



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de cargas térmicas e idoneidad de equipos de suministro
energético en módulos de servicios basados en contenedores
marítimos*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: José Javier Hernández Serrano,

DIRECTORES: Carlos Ulloa Sande

Guillermo Rey González

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de cargas térmicas e idoneidad de equipos de suministro energético en módulos de servicios basados en contenedores marítimos

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

Existe un gran mercado en todo el mundo de contenedores marítimos estandarizados que se retiran cada año de la circulación y se pueden reciclar para otras aplicaciones. Uno de los usos que se les puede se encuadra en el ámbito de ayuda humanitaria. La gran versatilidad que ofrecen para su acondicionamiento, así como la facilidad de transporte y su bajo precio convierte a los contenedores en plataformas inmejorables para utilizarlas como módulos de servicios en zonas de emergencia social.

La Armada Española por su parte, ofrece principalmente en sus buques más modernos medios para el transporte de contenedores que junto con la gran capacidad de proyección de sus unidades constituyen una buena plataforma para transportar, operar e incluso mantener módulos de servicios basados en contenedores marinos.

Con el objeto de aportar algo de claridad a la viabilidad de estas ideas, se realiza un estudio de cargas térmicas sobre tres configuraciones diferentes de módulos de servicios situados en 5 ubicaciones repartidas en diferentes zonas climáticas. Mediante una simulación térmica en *Trnsys*® se analizan consumos y demandas máximas de frío y calor con el objetivo de proponer los equipos más adecuados para cubrir la demanda energética de los módulos sometidos a estudio

PALABRAS CLAVE

Contenedores marítimos, Armada Española, simulación térmica, Trnsys, equipos de suministro energético

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Don Carlos Ulloa Sande y Guillermo Rey González, por su guía y dirección en la realización del trabajo.

A mi padre, porque su ayuda en las etapas iniciales del proyecto, ha resultado ser definitiva para la materialización del mismo.

Al Alférez de Navío Don Carlos Aparicio Herrero, por su ofrecimiento y desinteresada implicación.

Al Centro Universitario de la Defensa de Marín, por la oportunidad que ha supuesto la elaboración del presente estudio.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Ilustraciones	5
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Introducción y motivaciones	9
1.2 Estudio previo	10
1.3 Método	11
1.4 Objetivos	11
2 Estado del arte	12
2.1 Fundamentos teóricos	12
2.1.1 Fundamentos de la transmisión de calor: conducción	12
2.1.2 Fundamentos de transmisión de calor: radiación térmica.....	13
2.1.3 Fundamentos de transmisión de calor: convección	13
2.2 Transporte con contenedores marítimos	14
2.2.1 Reseña histórica	14
2.2.2 Características de los contenedores	15
2.2.3 Tipos de contenedores	16
2.3 Equipos de calefacción.....	18
2.3.1 Calefacción eléctrica.....	18
2.3.2 Bomba de calor	19
2.3.3 Sistemas de combustión de GLP	20
2.4 Equipos de refrigeración	21
2.4.1 Máquinas frigoríficas.....	22
2.4.2 Acondicionadores de aire	22
2.5 Buques de la Armada con capacidad de transporte de contenedores.....	23
2.5.1 BPE Juan Carlos I.....	23
2.6 Software de simulación térmica	25
2.6.1 Trnsys® 17	25
2.7 Zonas climáticas de Köppen-Geiger	25
2.7.1 Región A, clima tropical.....	26
2.7.2 Región B, clima seco	26
2.7.3 Región C, clima templado	27
2.7.4 Región D, clima continental	27
2.7.5 Región E, clima polar	27

3 Metodología.....	28
3.1 Plataforma y ubicación de estudio	28
3.1.1 Módulo de primeros auxilios	29
3.1.2 Módulo de duchas	29
3.1.3 Módulo de refrigeración	30
3.2 Ubicaciones para la simulación.....	30
3.3 Descarga de datos meteorológicos de <i>Meteonorm</i> ®.....	31
3.4 Diseño del modelo para la simulación	32
3.5 Modelización en <i>Google SketchUp</i> ®.....	32
3.6 Diseño de cerramientos	34
3.7 Especificación de cerramientos en <i>Trnbuild</i> ®.....	35
3.7.1 Pasos previos	35
3.7.2 Cerramientos del módulo de primeros auxilios y de duchas	36
3.7.3 Cerramientos del módulo de refrigeración	38
3.8 Regímenes de temperaturas	39
3.8.1 Regímenes de temperaturas del módulo de primeros auxilios	40
3.8.2 Regímenes de temperaturas del módulo de duchas	40
3.8.3 Regímenes de temperaturas del módulo de refrigeración.....	40
3.9 Otros parámetros	40
3.9.1 Otros parámetros para el módulo de primeros auxilios	40
3.9.2 Otros parámetros para el módulo de duchas	44
3.9.3 Otros parámetros para el módulo de refrigeración	47
3.10 Simulación térmica en <i>Trnsys</i> ®.....	48
3.10.1 Condiciones para la simulación	48
3.10.2 Layout del módulo de primeros auxilios	48
3.10.3 Layout del módulo de duchas	49
3.10.4 Layout del módulo de refrigeración	49
3.11 Exportación de datos a <i>Microsoft Excel</i> ®.....	50
4 Resultados	51
4.1 Módulo de primeros auxilios	51
4.1.1 Puerto Príncipe, Haití (zona A)	51
4.1.2 Yibuti, Yibuti (zona B)	53
4.1.3 Colonia, Uruguay (zona C).....	55
4.1.4 Yakutsk, Rusia (zona D).....	57
4.1.1 Puerto Williams, Chile (zona E).....	59
4.2 Módulo de duchas	61

4.2.1 Puerto Príncipe, Haití (zona A)	61
4.2.2 Yibuti, Yibuti (zona B)	62
4.2.3 Colonia, Uruguay (zona C)	63
4.2.4 Yakutsk, Rusia (zona D)	64
4.2.5 Puerto Williams, Chile (zona E)	65
4.3 Módulo de refrigeración	66
4.3.1 Puerto Príncipe, Haití (zona A)	66
4.3.1 Yibuti, Yibuti (zona B)	68
4.3.2 Colonia, Uruguay (zona C)	70
4.3.3 Yakutsk, Rusia (zona D)	72
4.3.4 Puerto Williams, Chile (zona E)	74
4.3.5 Discusión de los resultados	76
4.4 Equipos de calefacción y refrigeración para el módulo de primeros auxilios	77
4.4.1 Equipos de calefacción para la zona A (Puerto Príncipe)	77
4.4.2 Equipos de refrigeración para la zona A (Puerto Príncipe)	78
4.4.3 Equipos de calefacción para la zona B (Yibuti)	78
4.4.4 Equipos de refrigeración para la zona B (Yibuti)	78
4.4.5 Equipos de calefacción y refrigeración para la zona C (Colonia)	78
4.4.6 Equipos de calefacción para la zona D (Yakutsk)	79
4.4.7 Equipos de refrigeración para la zona D (Yakutsk)	79
4.4.8 Equipos de calefacción para la zona E (Puerto Williams)	80
4.4.9 Equipos de refrigeración para la zona E (Puerto Williams)	80
4.4.10 Resumen de sistemas de suministro para el módulo de primeros auxilios	80
4.5 Equipos de calefacción para el módulo de duchas	81
4.5.1 Equipos de calefacción de agua para la zona A (Puerto Príncipe)	81
4.5.2 Equipos de calefacción de agua para la zona B (Yibuti)	82
4.5.3 Equipos de calefacción para la zona C (Colonia)	82
4.5.4 Equipos de calefacción para la zona D (Yakutsk)	82
4.5.5 Equipos de calefacción para la zona E (Puerto Williams)	82
4.5.6 Resumen de equipos de suministro para el módulo de duchas	83
4.6 Equipos de refrigeración para el módulo refrigerador	83
5 Conclusiones y líneas futuras	84
5.1 Conclusiones	84
5.2 Adquisición de contenedores reutilizados para módulos de servicios	84
5.3 Adquisición de módulos de servicios a empresas especializadas	85
6 Bibliografía	86

Anexo I: Cálculos de la capacitancia térmica	89
I.I Capacitancia térmica del mobiliario interior del módulo de primeros auxilios	89
I.II Capacitancia térmica del mobiliario interior del módulo de duchas.....	90
I.III Capacitancia térmica del mobiliario interior del módulo de refrigeración.....	91
Anexo II: Hoja de cálculo de interpretación de resultados	93
6.1.1 Cálculo de resultados	94
Anexo III: Cálculos de demanda de frío y calor para el agua del módulo de duchas	97
III.I Cálculos previos.....	97
III.II Demanda de calor para el ACS en Puerto Príncipe (zona A).....	98
III.IV Demanda de calor para el ACS en Yibuti (zona B)	99
III.VI Demanda de calor para el ACS en Colonia (zona C)	99
III.VIII Demanda de calor para el ACS en Yakutsk (zona D)	100
III.X Demanda de calor para el ACS en Puerto Williams (zona E).....	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 Buque de la compañía <i>Sea-Land Industries</i> [47].....	15
Ilustración 2-2 Contenedores apilados [5].....	16
Ilustración 2-3 Dry General [6].....	17
Ilustración 2-4 Open Top [7].....	17
Ilustración 2-5 Contenedor Open Side [8].....	17
Ilustración 2-6 Contenedor Flat [9].....	17
Ilustración 2-7 Contenedor Reefeer [10].....	18
Ilustración 2-8 Contenedor Tank [11].....	18
Ilustración 2-9 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor [14].....	19
Ilustración 2-10 Diagramas del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	22
Ilustración 2-11 BPE Juan Carlos I [20].....	23
Ilustración 2-12 Configuración de carga de contenedores TEU del JCI [20].....	24
Ilustración 2-13 Logotipo de <i>Trnsys17</i> ® [21].....	25
Ilustración 2-14 Clasificación climática de Köppen-Geiger [22].....	26
Ilustración 3-1 Empresa suministradora del E.T. [25].....	28
Ilustración 3-2 Módulo TEU de primeros auxilios de ARPA, S.A.U. [27].....	29
Ilustración 3-3 Disposición interior del módulo de primeros auxilios de ARPA, S.A.U. [27].....	29
Ilustración 3-4 Interior del Módulo TEU de duchas de ARPA, S.A.U. [27].....	29
Ilustración 3-5 Módulo TEU refrigerador de ARPA, S.A.U. [27].....	30
Ilustración 3-6 Ubicaciones para la simulación.....	31
Ilustración 3-7 Datos de salida presentados en <i>Meteonorm</i> ®.....	32
Ilustración 3-8 Zona térmica en <i>Google SketchUp</i> ®.....	33
Ilustración 3-9 Modelo de contenedor en <i>Google SketchUp</i> ®.....	34
Ilustración 3-10 Datos del contenido de una zona térmica.....	34
Ilustración 3-11 Segundo paso, selección de archivo meteorológico y orientación del modelo.....	35
Ilustración 3-12 Icono de “ <i>Building</i> ” en <i>Trnsys</i> ®.....	36
Ilustración 3-13 Acceso al <i>Trnbuild</i> ®.....	36
Ilustración 3-14 Cerramiento de paneles laterales de contenedor de primeros auxilios y duchas.....	36
Ilustración 3-15 Cerramientos de panel de suelo de contenedor de primeros auxilios y duchas.....	37
Ilustración 3-16 Cerramientos de panel de techo de contenedor de primeros auxilios y duchas.....	37
Ilustración 3-17 Cerramientos de paneles de techo y laterales del contenedor refrigerado.....	38
Ilustración 3-18 Cerramientos de paneles del suelo del contenedor refrigerado.....	39
Ilustración 3-19 Características del PRFV.....	39
Ilustración 3-20 Datos de ocupación como <i>input</i>	41

