues internacionales en los que las Fuerzas Armadas participen.
- Realización de estudios de índole similar en otros edificios existentes, tanto en la Escuela Naval Militar, como en otras dependencias de la Armada.
- Estudiar más emplazamientos, cubriendo todas las zonas climáticas existentes y diseñar un módulo óptimo para cada una de ellas. Así las Fuerzas Armadas podrían optimizar energéticamente sus bases previo al despliegue.
- Emplear esta misma metodología para otro tipo de módulos que no sean de habitabilidad y que tengan requerimientos especiales (módulos de almacenamiento de alimentos, munición, etc).

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El Protocolo de Kioto», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.html>
- [2] «Directiva 107/1997, de 2 de junio, del Ministerio de Defensa sobre protección del Medio Ambiente en el ámbito del departamento». Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/medioambiente/Galerias/formacion/ficheros/Directiva_107_97
- [3] «Crisis Energética Mundial - International Energy Agency- IEA». Accedido: 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis?language=es>
- [4] «Cambio climático», Desarrollo Sostenible. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- [5] A. Velasco Munguira y E. Rodríguez Camino, «Cambio climático: calentamiento global de 1,5 °C», en *Física del caos en la predicción meteorológica*, C. Santos Burguete, Ed., Agencia Estatal de Meteorología, 2018, pp. 1033-1041. doi: 10.31978/014-18-009-X.I.
- [6] M. F. Arribas Tiestos y D. M. Borreguero, «Sostenibilidad energética en sector de defensa y seguridad - Contexto global, europeo y OTAN», en *Energía y Geoestrategia 2020, 2020*, ISBN 978-84-9091-470-0, págs. 233-296, Instituto Español de Estudios Estratégicos, 2020, pp. 233-296.
- [7] «La caída de las emisiones de carbono relacionadas con la COVID no detendrá el cambio climático: jefe de la agencia meteorológica de la ONU | Noticias ONU». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://news.un.org/en/story/2020/04/1062332>
- [8] «COP28: principales conclusiones - Pacto Mundial de la ONU», Pacto Mundial. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/noticia/cop28-el-inicio-del-fin-de-los-combustibles-fosiles/>
- [9] RAE, «Eficiencia | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE» Accedido: 5 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/eficiencia>.
- [10] «ETID estrategia de tecnología e innovación para la defensa 2020». Accedido: 26 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/t/etid_estrategia_de_tecnologia_e_innovacion_para_la_defensa_2020.

- [11] B. R. Soria, M. Á. G. García, y A. Rezeau, «Módulos habitables de consumo de energía casi nulo para bases militares en entornos NATO», Memorial del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos 10 2023, septiembre 2023, ISSN 2444-7757, pags. 36.46.
- [12] «Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006». Accedido: 5 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2006/114/L00064-00085>
- [13] «CO.RI.MEC. Italiana S.p.A. - Prefabricated Building». Accedido: 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.corimec.com/>
- [14] Félix Ruiz Gorrindo y Ariadna Llorens García, «Construcción de edificios a partir de contenedores marítimos», en Cercha: revista de los aparejadores y arquitectos técnicos, octubre 2018, ISSN 2484-1048, nº. 138, pags. 62-66.
- [15] «Campamentos de vida ARPA EMC», ARPA EMC. Accedido: 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://arpaemc.com/>
- [16] «Tecnove.S.L.», Tecnove CTK. Accedido: 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnove-ctk.com/>
- [17] «Operaciones en el exterior | EMAD». Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/>
- [18] «Operación Apoyo a Irak | EMAD». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/10-Operacion_Inherent_Resolve/
- [19] «Comparación climática | DatosMundial», DatosMundial.com. Accedido: 10 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.datosmundial.com/comparacion-climatica.php>
- [20] «UE-EUFOR ALTHEA-Bosnia y Herzegovina | EMAD». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/40-Operacion_EUFOR_ALTHEA/
- [21] «En Bosnia también estuvo la Infantería de Marina española, o cómo un puñado de Infantes abortaron una acción que pudo terminar en golpe de Estado», Defensa.com. Accedido: 7 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.com/ayer-noticia/bosnia-tambien-estuvo-infanteria-marina-espanola>
- [22] «Líbano: España al frente de la Misión de la Fuerza Interina de las Naciones Unidas (UNIFIL) | DSN». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/1%C3%ADbano-esp%C3%B1a-al-frente-misi%C3%B3n-fuerza-interina-naciones-unidas-unifil>
- [23] «Noticias ONU UNIFIL Libano | EMAD». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/21-Operacion_Libre_Hidalgo/noticias/index.html
- [24] «EUTM-Mali-Misión Militar de la UE en Mali | EMAD». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/43-UE-EUTM-Mali/>
- [25] «The North Atlantic Treaty», NATO. Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_17120.htm
- [26] «Enhanced Forward Presence - Letonia (eFP) | EMAD». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/31-eFP_Letonia/

- [27] «Campaña Antártica Española». Accedido: 23 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ciencia.gob.es/Organismos-y-Centros/Comite-Polar-Espanol/Campana-Antartica-Espanola.html;jsessionid=80FCDDAD9E846A65B186299E64A54712.2>
- [28] «Buque de Investigación Oceanográfica “Hespérides” - B.I.O. “Hespérides” - Buques | Armada | Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 23 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/12buques-investigacion-oceanografia--01buque-investigacion-oceanografica-hesperides>
- [29] «Ejército de tierra». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Antartica/basegabrieldecastilla/Gestion-ambiental/index.html>
- [30] «MINUSTAH», Naciones Unidas Mantenimiento de la paz. Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://peacekeeping.un.org/es/mission/minustah>
- [31] «Revista española de defensa: Misión en Haití», en Revista española de defensa, 11 de marzo de 2010, ISSN 1131-5152, nº de revista 260, pags. 13-17
- [32] «La fuerza española de Infantería de Marina en Haití, vela por el desarrollo normal de las elecciones | Ministerio de Defensa de España». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/gabinete/multimedia/fototeca/2006/02/notaPrensa_imagen_10900_1.html
- [33] «Building Energy Modeling 101: What is it and what ss DOE’s Role?», Energy.gov. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/building-energy-modeling-101-what-it-and-what-does-role>
- [34] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, y B. T. Griffith, «Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs», Build. Environ., vol. 43, n.o 4, pp. 661 673, abr. 2008, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.027.
- [35] «Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp». Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es>
- [36] «3D Modeling», Siemens Digital Industries Software. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/3d-modeling/17977>
- [37] «OpenStudio». Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://openstudio.net/>
- [38] «EnergyPlus». Accedido: 20 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://energyplus.net/documentation>
- [39] INAP, «Condiciones mínimas de habitabilidad de las viviendas y la cédula de habitabilidad». Accedido: 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://laadministraciondial.inap.es/noticia.asp?id=1106028>
- [40] «Iluminación y controles», Eaton. Accedido: 22 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eaton.com/es/es-es/products/lighting-controls.html>
- [41] «Catálogo de elementos constructivos del CTE». Accedido: 10 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.codigotecnico.org/pdf/Programas/CEC/CAT-EC-v05.0_MAYO08