Ilustración 3-21 Datos de ocupación por horas del módulo de primeros auxilios	41
Ilustración 3-22 <i>Output</i> de datos de ocupación como <i>Imput</i> del modelo	42
Ilustración 3-23 Ganancias correspondientes al <i>imput</i> de datos de ocupación	42
Ilustración 3-24 Datos de ganancias según ISO 7730 en <i>Trnbuild</i> ®	43
Ilustración 3-25 Volumen y capacitancia térmica del módulo de primeros auxilios	43
Ilustración 3-26 Módulo de primeros auxilios definido en <i>Trnbuild</i> ®	44
Ilustración 3-27 <i>Imputs</i> de ventilación, ganancias por ocupación y ganancias por agua caliente....	44
Ilustración 3-28 Datos de ocupación por horas del módulo de duchas	45
Ilustración 3-29 Datos de renovaciones por hora de ventilación forzada del módulo de duchas	46
Ilustración 3-30 Caudal de ventilación forzada correspondiente al <i>imput</i> de ventilación.....	46
Ilustración 3-31 Volumen y capacitancia térmica del módulo de duchas	47
Ilustración 3-32 Volumen y capacitancia térmica del módulo de refrigeración	47
Ilustración 3-33 Ventana e intervalos de tiempo de la simulación.....	48
Ilustración 3-34 Icono de “ <i>Weather data</i> ” en <i>Trnsys</i> ®	48
Ilustración 3-35 <i>Layout</i> de módulo de primeros auxilios.....	48
Ilustración 3-36 <i>Layout</i> de módulo de duchas.....	49
Ilustración 4-1 Consumo de frío en kWh en Colonia.....	57
Ilustración II-1 Página principal de la hoja de cálculo	93
Ilustración II-2 Gráfica y tabla de resultados	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Puerto Príncipe	51
Tabla 4-2 Consumo mensual de calor en kWh en Puerto Príncipe	52
Tabla 4-3 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Puerto Príncipe	52
Tabla 4-4 Consumo mensual de frío en kWh en Puerto Príncipe	53
Tabla 4-5 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Yibuti.....	53
Tabla 4-6 Consumo mensual de calor en kWh en Yibuti.....	54
Tabla 4-7 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Yibuti	54
Tabla 4-8 Consumo mensual de frío en kWh en Yibuti.....	55
Tabla 4-9 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Colonia	55
Tabla 4-10 Consumo de calor en kWh en Colonia	56
Tabla 4-11 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Colonia (Uruguay).....	56
Tabla 4-12 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Yakutsk.....	57
Tabla 4-13 Consumo de calor en kWh en Yakutsk.....	58
Tabla 4-14 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Yakutsk.....	58
Tabla 4-15 Consumo de calor en kWh en Yakutsk.....	59
Tabla 4-16 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Puerto Williams.....	59
Tabla 4-17 Consumo de calor en kWh en Puerto Williams	60
Tabla 4-18 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Puerto Williams	60
Tabla 4-19 Consumo de frío en kWh en Puerto Williams	61
Tabla 4-20 Demanda de calor del módulo de duchas en Puerto Príncipe	62
Tabla 4-21 Consumo de calor en kWh en Puerto Príncipe	62
Tabla 4-22 Demanda de calor del módulo de duchas en Yibuti.....	62
Tabla 4-23 Consumo de calor en kWh en Yibuti	63
Tabla 4-24 Demanda de calor del módulo de duchas en Colonia	63
Tabla 4-25 Consumo de calor en kWh en Colonia	64
Tabla 4-26 Demanda de calor del módulo de duchas en Yakutsk	64
Tabla 4-27 Consumo de calor en kWh en Yakutsk.....	65
Tabla 4-28 Demanda de calor del módulo de duchas en Puerto Williams.....	65
Tabla 4-29 Consumo de calor en kWh en Puerto Williams	66
Tabla 4-30 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Puerto Príncipe	66
Tabla 4-31 Consumo de frío en kWh a -40°C en Puerto Príncipe	67
Tabla 4-32 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Puerto Príncipe.....	67
Tabla 4-33 Consumo de frío en kWh a 10°C en Puerto Príncipe.....	68
Tabla 4-34 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Yibuti.....	68

Tabla 4-35 Consumo de frío en kWh a -40°C en Yibuti.....	69
Tabla 4-36 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Yibuti	69
Tabla 4-37 Consumo de frío en kWh a 10°C en Yibuti	70
Tabla 4-38 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Colonia	70
Tabla 4-39 Consumo de frío en kWh a -40°C en Colonia	71
Tabla 4-40 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Colonia.....	71
Tabla 4-41 Consumo de frío en kWh a 10°C en Colonia.....	72
Tabla 4-42 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Yakutsk.....	72
Tabla 4-43 Consumo de frío en kWh a -40°C en Yakutsk.....	73
Tabla 4-44 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Yakutsk	73
Tabla 4-45 Consumo de frío en kWh a 10°C en Yakutsk	74
Tabla 4-46 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Puerto Williams.....	74
Tabla 4-47 Consumo de frío en kWh a -40°C en Puerto Williams	75
Tabla 4-48 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Puerto Williams	75
Tabla 4-49 Consumo de frío en kWh a 10°C en Puerto Williams	76
Tabla 4-50 Resumen de demandas de calor máximas.....	76
Tabla 4-51 Resumen de demandas de frío máximas	77
Tabla 4-52 Tabla resumen para el módulo de primeros auxilios	80
Tabla 4-53 Tabla resumen para el módulo de duchas	83
Tabla 4-54 Tabla resumen para el módulo refrigerador	83
Tabla II-1 Datos de entrada en el <i>Excel</i> ® ordenados temporalmente	94
Tabla II-2 Datos de salida.....	94

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción y motivaciones

El campo de la construcción modular utilizando contenedores de transporte marítimo ha abierto, hace ya algunos años, un nuevo mercado que no ha dejado de crecer hasta la fecha. Se trata de una opción atractiva, por el bajo coste de la materia prima y del proceso constructivo, la rapidez de construcción, la capacidad de transporte de los contenedores utilizando muy diversos medios, y la alta versatilidad de diseño de módulos independientes energéticamente. A día de hoy, existe un gran mercado que explota estas técnicas, y con ellas, se ofrecen soluciones que van desde viviendas unifamiliares a bloques de diferentes pisos u oficinas.

Lo que cabe entonces preguntarse, es si existe alguna otra oportunidad de sacar provecho de la utilización de estos contenedores, en el ámbito de las Fuerzas Armadas en general, y de la Armada en particular. La respuesta a esta cuestión se deja entrever, ya que desde hace algún tiempo, organismos como el Ejército de Tierra, o el Ejército del Aire en menor medida, han contratado empresas que utilizan el diseño de contenedores marítimos como base para la fabricación de módulos como hospitales de campaña, almacenes de munición, sanitarios, e incluso plantas potabilizadoras.

Por otra parte, la Armada, a diferencia de otros cuerpos dentro de las Fuerzas Armadas, tiene una posibilidad de proyección prolongada en el tiempo, que hace que sus buques puedan proporcionar presencia continuada durante largos períodos en lugares muy remotos sin necesidad de apoyo externo. Ofrece una capacidad no comparable a ninguna Organización No Gubernamental (ONG) de transporte de grandes volúmenes (de ayuda humanitaria, medicamentos, infraestructuras...), en tiempos relativamente cortos, a lugares donde se han sucedido catástrofes naturales, destrucción de áreas habitadas en tiempo de guerra, o simplemente zonas que se encuentran en estado de emergencia sea cual fuere la razón. Esta capacidad se ha demostrado en diferentes ocasiones, por ejemplo, con el desplazamiento el buque “Castilla” a la isla caribeña tras el terremoto de Haití en el 2010, y le da a la Armada una posibilidad de gran valor ya sea, destacando unidades, o aprovechando las navegaciones programadas para las mismas, para realizar una importante labor de apoyo a las actividades que con mucha dificultad llevan a cabo otras instituciones.

La Armada es, por tanto, una interesante opción a la hora de transportar, montar, e incluso mantener y operar instalaciones de características similares a las del Ejército de Tierra, pero que este no puede transportar tan lejos por medios propios, o bien le es más costoso hacerlo. En efecto, a la hora de pensar en las condiciones que deberían satisfacer los nuevos buques de la Armada, se pensó en el transporte de contenedores dedicados a tales fines, e, incluso, el BPE (Buque de Proyección Estratégica) “Juan Carlos I”, está diseñado de forma que pueden albergar una gran cantidad de contenedores de dimensiones estándar de 20 pies.