- [42] «climate.onebuilding.org». Accedido: 24 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://climate.onebuilding.org/>
- [43] «xEsoView». Accedido: 25 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://xesoview.sourceforge.net/>
- [44] «Eléctricos vs combustión: diferencias de consumo, rendimiento y coste por kilómetro», Diario ABC. Accedido: 30 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-electricos-combustion-diferencias-consumo-rendimiento-y-coste-kilometro-202006020150_noticia.html
- [45] «Precios de carburantes y combustibles». Accedido: 30 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/petroleo/Informes/InformesMensuales/DatosBibliotecaConsumer/2023/Julio%202023.pdf>

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

La realización de este trabajo conlleva una serie de implicaciones sociales, económicas y ambientales, que se comentan a continuación.

En el ámbito social, la mejora de la eficiencia energética de los módulos prefabricados empleados en zonas de operaciones tiene un impacto positivo al reducir los costes de operación, el consumo energético y, por ende, la contaminación producida por las emisiones. De esta manera, este trabajo se alinea con la línea de acción a seguir por las organizaciones internacionales, fomentando la cultura de cuidado del medioambiente y la responsabilidad social. Por otro lado, entre las motivaciones de este trabajo, se encuentra la de optimizar el confort y la habitabilidad del personal que se encuentra desplegado en misiones internacionales, mejorando así su calidad de vida durante su estancia, lo que podría tener un impacto positivo en la moral y el bienestar de este personal militar, que a su vez puede resultar en una mejora de su eficacia operativa y reducción de riesgos de accidentes causados por fatiga o estrés.

Desde una perspectiva económica, la reducción del consumo energético implica directamente un ahorro económico. Dada la amplia cantidad de unidades de las que disponen las FAS, el ahorro podría ser significativo para el Ministerio de Defensa. Este ahorro podría destinarse para renovar o mejorar otros elementos de las BAEs de manera que la optimización del confort en estos despliegues sea continua. Además, la adquisición del nuevo material propuesto podría resultar en una reducción de los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo, dado que los equipos y materiales actuales ofrecen una mayor calidad que sus predecesores.

Las implicaciones medioambientales del trabajo son evidentes. Por un lado, la reducción de la demanda energética que implica la disminución del impacto ambiental de estas operaciones. Por otro lado, esta reducción de demanda conlleva una disminución de consumo de diésel y, por lo tanto, una reducción de emisión de GEI, lo cual juega un papel clave en la mitigación del cambio climático.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Las medidas propuestas en este trabajo promueven la búsqueda de la optimización de los recursos y el ahorro energético, contribuyendo con los objetivos establecidos por España y la UE, compromisos claves para asegurar el bienestar de Europa en un futuro próximo.

Por otro lado, el ahorro energético conlleva un ahorro económico asociado. Por lo que, en este trabajo, se fomenta la optimización del uso del recurso económico público, el cual es recaudado gracias al esfuerzo de todos los contribuyentes. Como ciudadanos, es nuestro deber buscar esta optimización y reducir los gastos innecesarios. Además, la liberación de estos recursos económicos permite su reinversión en otras capacidades y medios que mejoren las capacidades de las FAS.

ANEXO III: DATOS CLIMATOLÓGICOS

La Antártida:

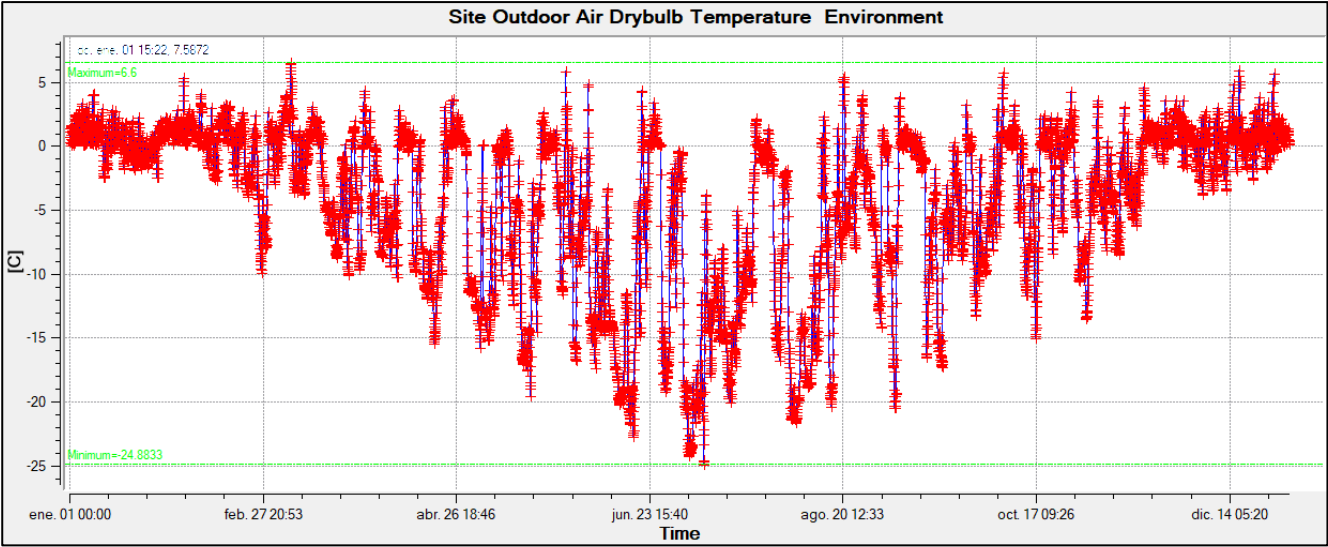


Figura A3-0-1 Temperatura anual en La Antártida

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	0,6
Febrero	-0,1
Marzo	-1,5
Abril	-4,3
Mayo	-6,8
Junio	-9,9
Julio	-11,0
Agosto	-9,0
Septiembre	-5,1
Octubre	-3,0
Noviembre	-1,7
Diciembre	0,4
Media anual	-4,3

Bosnia-Herzegovina:

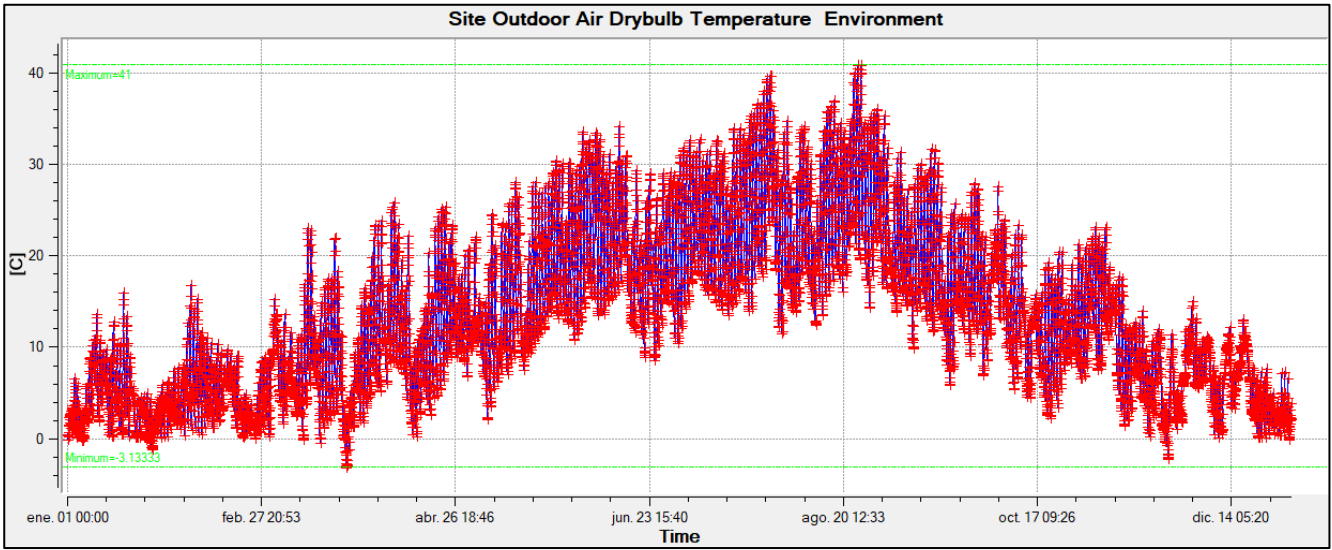


Figura A3-0-2 Temperatura anual en Bosnia-Herzegovina

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	3,9
Febrero	5,0
Marzo	7,5
Abril	12,3
Mayo	16,1
Junio	21,2
Julio	24,4
Agosto	25,0
Septiembre	18,9
Octubre	12,8
Noviembre	8,9
Diciembre	5,9
Media anual	13,5

Letonia:

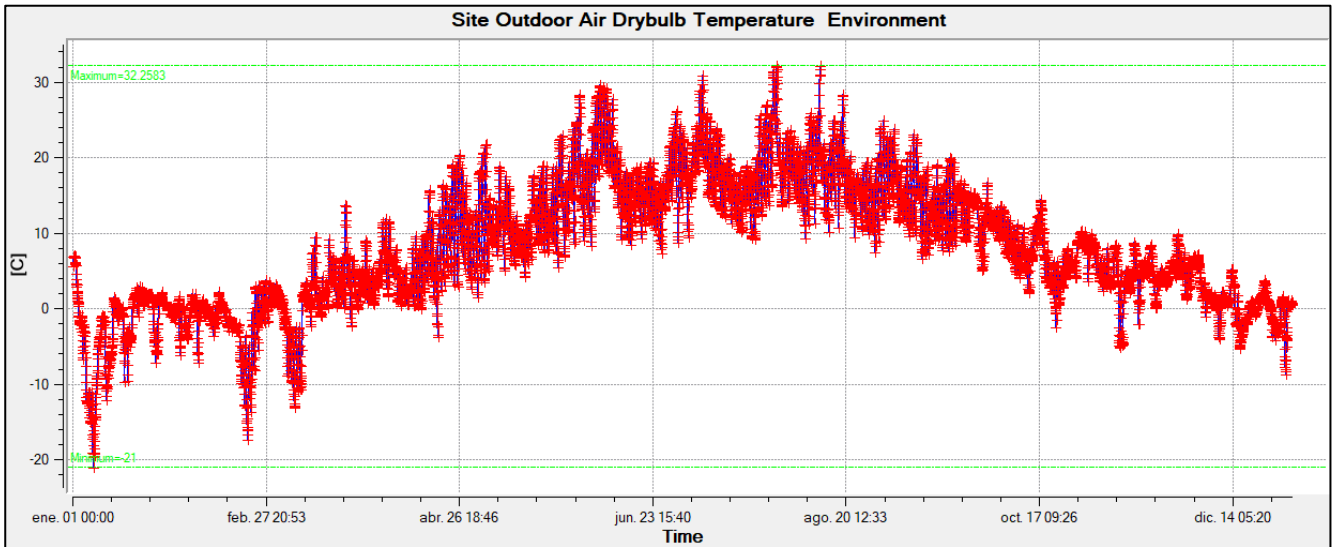


Figura A3-0-3 Temperatura anual en Letonia

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	-2,5
Febrero	-1,9
Marzo	1,3
Abril	6,9
Mayo	12,2
Junio	17,4
Julio	18,6
Agosto	17,6
Septiembre	13,9
Octubre	7,9
Noviembre	4,7
Diciembre	0,7
Media anual	8,1