En base a lo anteriormente expuesto, se ha creído interesante realizar un estudio de demandas térmicas y equipos de suministro, que ofrecerá dos lecturas: por un lado, podrá formar parte de un posterior proyecto o proyectos que evalúen el coste y viabilidad de acondicionamiento de contenedores marítimos reutilizados como módulos de servicios, y, análogamente, podrá constituir parte de otro estudio más extenso acerca del coste de adquisición de módulos de servicios a empresas especializadas.

1.2 Estudio previo

El procedimiento que se va a seguir para llevar a cabo este estudio, y alcanzar unas conclusiones oportunas, se centrará en la simulación de cargas térmicas en diferentes ubicaciones de unos módulos diseñados a partir de contenedores marítimos. Teniendo esta simulación como núcleo del presente estudio, se analizarán posteriormente los equipos y sistemas adecuados para atender a la demanda energética de estos contenedores. Para la consecución de estos objetivos se establecen los hitos que se explican a continuación.

En primer lugar, se entiende que es necesario establecer los fundamentos teóricos que se van a utilizar a lo largo del trabajo. Definir la base teórica sobre la cual se va fundamentar el estudio servirá para acotar el campo en el cual se va a desarrollar el mismo. Por otra parte, una clara visión de estos fundamentos ayudará a una correcta elección del método de estudio, además de otros detalles importantes como por ejemplo el software a utilizar. Las competencias en las que se encuentran encuadrados los fundamentos del proyecto son principalmente la termodinámica, y la transferencia de calor.

El siguiente aspecto importante a tener en cuenta es el conocimiento de la plataforma que se va a utilizar como base. Información relativa a la historia de los contenedores marítimos, por qué se convirtieron en un instrumento útil, o qué consecuencias tuvo su auge, puede aportar luz a la hora de entender por qué se han convertido en un buen elemento constructivo una vez son retirados de su servicio a bordo de los buques portacontenedores. Entender las ventajas que tiene su uso en el transporte de mercancías, ayudará a entender las ventajas y potenciales aplicaciones que presenta su reutilización en otros campos.

Es esencial, por la misma razón, conocer las características de estos contenedores. No sólo para completar el juicio *a priori* de la utilidad que tienen para las aplicaciones mencionadas, sino también, para llevar a cabo las simulaciones de forma correcta. Para ello, es recomendable saber, entre otros datos, materiales de fabricación, materiales que se pueden añadir para su modelización (aislantes, tapizados...), dimensiones, peso, o flexibilidad en el transporte. A este objeto, se analizan contenedores en servicio actualmente ya utilizados para diversas construcciones o despliegues militares.

Sin embargo, todas las posibilidades que pueden ofrecer los contenedores marítimos, no son de aplicación para el propósito general del proyecto, si no se pueden desarrollar con los medios de los que la Armada dispone. Es importante conocer los medios con los que la Armada cuenta para transporte de este tipo contenedores. Se analizarán las posibilidades que ofrece el BPE “Juan Carlos I”, diseñado con una especial capacidad para el transporte de contenedores marítimos.

Hasta este punto, se tiene una visión generalizada, que permite advertir el interés que puede tener este estudio. Sin embargo, para la obtención de unos resultados concretos, que conduzcan a unas conclusiones adecuadas, es necesario diseñar un método que establezca, qué información es necesaria como punto de partida, y qué procesos se llevan a cabo en el manejo de esta información, con el propósito de obtener la información de salida que se busca.

1.3 Método

El campo que el proyecto pretende abarcar, incluirá el estudio de cargas térmicas de diferentes módulos en diferentes situaciones, la selección del sistema de suministro más adecuado, el dimensionamiento del equipo que provea ese suministro, y los consumos para cada caso. En base a esto se diseñará la estrategia que lleve a la consecución de dichos objetivos.

Los datos necesarios para realizar el análisis que se pretende llevar a cabo se obtendrán a partir de las cargas térmicas. Para seleccionar el equipo correcto para cada caso, se analizarán datos de temperaturas máximas, mínimas, y medias mensuales, y se prestará atención a factores como la desviación estándar entre ellas. El dimensionamiento del equipo escogido requerirá el estudio de las potencias máximas y mínimas, y para obtener dichos valores, será necesario establecer regímenes de temperatura de trabajo dentro del módulo. Por último, para el estudio de la energía que emplea el equipo de suministro en mantener esos regímenes, serán necesarios los datos de potencia consumida a cada intervalo de tiempo.

Se diseñará una simulación térmica que devuelva como salida los valores mencionados. Los módulos-contenedor, y los archivos de datos meteorológicos de ciertas localizaciones geográficas formarán las dos entradas principales para la simulación. Se realizarán tantas simulaciones como se consideren necesarias para la obtención resultados que abarquen diferentes situaciones y supuestos.

Para la selección de ubicaciones que ofrezcan una visión lo más amplia posible de las demandas térmicas en diferentes climas, se tendrá en consideración la división en regiones climáticas de Köppen-Geiger. De la misma manera, los elementos que se van a someter a estudio se obtendrán de catálogos de referencia de empresas proveedoras de módulos prefabricados. Se diseñarán estos modelos en *software* gráfico, basándose en las características constructivas de los mismos, de modo que quede completamente definido para la simulación térmica.

1.4 Objetivos

En base a todo lo anteriormente expuesto, se marcan los siguientes objetivos para el estudio de las demandas térmicas, equipos de suministro y consumos en diferentes ubicaciones:

- Estudio del estado del arte en el ámbito del transporte de contenedores estandarizados y de las características que estos elementos presentan.
- Análisis del alcance las capacidades de transporte de estos contenedores por parte del BPE “Juan Carlos I”.
- Simulación térmica de módulos con diferentes configuraciones interiores en diferentes ubicaciones geográficas. Obtención de datos de demandas térmicas para mantener ciertos regímenes de temperaturas en el interior del contenedor.
- Determinación de los tipos y características técnicas de los sistemas de suministro adecuados para satisfacer la demanda térmica en cada supuesto. Dimensionamiento de los mismos y obtención de datos de consumo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Fundamentos teóricos

La dimensión técnica del presente trabajo abarca dos campos: la termodinámica y la transmisión de calor. La diferencia principal entre ambas, radica en que la termodinámica trata la interacción del calor, y el papel que este juega en la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica, sin cuantificar la velocidad de transferencia, que es, precisamente, lo que busca el estudio de la transferencia de calor. Esto es, la termodinámica, trabaja con estados en equilibrio de la materia, y determina la cantidad de calor necesaria para pasar de un estado en equilibrio a otro, sin embargo, para que se produzca este intercambio de calor, es necesario un proceso de no equilibrio en el que exista un gradiente que sí que contempla la transferencia de calor.

2.1.1 Fundamentos de la transmisión de calor: conducción

Cuando la transferencia tiene lugar a través del medio material, que separa dos zonas a diferente temperatura, se habla de conducción. La conducción es el principal medio de transferencia de energía de una habitación al ambiente exterior, cuando este se encuentra a diferente temperatura. Se produce de dos maneras principalmente: mediante ondas reticulares inducidas por el movimiento de los átomos con mayor energía hacia los que tienen menos, y por el movimiento de traslación de los electrones libres que también se produce en esta dirección en los materiales conductores, como es el caso del metal de los contenedores que se someterán a estudio.

Para cuantificar el calor transferido mediante conducción se utiliza la Ley de Fourier, que da un flujo de calor, o velocidad de transferencia de calor, q_x'' para una pared plana unidimensional:

$$q_x'' \left(\frac{W}{m^2} \right) = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Ecuación 2-1 Ley de Fourier

Siendo k la conductividad térmica de cada material:

$$k \rightarrow \frac{W}{m \cdot K}$$

Ecuación 2-2 Coeficiente de conductividad térmica del material

Se puede averiguar entonces que el calor transferido por unidad de área equivale a:

$$q_x = q_x'' \cdot A$$

Ecuación 2-3 Calor transferido por unidad de área

[1]

2.1.2 Fundamentos de transmisión de calor: radiación térmica

La radiación térmica es la transferencia de energía calorífica por medio de ondas electromagnéticas. Es por ello una forma de transmisión que no depende de la materia como medio de transporte.

La cantidad de energía E que radia un cuerpo está limitada por arriba por la ley de *Stefan-Boltzmann* y el cuerpo que la emite se denomina “radiador ideal” o “cuerpo negro”:

$$E_b = \sigma T_s^4$$

Ecuación 2-4 Ley de *Stefan-Boltzmann*

Siendo T_s la temperatura absoluta de la superficie y σ la constante de *Stefan-Boltzmann* cuyo valor es:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

Ecuación 2-5 Constante de *Stefan-Boltzmann*

Para hallar el calor emitido por un cuerpo real se relaciona la anterior ley con un coeficiente ε de emisividad que depende del material y el acabado de la superficie de dicho cuerpo

$$E_b = \varepsilon \sigma T_s^4$$

Ecuación 2-6 Calor emitido por un cuerpo real

Una superficie que se somete a una fuente de radiación, como las paredes o ventanas de los contenedores, absorbe parte de esa energía y refleja otra parte. El concepto de “irradiación” (G) hace referencia a la velocidad con la que la radiación que incide sobre una superficie es absorbida por esta aumentando su temperatura. Esto depende del coeficiente de absorptividad del cuerpo de estudio quedando:

$$G_{abs} = \alpha G$$

Ecuación 2-7 Coeficiente de irradiación

Parte de la radiación que recibe un cuerpo como un contenedor, en su mayoría opaco, es reflejada, pero en las zonas con materiales transparentes, como las ventanas, gran parte de la radiación se transmite al interior del habitáculo, calentándolo [1].

2.1.3 Fundamentos de transmisión de calor: convección

La transferencia de calor por convección va a ser la menos relevante a la hora de estudiar el comportamiento térmico en la mayoría de los contenedores, no obstante, en ciertos casos, sí que va a cobrar importancia. La convección se produce por la combinación de dos mecanismos: un movimiento de difusión denominado “movimiento molecular aleatorio” y un movimiento a nivel macroscópico llamado “movimiento global”. En el caso en el que se habla, solamente, del movimiento volumétrico de cierto fluido, se utiliza el término de advección. Este método de transferencia de energía tiene mayor relevancia cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre el fluido en movimiento y la superficie limitante.