Líbano:

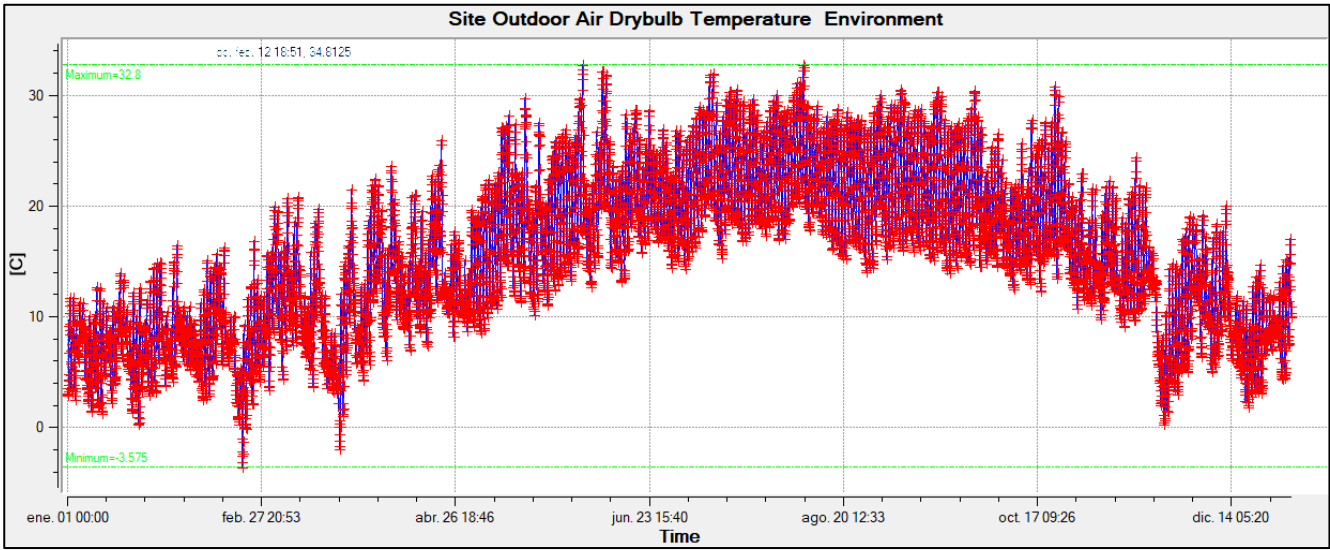


Figura A3-0-4 Temperatura anual en el Líbano

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	7,1
Febrero	7,6
Marzo	10,2
Abril	13,9
Mayo	18,0
Junio	21,0
Julio	22,7
Agosto	22,8
Septiembre	21,6
Octubre	18,6
Noviembre	12,5
Diciembre	9,7
Media anual	15,5

Irak:

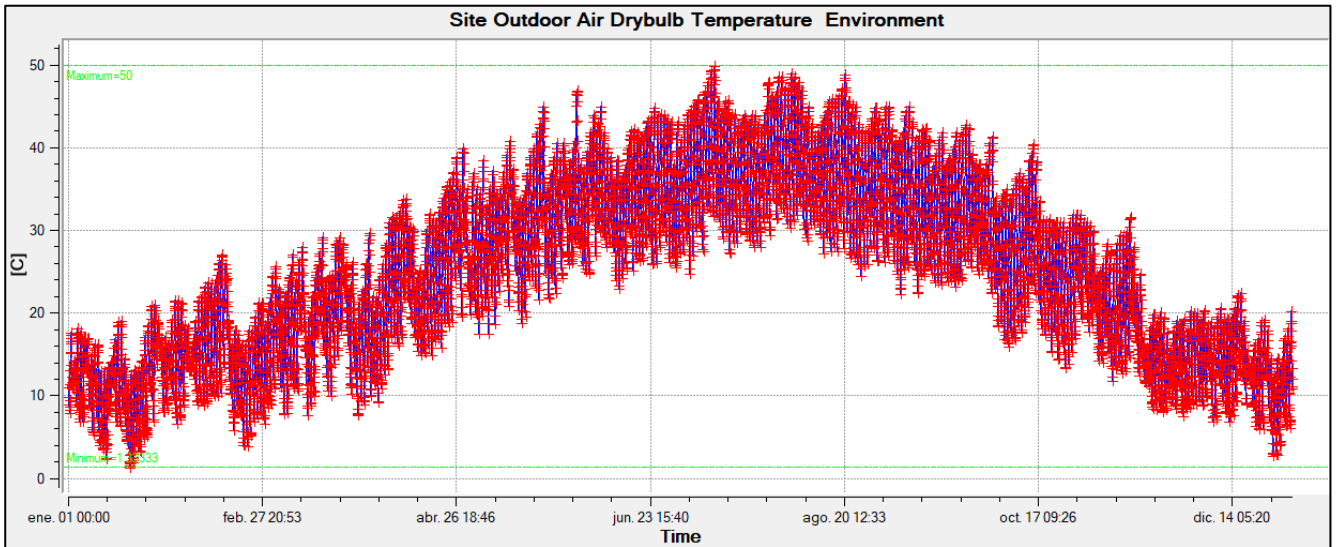
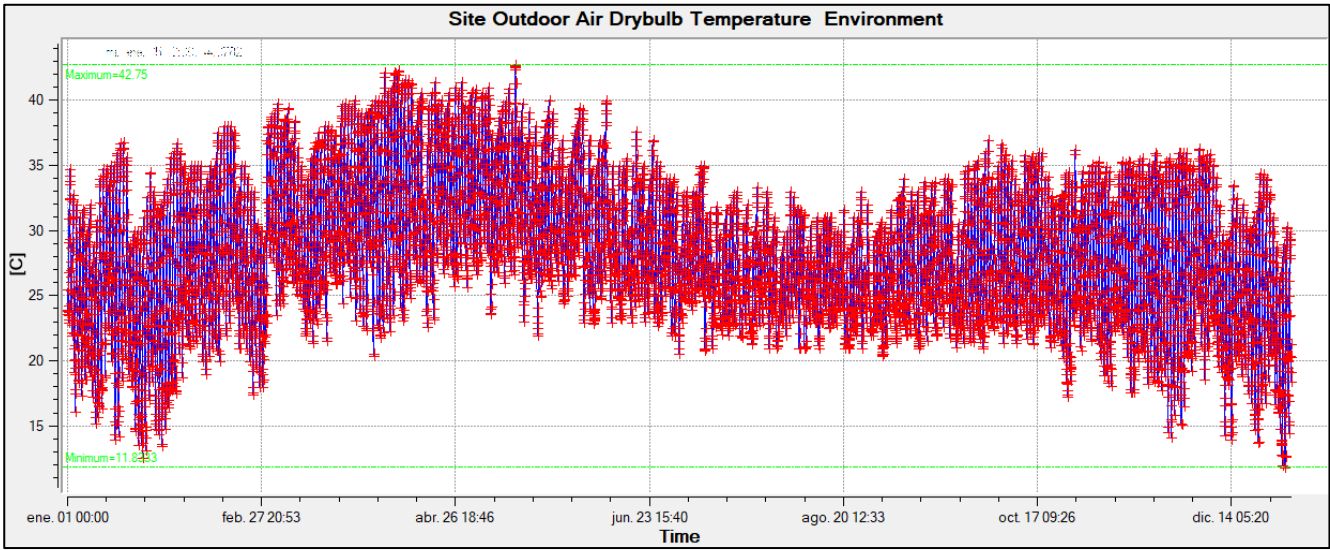