A la hora de hablar de convección es importante definir conceptos como “capa límite hidrodinámica” o “capa límite térmica”. Ambos hacen referencia a la zona donde la velocidad del fluido, o la temperatura, varían desde cero hasta el valor finito de estas magnitudes en el fluido. Cerca de la superficie de estudio, predomina la transferencia de calor por difusión, ya que en la interfaz

donde la velocidad es nula este es el único medio de transmisión, y, a medida que la velocidad avanza, la capa límite arrastra esta transferencia de calor hasta zonas fuera de la capa.

La convección se clasifica en:

- Convección forzada: en la que el flujo es causado por medios externos como un ventilador o el viento atmosférico
- Convección libre o natural: en la que el flujo es causado por las diferencias de densidad que a su vez causadas por la diferencia de temperatura
- Convección mezclada: en la que las dos anteriores se combinan de forma que ninguna de las dos es despreciable

Para estudiar la transferencia de calor por convección se utiliza ley de enfriamiento de *Newton*

$$q'' \left(\frac{W}{m^2} \right) = h(T_s - T_\infty)$$

Ecuación 2-8 Ley de enfriamiento de *Newton*

Donde el flujo de calor es proporcional a la diferencia de temperaturas y a la constante de proporcionalidad h o “coeficiente de transferencia de calor por convección”

$$h \rightarrow \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ecuación 2-9 Coeficiente de transferencia de calor por convección

Realizar un estudio de transferencia de calor por convección, se basa, al fin y al cabo, en el análisis del medio en el que se va a realizar (dónde se van a situar los contenedores) para determinar el valor de h [1].

2.2 Transporte con contenedores marítimos

2.2.1 Reseña histórica

El transporte de mercancías utilizando contenedores, ya sea por mar, o por tierra, no es algo reciente. La necesidad de transportar productos líquidos o a granel, e incluso animales salvajes, hizo que se crearan recipientes destinados a este fin. Uno de los datos más recientes se encontraron en un naufragio del siglo II en que se encontraron recipientes que tenían, curiosamente, un tamaño parecido a los contenedores actuales, y que denominaron “*dolium*”. Sin embargo, estos pesados contenedores eran muy difíciles de manejar, transportar y embarcar y desembarcar de los buques de la época. Es por ello que los contenedores como los encontrados en este pecio no eran frecuentes, y se optaba, a menudo, por recipientes de menor tamaño [2].

Pese a que hay algunas opiniones que datan el inicio del transporte con contenedores en la segunda guerra mundial, cuando se comenzaron a emplear para dotar de más seguridad el transporte de armas, esta generalmente aceptado que para hablar del nacimiento de lo que hoy entendemos por contenedores estandarizados para el transporte marítimo tenemos que situarnos en el 26 de abril de 1956. Malcom McClean, un camionero estadounidense de 21 años cansado de las esperas en los puertos de mercancías y la tediosa tarea transportar el cargo de su camión a los barcos, deduce que todo sería más fácil si el camión transportara ya un contenedor que se embarcaría directamente en el buque, para ser, a la llegada, transportado por otro camión hasta su destino. Nace por tanto la idea de diseñar y construir unos contenedores estandarizados para el transporte de mercancías. Estos grandes recipientes tendrían unos enganches en las esquinas, “*Twistlocks*”, que facilitarían la manipulación de los mismos utilizando las grúas de los barcos. En lo referente al tamaño, este ha variado desde el primer contenedor construido, que tenía unas dimensiones de 35 pies de largo y 8 pies de ancho y alto, a los contenedores de hoy en día, de 20 y 40 pies mayoritariamente.

McClellan funda *Sea-Land Industries*, una naviera que en 1963 es la primera que utiliza este tipo de transporte. En pocos años esta compañía crece de forma vertiginosa debido a los bajos precios que ofrece, derivados del ahorro que le supone el uso de estos contenedores. Al final de los 60 la compañía posee 36 buques porta-contenedores, 27.000 contenedores y opera en más de 30 puertos en todo el mundo.



Ilustración 2-1 Buque de la compañía *Sea-Land Industries* [47]

El resto de navieras se suman a la iniciativa de *Sea-Land* y *McClellan* y el transporte con contenedores se vuelve más eficiente en tanto que estos empiezan a ser utilizados por todas las compañías del sector. La organización encargada de la estandarización ISO (*International Organization for Standardization*) se pone manos a la obra con los nuevos contenedores, normalizando sus medidas y su ciclo de vida (de 6 a 15 años).

El 2013 se transportaron más de 651 millones de unidades equivalentes de 20 pies (TEU o *Twenty-Equivalent Unit*) en todo el mundo y un buque transportaba de media alrededor de 200000 contenedores anuales. Se concluye que hoy en día una enorme cantidad de contenedores están en constante movimiento, sin embargo ¿Qué sucede con ellos cuando alcanzan el fin de su vida operativa marcada por las normas ISO? Que se convierten en el recurso barato y resistente que estamos buscando para utilizar como base para el diseño de diferentes módulos de servicios.

2.2.2 Características de los contenedores

Según el Convenio Aduanero de Ginebra del 8 de mayo de 1956 un contenedor portátil es aquel:

“Instrumento de transporte portátil o móvil de carácter permanente, apto para su uso reiterado y para el transporte de mercancías a granel o ligeramente embaladas, especialmente con propósito de transporte sin manipulaciones intermedias, por medio de un transporte cualquiera o la combinación de varios de ellos.” [3]

En el ámbito nacional, la Ordenanza de Aduanas de España, en su artículo 138, apartado C, los define como:

“Un elemento (cajón portátil, cisterna móvil o análogo) que tenga carácter permanente y sea, por esta razón, lo suficientemente resistente para facilitar el transporte de mercancías sin rupturas o interrupción de carga, en forma reiterada, por ferrocarril, camión u otro medio cualquiera, que se

encuentre dotado de los dispositivos, que faciliten su manipulación en caso de transporte, resulte sencillo llenarlo o vaciarlo, que ostente marcas o señales para su perfecta identificación y que tenga, por lo menos, un metro cúbico de cabida.” [4]

Los contenedores marítimos hoy en día se fabrican siguiendo los estándares de la ISO 668, mientras que, el organismo que gestiona a los propietarios de estos mediante números de contenedor, es el BIC (*Bureau Int des Containers*). La inmensa mayoría están compuestos de acero corten, que les ofrece una protección especial en ambientes de fácil oxidación, mientras que también los hay formados por aluminio o incluso madera contrachapada reforzada con fibra de vidrio. En el interior el suelo es de madera o en ocasiones de bambú. Para facilitar su manejo, en las esquinas se encuentran los anclajes “*twistlocks*” que permiten su fijación en los diferentes medios de transporte.



Ilustración 2-2 Contenedores apilados [5]

Dentro de las medidas estandarizadas, el largo más utilizado es el de 20 pies (6.06m). Los siguientes contenedores más comunes son los de 40 pies de largo (12.19m). Existen también de 8 pies (2.44m), 10 pies (3.05m), 45 pies (13.72m), 48 pies (14.63m) y 53 pies (16.15m) de largo. El ancho estandarizado son 8 pies (2.44m) y con respecto a la altura hay una falta de estandarización que hace que varíe desde 4 pies y 3 pulgadas (1.3m) hasta 9 pies y 6 pulgadas (2.9m) siendo la altura más frecuente la de 8 pies y 1 pulgada (2.39m) y la de 8 pies y 6 pulgadas (2.69m). Cabe destacar, además, que los contenedores de 40 pies tienen esa medida exacta (12.192m) y los de 20 pies son ligeramente más cortos (6.058m) para permitir un apilamiento adecuado.

Estos contenedores tienen una gran resistencia, sus materiales de construcción y el perfil corrugado de sus superficies laterales les permiten soportar hasta 300 toneladas apiladas encima. La vida media de un contenedor oscila entre 7 y 14 años, y después de ser retirados del servicio, uno con 25 m² de suelo en el mercado de segunda mano cuesta alrededor de los 2000 euros.

2.2.3 Tipos de contenedores

Los contenedores se han ido adaptando para atender a las diferentes necesidades que han ido surgiendo dando lugar a diferentes modalidades:

- Metálicos: contenedores sin cierre hermético.
- Dry General-DV: contenedores estándares cerrados herméticamente sin refrigeración ni ventilación.



Ilustración 2-3 Dry General [6]

- High Cube-HC: contenedores, normalmente de 40 pies, con una cierta sobre-altura que les proporciona más capacidad en volumen pero no en peso.
- Open Top-OT: contenedores sin parte superior para permitir la entrada de mercancía de gran tamaño que no puede acceder al interior por las puertas.



Ilustración 2-4 Open Top [7]

- Open Side-OS: similares a los anteriores pero la parte abierta corresponde a un lateral, especialmente indicados para carga y descarga de ferrocarriles transportando contenedores.



Ilustración 2-5 Contenedor Open Side [8]

- Bulk-BLK: pensados para transportar mercancía a granel, poseen aberturas en la parte superior y en las puertas para carga y descarga así como una bolsa interior de un solo uso (*flexibag*).
- Flat-FLT: plataformas plegables para mayor flexibilidad a la hora de manejar carga de mayor dificultad.



Ilustración 2-6 Contenedor Flat [9]

- Refeer-RF: contenedores refrigerados para transporte de productos perecederos.



Ilustración 2-7 Contenedor Refeer [10]

- Aislantes: similar al anterior pero sin equipo generador de frío.
- Tank: diseñado para transportar mercancía líquida.



Ilustración 2-8 Contendor Tank [11]

2.3 Equipos de calefacción

Los equipos productores de calor se pueden clasificar de diferentes maneras, atendiendo principalmente al modo en el que ceden el calor al entorno, o también a cómo obtienen el calor que van a ceder. En esta sección se explicarán brevemente los más frecuentes dentro de esta última clasificación, haciendo distinciones en base a como ceden el calor al medio dentro de cada apartado.

2.3.1 Calefacción eléctrica

El principio en el que se basan estos equipos es el Efecto Joule. Como se ha explicado anteriormente, este enuncia que parte de la energía cinética de los átomos en movimiento de una corriente eléctrica se convierte en energía térmica al chocar con los átomos del material conductor y elevar la temperatura de este. El material conductor cede calor al entorno principalmente por convección aunque también por radiación. En base a como transmiten este calor al entorno se diferencia algunos tipos de sistemas de calefacción eléctrica:

- Convección natural: son los sistemas más básicos, como una estufa o un panel eléctrico, en los que el aire en contacto con el material conductor se calienta, pierde densidad y asciende generando un movimiento natural que va calentando el aire en el interior del habitáculo.
- Convección natural con inercia: en estos equipos las resistencias eléctricas se encuentran sumergidas en un fluido que se calienta y es el que cede calor al entorno. Son sistemas que tienen más superficie de contacto que los anteriores por lo que las corrientes de aire son mayores. Por otra parte, el fluido interior tarda un tiempo tanto en alcanzar la temperatura deseada al encender el equipo como en perderla una vez se apaga.
- Calentadores por convección forzada: son los que incorporan un ventilador para hacer pasar más caudal de aire por las resistencias. Con esto consiguen que el aire caliente se ceda al entorno de forma más rápida. Aunque suelen ser de tamaño compacto el ventilador que incorporan les convierte en aparatos ruidosos.
- Sistemas de radiación: estos equipos transmiten el calor al entorno principalmente por radiación. Esto implica que calientan antes objetos opacos que se encuentran delante de ellos que al aire que les rodea. Sirven para calentar puntos localizados y son ineficientes para aumentar la temperatura de estancias, aunque sean pequeñas.

Pese a estas diferencias entre sistemas a la hora de ceder el calor al entorno, todos tienen un mismo COP (*Coefficient Of Performance*) ya que funcionan bajo el mismo principio el rendimiento,. Para obtener 1 kW de potencia térmica habrá que aportar 1 kW de potencia eléctrica. En general los equipos de calefacción eléctricos o equipos termoeléctricos son equipos baratos, de poca potencia, tamaño reducido, y gran adaptabilidad. Aportan calor al medio de forma rápida cuando se requiere y no necesitan mantenimiento más allá de cambio de filtros de aire en algunos casos. Sin embargo, debido al bajo rendimiento que poseen, en comparación con otros sistemas, no se presentan como una opción eficiente y económica si es necesario aportar calor de forma continuada al entorno

Son indicados, por tanto, para zonas con poco volumen de aire (como podrían ser los contenedores que se van a estudiar) en zonas templadas dónde no sea necesario el aporte de mucho calor [12] [13].

2.3.2 Bomba de calor

El funcionamiento de estos sistemas, también conocidos como sistemas de aerotermia, se basa en un ciclo de intercambio de calor, que no deja de ser el ciclo inverso al ciclo de refrigeración, que se puede encontrar en sistemas como el de los frigoríficos domésticos. La diferencia, es que la estancia a la que se le desea modificar la temperatura, será la que contenga el foco caliente en vez del frío. Sin embargo, la mayoría de estos equipos son reversibles, lo que supone una ventaja a la hora de simplificar una instalación.

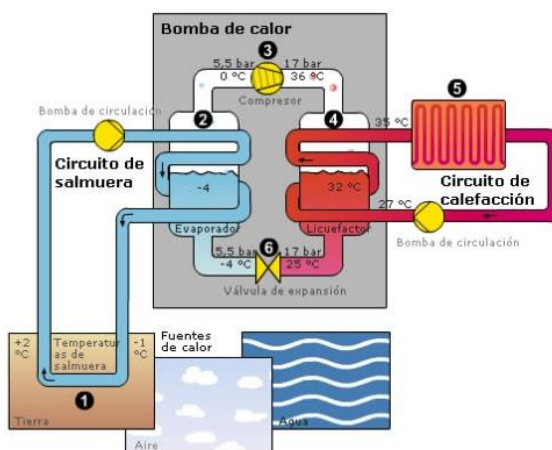


Ilustración 2-9 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor [14]

El sistema se compone de un circuito, con el mencionado foco frío, que, en este caso, se situaría en contacto con el ambiente en el exterior del habitáculo a calentar, y el foco caliente, que se encuentra en el interior de este. Este circuito contiene en su interior un fluido de bajo punto de ebullición, de forma que, cuando se hace pasar por un compresor, aumenta la presión a la que se ve sometido, y por tanto aumenta la temperatura. En esta parte del circuito (foco caliente o condensador), el fluido va cediendo calor al entorno (ya que se encuentra a más temperatura que el aire del habitáculo que se desea calentar) al mismo tiempo que se va condensando, y va pasando a estado líquido. Al final de esta etapa, ya en estado líquido, el fluido pasa por un evaporador que le hace descender de presión bruscamente y bajar, por ello, de temperatura. Entonces, el fluido entra en el foco frío (o evaporador) a menor temperatura que el aire en contacto con los conductos del circuito (aire exterior), por lo que absorbe calor del ambiente y aumenta su temperatura a la vez que se va evaporando. Cuando regresa al compresor para cerrar el ciclo, ya se encuentra en estado gaseoso y a una temperatura tal, que al elevarla más al pasar por el compresor el fluido, vuelve a estar a mayor temperatura que el aire del medio que se desea calentar.

El COP de estos equipos es mayor que la unidad estando normalmente en torno a un valor de 3 a 1 (3 kW de potencia térmica por cada kW consumido de electricidad). Esto se debe a que realmente no están generando calor sino que están absorbiéndolo del entorno y transportándolo. El problema que se

deriva de esto es que esta eficiencia depende en gran medida de la temperatura exterior, y del salto de temperaturas entre el exterior y el interior del habitáculo, de forma que esta eficiencia baja cuando la temperatura exterior baja, que es, precisamente, cuando la demanda de calor en el interior aumenta.

Otro problema que se deriva del funcionamiento de las bombas de calor es que cuando la temperatura exterior desciende por debajo de ciertos límites la temperatura que alcanza el fluido en el evaporador puede ser lo suficientemente baja como para empezar a congelarse. Para evitar este efecto el equipo detiene su funcionamiento o incluso lo invierte durante un tiempo de modo que la eficiencia desciende de forma muy significativa.

Con una inversión inicial algo elevada, estos sistemas se amortizan con el tiempo debido a su bajo coste operativo. Aunque son equipos generalmente de mayor potencia que los termoeléctricos, esta está limitada y para grandes aportes se han de buscar alternativas en equipos de combustión de gas o gasóleo. De todo esto se concluye que estos sistemas son idóneos para calentar instalaciones situadas en zonas templadas donde no se produzcan descensos de las temperaturas muy pronunciados, pero que necesiten un aporte de calor más continuado o de más potencia que la que proporcionar de forma eficiente una instalación termoeléctrica [12] .

2.3.3 Sistemas de combustión de GLP

Los sistemas de calefacción con gas son aquellos que utilizan como la base de la instalación una caldera que por medio de la combustión de un GLP (Gas Licuado del Petróleo) extrae un calor que cede al fluido del circuito en el que se encuentran instalados los radiadores que son los que finalmente transmitirán el calor al entorno.

Existen varios tipos de gases que se pueden utilizar para extraer calor, los más conocidos son:

- Gas natural
- Gasóleo C
- Gas butano
- Gas propano

Son sistemas que requieren una inversión inicial mayor que en el caso de los termoeléctricos, pero menor si se compara con la de los sistemas de aerotermia. El coste de operación también se encuentra entre estos dos sistemas, siendo estos diferentes tipos de combustible más económicos que la electricidad que consume un sistema termoeléctrico, pero más caros que el coste de la electricidad empleada para el funcionamiento de una bomba de calor.

El uso de estas instalaciones de gran potencia no parece muy adecuado para el caso de un contenedor en el que volumen que se desea calentar es muy pequeño. De los únicos casos en los que podría resultar aconsejable una instalación de estas características es en el que las temperaturas exteriores fueran muy bajas o existiera una gran demanda por calentamiento de volúmenes de agua. En cualquier caso para una comparación económica real habría que especificar el tipo de combustible utilizado.

El combustible más barato es el Gas Natural. Las calderas de Gas Natural obtienen mejores rendimientos que las de gasóleo y en España el precio del primero con respecto al segundo es del orden de un 40% más barato. Otro factor diferenciador es que este combustible se obtiene por medio de una red de tuberías de suministro. Mientras que esto no supone un problema en la mayoría de poblaciones dentro del territorio nacional, e incluso puede suponer una ventaja por evitar el almacenamiento particular, en el caso de los contenedores, pensados para ser transportados a zonas remotas y donde se han podido suceder catástrofes, es un problema ya que el acceso a estas tuberías normalmente no será posible. El módulo no podría utilizarse de forma rápida y habría que esperar a contratar el gas de una compañía proveedora y adaptar el sistema del contenedor a la red de suministro local.

El gas propano, gas butano y el gasóleo sí que se prestan a ser almacenados y por ello pueden instalarse en los módulos garantizando la independencia de funcionamiento de los mismos. Resultan por tanto interesantes para la aplicación que se pretende desarrollar. El gasóleo es el combustible que se lleva utilizando más tiempo en España. Sin embargo se está sustituyendo poco a poco ya que el rendimiento es más bajo que el del Gas Natural y las instalaciones son más grandes y voluminosas. Se suelen utilizar para calefactar grandes edificios e instalaciones. Por esto último no resulta atractivo de cara a la búsqueda de un sistema que pudiera utilizarse de forma eficiente en un contenedor, no obstante, es más fácil de adquirir y almacenar que los combustibles gaseosos.

La principal diferencia entre el propano y el butano es el punto de licuefacción. A presión atmosférica el primero permanece en estado gaseoso hasta los -42.2°C mientras que a los -0.5°C el segundo se licua. Teniendo en cuenta que para una combustión óptima el combustible debe encontrarse en estado gaseoso el propano resulta más conveniente para zonas frías y el butano para zonas templadas o interiores.