Figura A3-0-5 Temperatura anual en Irak

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	11,2
Febrero	14,6
Marzo	18,5
Abril	24,3
Mayo	30,8
Junio	34,4
Julio	37,3
Agosto	37,4
Septiembre	33,0
Octubre	26,2
Noviembre	17,4
Diciembre	12,9
Media anual	24,8

Mali:



FiguraA3-0-6 Temperatura anual en Mali

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	24.5
Febrero	27.3
Marzo	31.1
Abril	32.8
Mayo	31.9
Junio	29.3
Julio	26.5
Agosto	25.7
Septiembre	26.7
Octubre	27.4
Noviembre	26.7
Diciembre	24.6
Media anual	27,9

Haití:

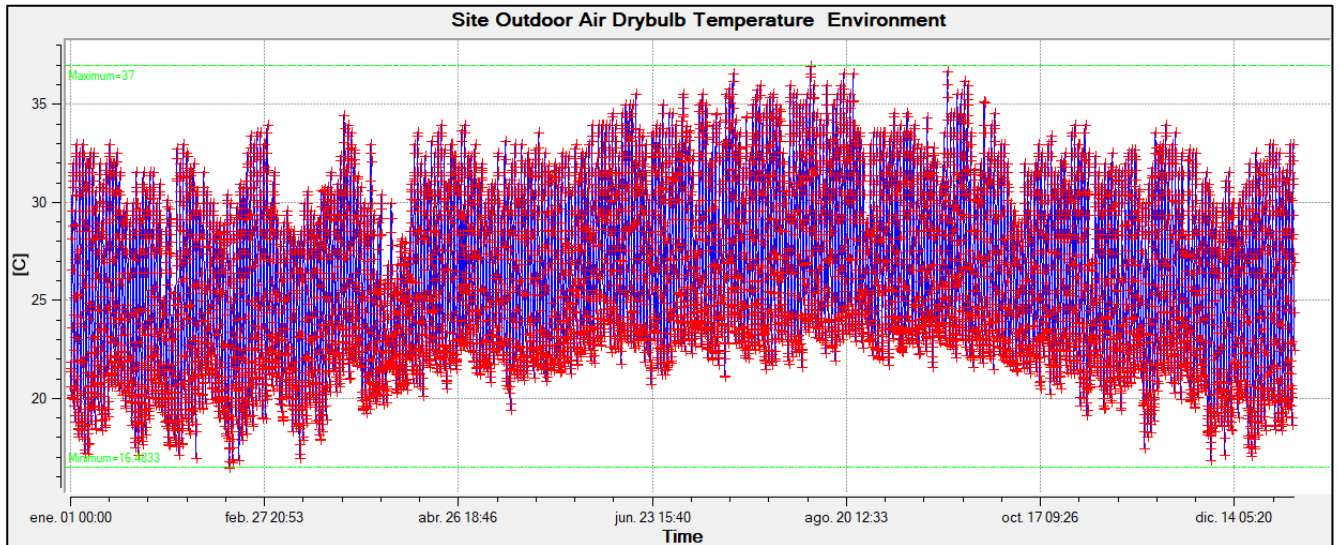


Figura A3-7 Temperatura anual en Haití

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	24,5
Febrero	27,3
Marzo	31,1
Abril	32,8
Mayo	31,9
Junio	29,3
Julio	26,5
Agosto	25,7
Septiembre	26,7
Octubre	27,4
Noviembre	26,7
Diciembre	24,6
Media anual	27,9

ANEXO IV PRESUPUESTO MÓDULO ALTERNATIVO IRAK

MEDICIONES						
Implantación BAGDAG						
Implantación BAGDAD						
Presupuesto						
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
CC01	Capítulo		TRABAJOS PREVIOS Y CIMENTACION	1	882.22	882.22
C0101	Capítulo		ADECUACIÓN DEL TERRENO	1.00	355.68	355.68
E02CM030	Partida	M3	EXCAVACIÓN VACIADO A MÁQUINA TERRENOS COMPACTOS Excavación a cielo abierto, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras sobre camión y vertido en el interior de la obra a una distancia menor de 140 m. ida y vuelta del vaciado y con p.p. de medios auxiliares.	18.00	3.86	69.48
C3003	Partida	M2	COMPACTADO DE TERRENO CAJEADO ACTUAL. M2. de compactacion de terrenos a cielo abierto, por medios mecanicos, sin aporte de tierras, incluso regado de los mismos, sin definir grado de compactacion minimo, y con p.p. de medios auxiliares y de seguridad. Medida la superficie comoactada.	60.00	1.34	80.40
E7.04	Partida	M3	RELLENO SUB-BASE Relleno, extendido y apisonado de zahorra natural Subbase de San Cristobal cielo abierto, por medios mecánicos, en tongadas de 30 cm. de espesor máximo, hasta conseguir un grado de compactación del 98% del proctor modificado, incluso adquisición, regado de las mismas y refino de taludes, y con p.p. de medios auxiliares. Medido en perfil compactado.	12.00	17.15	205.80
			C0101	1.00	355.68	355.68
C0102	Capítulo		RED SANEAMIENTO	1.00	270.82	270.82
E03ALU010	Partida	m	ARQUETA LADRILLO SUMIDERO FUNDICIÓN SIFÓN 25x50 Arqueta sumidero sifónica de 25x50 cm de sección útil, construida con fábrica de ladrillo macizo tosco de 1/2 pie de espesor, recibido con mortero de cemento M-5, colocado sobre solera de hormigón en masa HM-20/P/40/I de 10 cm de espesor, enfoscada y bruñida por el interior con mortero de cemento CSIV-W2 redondeando ángulos, e incluso con rejilla plana desmontable de fundición dúctil y cerco de perfil L, terminada y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación, ni el relleno perimetral posterior, s/ CTE-HS-5, UNE-EN 998-1:2010 y UNE-EN 998-2:2004.	2.00	105.02	210.04
1.11	Partida	m	TUBO PVC LISO MULTICAPA ENCOL 110 mm	2.00	7.33	14.66

MEDICIONES						
Implantación BAGDAG						
			Colector de saneamiento de pvc para embutir en forjado sanitario con un diámetro 110 mm. encolado. Colocado en forjado sanitario, asentado sobre anillos de mortero, abrigado del mismo en riñones y generatriz. Con p.p. de piezas especiales y medios auxiliares.			
E03OEP290	Partida	m	TUBO PVC P. ESTRUCTURADA JUNTA ELÁSTICA SN4 C.TEJA 125mm Colector de saneamiento enterrado de PVC de pared estructurada de color teja y rigidez 4 kN/m2; con un diámetro 125 mm y de unión por junta elástica. Colocado en zanja, sobre una cama de arena de río de 10 cm debidamente compactada y nivelada, relleno lateralmente y superiormente hasta 10 cm por encima de la generatriz con la misma arena; compactando ésta hasta los riñones. Con p.p. de medios auxiliares y sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, s/ CTE-HS-5.	1.50	12.78	19.17
E02PM030	Partida	M3	EXCAVACIÓN ZANJA A MÁQUINA TERRENOS COMPACTOS Excavación en terrenos compactos, por medios mecánicos en vaciados, con extracción de tierras fuera de la excavación y a punto de carga. Transporte a vertedero o planta de reciclaje medido en capítulo de GESTIÓN DE RESIDUOS por GESTOR AUTORIZADO. P.p. de medios auxiliares. Medido el volumen teórico.	0.86	5.28	4.54
E02S2040	Partida	m3	RELLENO/COMPACTADO ARENA ZANJAS C/RODILLO VIBRATORIO Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo, y con p.p. de medios auxiliares.	0.86	26.06	22.41
			C0102	1.00	270.82	270.82
C0103	Capítulo		CIMENTACIÓN	1.00	255.72	255.72
C3006	Partida	M2	SOLERA HORMIG. LIMPIEZA HL-15- B / 25 e=5cm Solera de hormigón en masa de 10 cm. de espesor para limpieza, realizada con hormigón HL-15-B-25 N/mm2, Tmáx.25 mm., elaborado en obra, i/vertido, colocación, p.p. de juntas, aserrado de las mismas y fratasado. Según NTE-RSS y EHE. Medida la superficie ejecutada.	28.00	7.19	201.32
EC0301	Partida	M2	LAMINA DE POLIVINILO GALGA 400. M2. de suministro y colocación de lámina de polivinilo, galga 400, extendida sobre la subbase compactada con solapes de 10 cm., para posterior vertido de hormigón de limpieza, medios auxiliares y de seguridad. Medida la superficie teórica inc. repercusión solapes en el precio.	40.00	1.36	54.40
03HRL80080	Partida	m3	HORM. ARM. HA-35/B/30/XA3 EN LOSAS CIM. V/BOMBA	0.00	1,846.56	0.00

MEDICIONES

Implantación BAGDAG

Hormigón armado HA-35/B/20/XA3, consistencia blanda y tamaño máximo del árido 30 mm, en losas de cimentación, suministrado y puesta en obra, vertido con bomba, con una cuantía de 50 Kg/m³, incluso encofrados laterales, ferrallado, separadores, armaduras superiores, inferiores, solapes, refuerzos, nervios de borde, vibrado y curado. Medido el volumen teórico ejecutado.