Otras diferencias reseñables entre estos dos GLP afectan a la autonomía o al poder calorífico. El butano es más denso que el propano por lo que a igualdad de volumen proporciona más autonomía el primero que el segundo. Además el butano tiene un poder calorífico algo mayor: aproximadamente 28300 Kcal/m^3 frente a 22000 Kcal/m^3 . Por otra parte, si los equipos son grandes pueden requerir una presión mínima de trabajo que el gas butano no es capaz de proporcionar cuando el depósito no está lleno completamente. En resumen, para instalaciones pequeñas en climas templados la mejor opción es el butano y para equipos de gran demanda o en zonas más frías el propano es el combustible adecuado.

Otra tecnología dentro de los de sistemas de combustión de gas o gasóleo son los sistemas de cogeneración. Estos equipos, de alta eficiencia energética, producen tanto energía térmica como energía eléctrica a partir de la combustión de gas o gasóleo. El principio de funcionamiento se basa en el aprovechamiento del calor que se deriva de la generación de energía eléctrica para la generación de energía térmica. El aprovechamiento de lo que de otra forma supondrían pérdidas es el principal motivo de la alta eficiencia de estos sistemas.

El combustible que se suele usar en estas calderas es el Gas Natural, en menor medida el gas propano, y de forma menos habitual el gasoil. Los equipos de microcogeneración, de potencias normalmente menores a 50 kW pueden resultar una opción interesante cuando se descarten equipos termoeléctricos y de aerotermia para abastecer la demanda del módulo [15] [16] [17].

2.4 Equipos de refrigeración

La variedad presente en los equipos de refrigeración es menor que entre los equipos de calefacción. La mayoría de ellos se alimentan mediante energía eléctrica y responden al mismo principio de funcionamiento (ciclo de refrigeración por compresión de vapor).

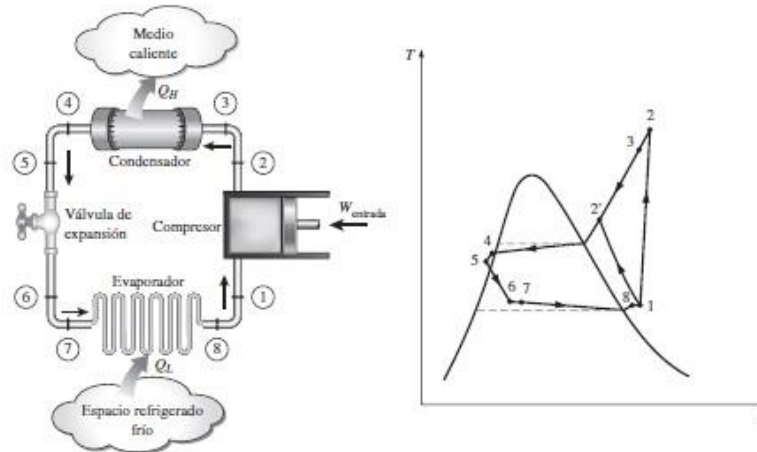


Ilustración 2-10 Diagramas del ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Este ciclo se compone de las siguientes etapas:

- Compresión isentrópica (compresor)
- Cesión de calor a presión constante (condensador)
- Expansión (dispositivo de expansión)
- Absorción de calor a presión constante (evaporador)

Se utiliza como fluido refrigerante un fluido de bajo punto de ebullición. En la primera etapa, el fluido en forma de vapor saturado entra en el compresor, donde es comprimido hasta la presión del condensador. En este proceso la temperatura del fluido aumenta hasta un valor muy superior al del aire del medio que se pretende calentar. En el condensador, este vapor sobrecalentado cede calor pasando al estado de líquido saturado. La temperatura del fluido desciende cuando se estrangula en el dispositivo de expansión. Posteriormente entra como vapor húmedo al evaporador, donde absorbe calor del medio circundante pasando a estado de vapor saturado. El fluido entra de nuevo en el compresor cerrando el ciclo [18]. En atención a la presión de trabajo del compresor del circuito se clasifican los diferentes equipos.

2.4.1 Máquinas frigoríficas

En las máquinas frigoríficas, la potencia del compresor es lo suficientemente elevada como para alcanzar las bajas temperaturas necesarias en el medio que se pretende refrigerar. Se sitúa el evaporador en el interior del habitáculo a refrigerar (interior del contenedor en este caso) y el condensador en el exterior de forma que el calor absorbido en el interior se ceda al ambiente. La demanda eléctrica dependerá del uso y tamaño del compresor del circuito [18] [19].

2.4.2 Acondicionadores de aire

En estos sistemas, la unidad interior se encarga de forzar la entrada de aire en el equipo con la ayuda de un ventilador para de este modo aumentar las renovaciones dentro del mismo equipo climatizando el habitáculo más rápido y aumentando el rendimiento del proceso. Este aire se hace pasar posteriormente por el evaporador (por el que circula el fluido refrigerante absorbiendo calor) y finalmente se devuelve al habitáculo que se desea climatizar. La unidad exterior se encarga de, a través del condensador, ceder al ambiente exterior el calor que ha absorbido el fluido en el evaporador. Este elemento también dispone de un ventilador para una mayor disipación del aire caliente que permita un rendimiento mayor en el proceso. En esta ocasión, la demanda eléctrica también dependerá del uso que se le dé al compresor del equipo, y, en menor medida, a los ventiladores que se encargan de forzar la circulación de aire en los equipos exterior e interior [18] [19].

2.5 Buques de la Armada con capacidad de transporte de contenedores

La Armada tiene, como miembro de las FAS, una importante capacidad para el transporte de ayuda humanitaria a zonas donde se han sucedido catástrofes naturales o donde se están desarrollando conflictos bélicos. La fusión de esta capacidad con el transporte de contenedores marítimos tiene lugar de forma particular en el Buque de Proyección Estratégica (BPE) “Juan Carlos I”.

2.5.1 BPE Juan Carlos I

El “*Juan Carlos I*”, también referido como LHD (*Landing Helicopter Deck*) L-61, se trata del buque insignia de la Armada Española. Se trata del buque guerra de mayores proporciones de la historia de la Armada y el mayor fabricado en astilleros españoles.

Su construcción se inicia en enero del 2005 en el astillero de Navantia, S.L. en Ferrol, tras la firma de la orden de ejecución entre la Armada y Navantia, S.L. 10 meses antes. El buque es construido siguiendo la normativa del “*Lloyd’s Register of Shipping*”. La Armada había expresado la necesidad de un buque con “capacidad de proyección estratégica de las unidades de Infantería de Marina y del Ejército de Tierra” que constituyese además “una plataforma eventual que pueda operar la aviación embarcada”. El nombre recibido por Orden Ministerial 600/16679/06 del Ministro de defensa corresponde al Monarca emérito S.M. Don Juan Carlos I. Finalmente el 30 de septiembre de 2010 el buque es incluido a la Lista Oficial de Buques de la Armada.



Ilustración 2-11 BPE Juan Carlos I [20]

El diseño del buque se realizó en base a 4 perfiles de misión:

- Misiones anfibia: desembarco de tropas y material para apoyo de operaciones en tierra
- Proyección de la fuerza: transporte de personal y material al teatro de operaciones
- Plataforma eventual para la aviación embarcada: en apoyo a los medios aéreos desplegados.
- Operaciones no bélicas: ayuda humanitaria, evacuación de personal, atención sanitaria en zonas afectadas

Para el propósito principal del presente trabajo cobran gran importancia el segundo y cuarto perfiles de misión ya que es en estos casos en los que se contempla el transporte de contenedores de las características que se van a estudiar. Es importante destacar que esta capacidad es una característica de

diseño y no una misión secundaria que se ha buscado introducir *a posteriori*. No obstante la gran versatilidad del buque le permite realizar misiones que encierren operaciones de los cuatro tipos expuestos. Aeronaves, lanchas de desembarco, carros de combate, tropas y contenedores de ayuda humanitaria pueden ser transportados en gran número y al mismo tiempo.

Cuenta con un hospital a bordo que dentro de la clasificación militar OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) se encuadra como Role 2+ y que implica la posibilidad diagnóstico, tratamiento quirúrgico y hospitalización. Este hospital posee 2 quirófanos, unidad de vigilancia intensiva UVI de 8 camas, zona de hospitalización de 14 camas, área de infecciosos de 4 camas, sala de dentista, área de Rayos-X, almacén de medicamentos, laboratorio y sala de consulta. Es decir, antes de tener en cuenta los contenedores que puede transportar y que pueden aumentar estas capacidades, el buque alberga un “hospital básico” que puede ser transportado por vía marítima a prácticamente cualquier puerto alrededor del planeta.

Las dimensiones de la plataforma, (231 metros de eslora, 32 metros de manga y 58 metros de guinda) le otorgan un desplazamiento a plena carga de 26.000 toneladas. Tiene una autonomía de 9000 millas a 15 nudos y una velocidad máxima de 21 nudos. Cuenta con 3 cubiertas principales: cubierta de vuelo, cubierta de cargas ligeras y cubierta de cargas pesadas. En las dos últimas, con una superficie total de 3290 metros cuadrados, tiene capacidad para albergar 144 contenedores TEU (67 en la cubierta de carga ligera y 77 en la cubierta de carga pesada).



Ilustración 2-12 Configuración de carga de contenedores TEU del JCI [20]

Para el manejo de la carga dispone de varios ascensores de 20 y 27,2 toneladas entre las cubiertas de carga, y puentes-grúa en las mismas de 18 toneladas. Para el embarco desde tierra cuenta con una grúa en la cubierta de vuelo de 18 toneladas. Puesto que hablamos de contenedores estandarizados que pueden ser transportados en vehículos por carretera, estos pueden acceder al interior del buque a través de 3 portones, 1 en popa y 2 en el costado de estribor.

Los módulos sobre contenedores que se van a estudiar dispondrán de equipos de calefacción y/o de aire acondicionado y pueden mantenerse en funcionamiento a bordo si fuera necesario mediante tomas de corriente en las diferentes cubiertas. Los equipos de generación de electricidad del barco son dos motores MAN 32/40 y una turbina de gas General Electric LM-2500. Trabajando en conjunto pueden generarse hasta 34.000 kW (que bastarían para alimentar 10.000 hogares de tamaño medio).