			C0103	1.00	255.72	255.72
			CC01	1	882.22	882.22
CC02	Capítulo		CUBIERTA E IMPERMEABILIZACIONES	1	953.28	953.28
E05AZA040	Partida	m2	ESTRUCTURAS LIGERAS CUBIERTAS	18.00	9.38	168.84
			Estructura ligera, para cubierta autoportante, compuesta por perfiles ligeros B-90, montada.			
E10IAL030	Partida	m2	IMPERMEABILIZACIÓN BICAPA AUTOPROTEGIDA	18.00	16.31	293.58
			Impermeabilización bicapa autoprotegida constituida por: imprimación asfáltica Curidan, lámina asfáltica de betún plastómero Esterdan 30 P Pol, con armadura de fieltro de poliéster reforzado, totalmente adherida al soporte con soplete; lámina asfáltica de betún plastómero Glasdan 40/GP ERF Elast Gris (negro), con armadura de fieltro de fibra de vidrio, autoprotegida con gránulos de pizarra, totalmente adherida a la anterior con soplete, sin coincidir juntas. Cumple con los requisitos del C.T.E. Cumple con el Catálogo de Elementos Constructivos del IETcc según membrana bicapa. Ficha IM-12 de Danosa.			
E2001º	Partida	M2	PANEL CUBIERTA TZ-C 50 MM poliestireno extruido BS1d0	18.00	27.27	490.86
			Suministro, instalación y montaje de panel sandwich aislante de 50 mm para cubierta tipo PANEL TZ-C PIR de altas prestaciones para cubierta, formado por núcleo aislante rígido de alto rendimiento térmico poliestireno extruido para un comportamiento al fuego Euroclase B,s1,d0 + BRoof s/ norma EN 13501. Caras exteriores de chapa perfilada en frío a partir de bobina de acero estructural de 0,5 mm espesor, cara exterior con recubrimiento de acabado HDX para ambientes marinos. Sistema de anclaje o unión machiembrado, con junta estanca y tapajuntas superior continuo que oculta el tornillo de fijación garantizando la total estanqueidad. Longitud la necesaria s/ proyecto a un agua. Medida la superficie ejecutada.			
			NOTA: se oferta Panel PUR 50 mm HDX			
			CC02	1	953.28	953.28
CC03	Capítulo		ADECUACION DE CONTENEDORES	1	6,455.22	6,455.22
C03.01	Capítulo		SUMINISTRO DE CONTENEDORES REICLADOS	1.00	1,180.15	1,180.15

SIMULACIÓN TÉRMICA DE MÓDULOS PREFABRICADOS CON DIFERENTES ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS
PARA APLICACIONES MILITARES

MEDICIONES

Implantación BAGDAG

EC 20	Partida		CONTENEDOR 20*	1.00	1,180.15	1,180.15
			Suministro, transporte y colocación hasta una altura de contenedor estándar de 20', también conocido como dry van, es el más usado. Puede llevar casi cualquier carga, gracias a su versatilidad. Este contenedor tiene una capacidad de peso bruto máximo (mgw) de 30 t.			
			C03.01	1.00	1,180.15	1,180.15
C03.02	Capítulo		REVESTIMIENTO INTERIOR CONTENEDOR	1.00	4,564.22	4,564.22
E10ATV050	Partida	M2	AISLAMIENTO TÉRMICO XPS 50 mm	55.93	9.94	555.94
			Aislamiento térmico con paneles de poliestireno extruido de superficie lisa y cantos machiembados de 50 mm de espesor, colocados a tope para evitar puentes térmicos, i/p.p. de corte y colocación, medios auxiliares, s/UNE-EN 13164.			
E07TYC020	Partida	M2	TRASDOSADOS AUTOPORTANTE	26.68	15.70	418.88
			e=61mm/400(15+46) Trasdosado autoportante formado por montantes separados 400 mm y canales de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm, atornillado por la cara externa una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor con un ancho total de 61 mm, sin aislamiento. i/p.p. de tratamiento de huecos, paso de instalaciones, tornillería, pastas de agarre y juntas, cintas para juntas, anclajes para suelo y techo, limpieza y medios auxiliares. Totalmente terminado y listo para imprimir y pintar o decorar. Según NTE-PTP, UNE 102040 IN y ATEDY. Medido deduciendo los huecos de superficie superior de 2 m²			
E08TLL050	Partida	m2	FALSO TECHO ABIERTO LAMAS ALUMINIO HORIZONTALES LISAS 135 mm	12.99	48.13	625.21
			Falso techo metálico abierto a base de lamas lisas de aluminio prelacadas en color blanco de 135 mm de anchura, encajadas en rastreles troquelados de acero galvanizado suspendidos del techo mediante varillas roscadas, existiendo una separación entre lamas o entrecalle de 15 mm, i/p.p. de remates, piezas especiales, accesorios de fijación y andamiaje, instalado s/NTE-RTP, medido deduciendo huecos superiores a 2 m²			
E11RMF140	Partida	m2	TARIMA FLOTANTE BARNIZADA DOUSSIE 15mm.	12.99	60.87	790.70

MEDICIONES

Implantación BAGDAG

Tarima flotante de Doussie de 90/100 mm. de ancho y 15 mm. de espesor, clase extra (s/UNE 56809-1), machihembrada en sus cuatro lados, con dos capas de barniz de secado ultravioleta y dos capas de terminación de barniz poliuretano, colocadas con clips cada 70 cm., colocado sobre lámina de polietileno celular de 2 mm. de espesor con film de polietileno de 0,2 mm. incorporado barrera anti-vapor, colocado sobre recrecido de piso, sin incluir éste, i/p.p. de recortes y rodapié del mismo material, s/NTE-RSR-13, medida la carpintería alarizada						
E14V01	Partida	M2	CARPINTERÍA ALUMINIO CORREDERA Suministro , instalación y montaje de carpintería para frentes fijos hasta 90 cms y fijos .; y dos para hojas abatibles-oscilobatiente.Carpintería serie SCHÜCO AWS / ADS 50. Ventana de dos hojas ; de aluminio lacado > 60 micras con sello de calidad QUALICOAT ; "SISTEMA AWS 50" con rotura del puente térmico mediante pletinas aislantes de poliamida o politherm; realizada con perfiles de aluminio de extrusión de aleación Al Mg Si 0,5 F22 en calidad anodizable (UNE 38337/L3441), las desviaciones máximas según DIN 17615 parte 3. Con una profundidad del cerco de 50 mm y 60mm.en la hoja. CLASIFICACION CODIGO TECNICO: TRANSMITANCIA TERMICA $U_f=3,10$ (W/m2K) PERMEABILIDAD AL AIRE $\Delta LASE$ 4 (UNE-EN 12207) ESTANQUEIDAD AL AGUA $\Delta LASE$ 9A (UNE-EN 12208) RESISTENCIA AL VIENTO $\Delta LASE$ C4 Con precámara de descompresión y junta central de estanqueidad al aire y al agua de EPDM, estables a la acción de los rayos UVA, con escuadras de una pieza en las esquinas; juntas de acristalamiento y resto de juntas también de EPDM. Tornillería de acero inoxidable para evitar el par galvánico. Ventilación y drenaje de la base y perímetro de los vidrios para evitar deslaminaciones de los mismos por condensaciones. Escuadras interiores en las esquinas de marcos y hojas inyectadas en	1.30	340.06	442.08
E14VCCR	Partida	M2	CARPINTERÍA ALUMINIO FIJO CRISTAL TRASLUCIDO	0.90	218.54	196.69
E14P05	Partida	UD	CARPINTERÍA ALUMINIO EN PUERTAS ACRISTALADAS	1.00	738.91	738.91