En resumen, pese a que hay otros buques con capacidad para transportar un pequeño número de módulos (Buques de Acción marítima, por ejemplo), el BPE “Juan Carlos I” es el buque de la Armada Española con mayor capacidad para albergar contenedores marítimos estandarizados. Tiene además un enorme potencial de transporte de ayuda humanitaria en las bodegas de abordó (cámaras frigoríficas, almacenes de alimentos, pañoles de medicamentos...).

2.6 Software de simulación térmica

2.6.1 *Trnsys*® 17

El *software* de simulación *Trnsys*® 17 (*Transient System Simulation Program*) es la herramienta principal utilizada para el presente trabajo. Se trata de un *software* de simulación de estados transitorios, que, en el caso que nos ocupa, se centra en un sistema térmico, aunque tiene capacidad para realizar otro tipo de simulaciones, tales como procesos biológicos o flujos de tráfico. Comercializado hace 40 años, a día de hoy sigue siendo un *software* de referencia en el estudio de sistemas térmicos.



Ilustración 2-13 Logotipo de *Trnsys*17® [21]

Una de las características del programa es su flexibilidad a la hora de interactuar con gran cantidad de herramientas informáticas. En este caso, *Trnsys*® exportará el modelo gráfico de los contenedores del *software* de CAD *Google SketchUp*®, y del archivo meteorológico del programa *Meteonorm*®.

El funcionamiento de este simulador se basa en el uso de modelos matemáticos para el cálculo de un sistema diseñado previamente por el usuario. Este diseño se fundamenta en un sistema de interacciones en un conjunto de entradas y salidas (*inputs* e *outputs*) determinado. Una vez cargado el volumen de estudio, el operador establece cuáles son los *inputs* del sistema (archivos meteorológicos, cerramientos de la construcción, orientación geográfica, períodos de no ocupación...) y establece una interrelación entre ellos, siendo las salidas de unos, entradas de otros, y viceversa. En base a esto, y a los *outputs* generales que el usuario ha definido por su interés para el estudio (temperatura, calor...) *Trnsys*® realiza la simulación y devuelve los resultados.

El paquete de simulación de *Trnsys*® 17, incluye el *Trnbuild*® 17, utilizado para la definición de las características de los módulos cargados desde el programa de diseño gráfico. Desde el *Trnbuild*® se seleccionan los cerramientos, los diferentes coeficientes aplicables a cada zona térmica, las temperaturas de consigna dentro de las mismas, etc. Es decir, es desde esta herramienta dónde se definen a fondo las peculiaridades de los diferentes módulos que se cargan posteriormente en *Trnsys*®.

Para el estudio realizado se ha optado por esta herramienta por la mencionada versatilidad a la hora de interactuar con los otros programas empleados y por la sencilla interfaz que ofrece, tanto en el diseño del sistema como en la presentación de resultados, que facilita y agiliza el proceso.

2.7 Zonas climáticas de Köppen-Geiger

La división del globo en zonas climáticas fue obra del climatólogo y botánico alemán Wladimir Köppen en 1884. Esta clasificación fue posteriormente revisada por él mismo y por Rudolf Geiger quedando finalmente la división tal y como hoy la conocemos.

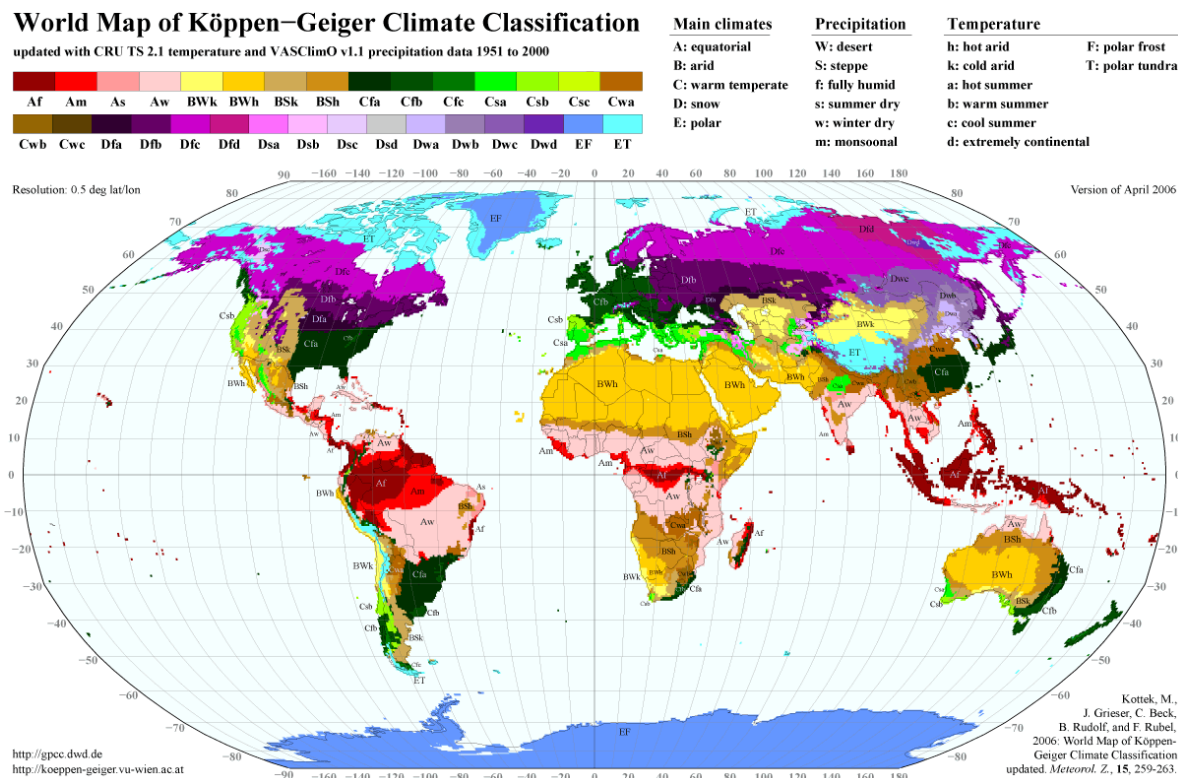


Ilustración 2-14 Clasificación climática de Köppen-Geiger [22]

El principio de esta clasificación reside en la relación existente entre las características fitogeográficas de una región y el clima de la misma. Por ello, para la división de las zonas climáticas se consideran dos factores: la temperatura y las precipitaciones, que se combinan a su vez con los diferentes tipos de vegetación de cada región.

Este sistema divide al mundo en 5 regiones principales en base a: umbrales térmicos, datos límite de temperaturas y, de forma más general, tipos de vegetación. Cada una de estas regiones queda definida con una letra mayúscula. A su vez se crean subgrupos dentro de cada una de estas regiones que quedan referenciados con una segunda letra en minúscula. Estos subgrupos atienden (excepto en la región E) a los datos de las precipitaciones de cada zona. En algunas de las divisiones se añade una tercera letra minúscula que hace referencia a alguna particularidad térmica de esa región en concreto [23] [24].

2.7.1 Región A, clima tropical

Las dos características principales de este clima son una temperatura media en todos los meses superior a 18°C y un volumen de agua que cae en forma de precipitaciones superior al volumen de agua que se evapora. Esto convierte a esta región en una zona con un clima cálido y húmedo. A mayores existen 3 subgrupos dentro de esta clasificación:

- Af (Ecuatorial): Clima cálido y húmedo todo el año.
- Am (Monzónico): Clima cálido todo el año y húmedo en general con una corta estación seca inmediatamente seguida de períodos de fuertes lluvias.
- Aw (Sabana): Clima cálido todo el año y húmedo generalmente con estación seca.

2.7.2 Región B, clima seco

Este clima se caracteriza por unos niveles de precipitación por debajo de unos límites calculados a partir de las temperaturas medias anuales. En esta división se le añaden dos subgrupos. El primero (primera letra minúscula) corresponde al grado de aridez, siendo *w* desértico y *s* estepario, y el

segundo se deriva de las temperaturas medias (h cálido y k frío). Quedan por tanto los siguientes subgrupos:

- Bsh (Estepario cálido): Precipitaciones escasas con inviernos templados y veranos cálidos.
- Bsk (Estepario frío): Precipitaciones escasas con inviernos fríos y veranos templados.
- Bwh (Desértico cálido): Precipitaciones muy escasas con inviernos templados o fríos y veranos muy cálidos.
- Bwk (Desértico frío): Precipitaciones muy escasas con inviernos fríos y veranos cálidos.

2.7.3 Región C, clima templado

La principal peculiaridad de este clima es que la temperatura media del mes más frío se encuentra entre -3°C y 18°C y la del mes más cálido supera los 10°C . De nuevo, dos subgrupos se especifican en base al régimen de lluvias (s , verano seco, w , invierno seco y f húmedo) y a la temperatura en verano (a , subtropical, b , templado y c frío). Esta región queda finalmente clasificada de la siguiente manera:

- Cfb (Marítimo de costa occidental): precipitaciones distribuidas a lo largo del año con inviernos fríos o templados y veranos frescos.
- Cfc (Marítimo subártico): precipitaciones distribuidas a lo largo del año con inviernos y veranos fríos.
- Csa (Mediterráneo): inviernos templados y húmedos, y veranos secos y cálidos.
- Csb (Mediterráneo de veranos frescos): inviernos húmedos y templados, y veranos secos y frescos.
- Cfa (Subtropical húmedo): precipitaciones distribuidas a lo largo del año con inviernos fríos o templados y veranos cálidos.
- Cwa (Subtropical con inviernos secos): inviernos secos y templados y veranos húmedos y cálidos.
- Cwb (Templado con inviernos secos): inviernos secos y templados y veranos húmedos y frescos.