MEDICIONES

Implantación BAGDAG

			Suministro , instalación y montaje de carpintería tipo P05 para un hueco de dimensiones 900mm x 2200mm (ancho x alto); dotado de dos fijos y una hoja abatible oscilobatiente. Carpintería serie SCHÜCO AWS / ADS 50. Puerta de una hoja; de aluminio lacado > 60 micras sello QUALICOAT , "SISTEMA ADS 50" con rotura del puente térmico mediante pletinas aislantes de poliamida o politherm; realizada con perfiles de aluminio de extrusión de aleación Al Mg Si 0,5 F22 en calidad anodizable (UNE 38337/L3441), las desviaciones máximas según DIN 17615 parte 3. Con una profundidad del cerco y de la hoja de 65 mm. Con juntas estanqueidad al aire y al agua de EPDM, estables a la acción de los rayos UVA. Tornillería de acero inoxidable para evitar el par galvánico. Ventilación y drenaje de la base y perímetro de los vidrios para evitar deslaminaciones de los mismos por condensaciones. Escuadras interiores en las esquinas de marcos y hojas inyectadas en cola de dos componentes para estanquizar y armar el inglete. Apertura exterior/interior de una hoja, con una dimensión en cada hoja de 1,00m de ancho máximo y una altura de 2,2m. y para un peso máximo autorizado para este herraje de 150 kg/hoja. Herrajes SCHÜCO con los ejes de acero inoxidable y resto de piezas de fundición de aluminio. Bisagras de tres palas cilíndricas o sobrepuestas hasta 150Kg/hoja y sobrepuestas para 200Kg/hoja.Umbral libre con mecanismo de hermeticidad en la hoja que actúa con el			
E27HEC060	Partida	m2	CHORREADO Y PINTADO ESMALTE POLIUR.ALIFÁTICO 2 COMP. Esmalte poliuretano alifático 2 comp., de acabado brillante sobre carpintería metálica, imprimado con imprimación antioxidante poliuretano 2 componentes, limpieza, eliminación de óxidos y desengrasado.	64.49	12.34	795.81
			C03.02	1.00	4,564.22	4,564.22
C03.03	Capítulo	INSTALACIONES		1.00	710.85	710.85
E17CB030	Partida	u	C.G.P.M. VIVIENDA ELECT. BÁSICA 5 C.	1.00	229.06	229.06

MEDICIONES

Implantación BAGDAG

			Cuadro general de mando y protección de vivienda, electrificación básica (5.750W), formado por caja empotrable de doble aislamiento con puerta con grado de protección IP40-IP08, de 14 elementos, perfil omega, embarrado de protección, alojamiento del interruptor de control de potencia (no incluido) independiente y precintable, 1 IGA de corte omipolar 32A (2P), 1 interruptor diferencial 40A/2P/30mA y 5 PIAS (I+N) de corte omipolar: 1 de 10A para alumbrado (C1), 2 de 16A para tomas de uso general (C2) y auxiliar en cocina y baños (C5), 1 de 20A para lavadora, lavavajillas y termo/caldera (C4), 1 de 25A para cocina y horno (C3). Instalado, conexionado y rotulado; según REBT, ITC-BT-10, ITC-BT-17 e ITC-BT-25.			
E12EML010	Partida	ud	PUNTO LUZ SENCILLO	2.00	25.24	50.48
			Punto de luz sencillo realizado con tubo PVC corrugado de ø 16mm y conductor de 1,5 mm ² de Cu, libre de halógeno ESO721-K(AS) en 750 V., incluyendo parte proporcional de cajas de registro, caja de mecanismo universal con tornillos, conmutadores, p.p. de pequeño material y mano de obra, instalado y probado .Según REBT.			
E15MOT071	Partida	ud	CONJUNTO 2 TOMAS 2P+TT 16A + 2 RJ-45 KEYSTONE + TV	2.00	128.24	256.48
			Caja preparada para 2 tomas de 2P+TT 16A + 2 RAJ-45 + TV conexionada y cableada con p.p. de pequeña material y mano de obra. instalada y funcionando, según R.E.B.T.			
E12EIM430	Partida	ud	EMERGENCIA ENRASADA SERIE HYDRA DE DAISALUX NO PERMANENTE	1.00	63.20	63.20
			Aparato de emergencia no permanente con un grado de protección IP42, IK04, de la serie Hydra de Daisalux o equivalente, con los lúmenes que se reflejan en planos de planta. con p.p. de pequeño material y 3 m. de línea eléctrica de alimentación, instalada, probada y funcionando.			
E2223	Partida	UD	DETECTOR ÓPTICO DE HUMOS	1.00	111.63	111.63
			Detector óptico de llamas, acorde a normativa EN 54-7, provisto de led indicador de alarma con enclavamiento, chequeo automático de funcionamiento, estabilizador de tensión y salida automática de alarma, incluso montaje en zócalo convencional y entubado. Medida la unidad instalada.			
			C03.03	1.00	710.85	710.85
			CC03	1	6,455.22	6,455.22
			190703.V1	1	8,290.72	8,290.72