2.7.4 Región D, clima continental

Este clima cumple la premisa de que la temperatura media del mes más frío está siempre por debajo de -3°C y la del mes más cálido es superior a 10°C . Los subgrupos de esta división utilizan las mismas letras de referencia que en la región C. La clasificación de esta región queda:

- Dfa, Dwa y Dsa (Climas continentales de verano cálido): inviernos muy fríos con veranos cálidos.
- Dfb, Dw b y Dsb (Climas continentales de verano fresco): inviernos muy fríos y veranos frescos.
- Dfc y Dwc (Clima continental subártico o boreal): inviernos largos y muy fríos y veranos cortos y fríos.
- Dfd y Dwd (Clima continental subártico con inviernos extremadamente fríos): inviernos extremadamente fríos y veranos cortos aunque algo cálidos.

2.7.5 Región E, clima polar

El clima E es un clima frío y seco en el que las temperaturas medias anuales en ningún caso superan los 10°C . Existen dos divisiones dentro de esta región:

- Et (Tundra): Temperatura del mes más cálido entre 0 y 10°C .
- Eh (Hielo): Temperatura del mes más cálido por debajo de 0°C .

3 METODOLOGÍA

3.1 Plataforma y ubicación de estudio

El primer paso para llevar a cabo el estudio que se ha planteado es la selección de los módulos de servicios. En un principio se piensa en escoger los servicios o aplicaciones para las cuales se iban a enfocar los módulos para, en base a ellas, enfocar el diseño de los cerramientos, mobiliario y demás características del módulo. No obstante, realizar el diseño íntegro partiendo de cero supondría llevar a cabo un estudio que se considera no entra en el campo que pretende abarcar este proyecto y que en todo caso podría ser objeto de análisis en un estudio posterior.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que cuerpos de los diferentes Ejércitos, e incluso unidades de Infantería de Marina dentro de la Armada, ya utilizan módulos de características similares, se considera más interesante utilizar como referencia el diseño de uno de estos contenedores. Se contacta con varias empresas proveedoras para obtener información de los módulos que actualmente el Ejército de Tierra y la Infantería de Marina adquieren ya preparados para diferentes propósitos y misiones. Finalmente se utilizará el catálogo productos que ofrece la empresa suministradora E.M.C. ARPA, S.A.U.



Ilustración 3-1 Empresa suministradora del E.T. [25]

Se contacta del mismo modo con personal de las Fuerzas Armadas con relación con este campo de tal forma que se obtiene el Pliego de Prescripciones Técnicas del Ejército de Tierra para la adquisición de diversos contenedores y módulos de 23 de febrero de 2009 [26]. Este documento se utilizará como referencia en los casos en los que el catálogo de productos del proveedor no recoja datos técnicos necesarios para el diseño del modelo para la simulación.

Para la selección de los elementos de estudio de entre los contenedores disponibles en el catálogo se atiende a dos criterios principalmente: la utilidad y el interés técnico. No se abarcará por ahora el análisis de todas las configuraciones de módulos de servicios necesarias en una situación de emergencia, sino que se optará por tres que, por una parte, resulten útiles en contingencias del tipo de las vividas en Haití tras el terremoto del 2010, o en Indonesia con el maremoto de Sumatra-Andamán, y además tengan usos suficientemente diferenciados entre sí como para que resulte interesante estudiarlos.

Partiendo de estas premisas se seleccionan tres configuraciones de entre las ofrecidas en el catálogo mencionado que servirán como base para diseñar los modelos de estudio: módulo de primeros

auxilios, módulo de duchas y módulo de refrigeración. Los tres comparten las medidas de un contenedor de 20 pies.

3.1.1 Módulo de primeros auxilios

El módulo de primeros auxilios se considera el elemento más básico de entre los que podrían formar parte de un contingente de emergencia. Se trata de un habitáculo diseñado para la atención médica primaria. Cuenta con un equipamiento que otorga al profesional sanitario los medios necesarios para desarrollar su función de manera adecuada. Los elementos fijos o voluminosos de ese equipamiento son los que se tendrán en consideración a la hora de diseñar los parámetros de la simulación térmica.



Ilustración 3-2 Módulo TEU de primeros auxilios de ARPA, S.A.U. [27]

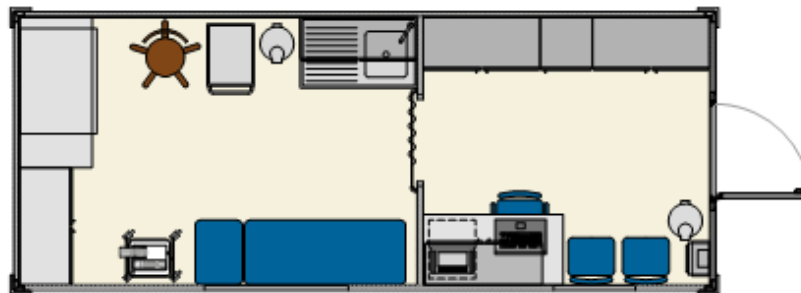


Ilustración 3-3 Disposición interior del módulo de primeros auxilios de ARPA, S.A.U. [27]

3.1.2 Módulo de duchas

El módulo de duchas, aun no siendo de tanta utilidad como el anterior contenedor, puede suponer una ayuda importante a la hora de mantener una higiene que puede ser fundamental para evitar la propagación y contagio de algunas enfermedades. Sin embargo, la elección de esta configuración como uno de los modelos de estudio se debe principalmente a que se considera interesante la diferencia de demandas térmicas que se va a derivar de la necesidad de climatizar el agua de consumo.



Ilustración 3-4 Interior del Módulo TEU de duchas de ARPA, S.A.U. [27]

3.1.3 Módulo de refrigeración

El módulo de refrigeración supone un caso parecido al del módulo de duchas puesto que podría no entrar dentro de lo que se entiende como elementos prioritarios de un despliegue de emergencia, pero sin embargo de la diferencia de temperaturas de trabajo del aire interior de este contenedor van a resultar unos valores de demandas térmicas muy dispares que no tendrán nada que ver con los resultados previsibles de ninguno de los dos anteriores. Aun así no deja de ser remarcable el papel que jugaría este contenedor en el abastecimiento y mantenimiento de alimentos perecederos en despliegues de larga duración.



Ilustración 3-5 Módulo TEU refrigerador de ARPA, S.A.U. [27]

Quedan de esta forma determinadas las tres configuraciones de módulos de servicios en los cuales se basará el diseño de los contenedores que se van a someter a estudio. Es necesario reseñar que pese a que estos elementos se utilizarán como modelos patrón, no todas las características, equipamiento, o materiales que los definen estarán presentes en los módulos que finalmente se someterán a estudio.

3.2 Ubicaciones para la simulación

Para la selección de las ubicaciones de donde se extraerán los datos meteorológicos para la simulación se tienen en cuenta criterios similares a los que se consideraron a la hora de elegir los módulos.

Se eligen las ubicaciones pensando en abarcar de forma lo más amplia posible los diferentes climas de forma que las cargas térmicas sobre los módulos sean también lo más variadas posibles. Para ello se utiliza como base la división de zonas climáticas de Köppen-Geiger. Como se ha explicado anteriormente, esta división establece 5 grandes regiones climáticas en el mundo (A-E), y por ello se escogen 5 ubicaciones, una en cada una de las regiones. Siempre que sea posible se tendrá en cuenta que las localizaciones sean lugares donde, o bien se sucedan con relativa frecuencia catástrofes naturales o se hayan producido recientemente, o bien sean zonas donde unas instalaciones de estas características puedan resultar útiles.

Finalmente se seleccionan las siguientes localizaciones:

- Puerto Príncipe, Haití: ciudad situada en el Caribe (región A), se selecciona por ser una zona de alta probabilidad de terremotos y paso de huracanes.
- Yibuti, Yibuti: ubicación de la zona B, en el Cuerno de África, es una zona en vías de desarrollo, que además sufre unas temperaturas muy extremas que proporcionarán unas cargas térmicas elevadas en la simulación.
- Colonia, Uruguay: Situada en el continente sudamericano se escoge atendiendo únicamente al hecho de que es una localización dentro de la tercera región de Köppen-Geiger (C)
- Yakutsk, Rusia: Localizada en Siberia oriental se elige por ser una de las poblaciones en las que se registran las temperaturas más bajas del La Tierra en la estación invernal. Corresponde a la región D.

- Puerto Williams, Chile: última ubicación, además de ser una de las pocas poblaciones en la región E, resulta interesante por la gran diferencia de horas de luz diarias entre las diferentes estaciones del año que afectará a los resultados de las simulaciones.



Ilustración 3-6 Ubicaciones para la simulación

3.3 Descarga de datos meteorológicos de *Meteonorm*®

Para descargar los archivos meteorológicos de las ubicaciones correspondientes se va a utilizar la base de datos de *Meteonorm*® que ofrece la empresa Meteotest S.L. Se obtendrán archivos que contengan información de temperaturas, horas diarias de luz, radiación y ángulo de incidencia de la misma, y precipitaciones. Con estos datos importados al *software* de simulación se tienen los datos necesarios para recrear el entorno en el que tendrá lugar el estudio de cargas térmicas.

El procedimiento para obtener el archivo meteorológico es el mismo en todos los casos. Se accede a la base de datos *Meteonorm*® para seleccionar las ubicaciones que se han escogido. El programa ofrece varios períodos de datos meteorológicos, de 1961 a 1990 y de 2000 a 2009. En el primer período se interpolan datos obtenidos durante 29 años mientras que en el segundo período hay datos de 9 años de recogidas de información, sin embargo, se seleccionan los datos referentes al último período. La razón de esta decisión radica en que, además de ser 9 años un período suficientemente extenso que genera una muestra de datos significativa, es a partir del siglo XX cuando empiezan a observarse cambios en el comportamiento del clima mundial y un ascenso generalizado de las temperaturas [28]. Estos cambios continúan afectando a los diferentes climas de la Tierra por lo que para la simulación es más preciso elegir la muestra de datos meteorológicos más actual.

El programa ofrece una gran variedad de formatos, sin embargo el que mejor interactúa con el *software* de simulación térmica es el TMY-2 (*Typical Meteorological Year*).

Una interfaz en el mismo *software* que permite a descarga de datos permite visualizar de forma rápido los diferentes parámetros y ayuda a realizar un primer juicio del tipo de clima de la ubicación escogida.

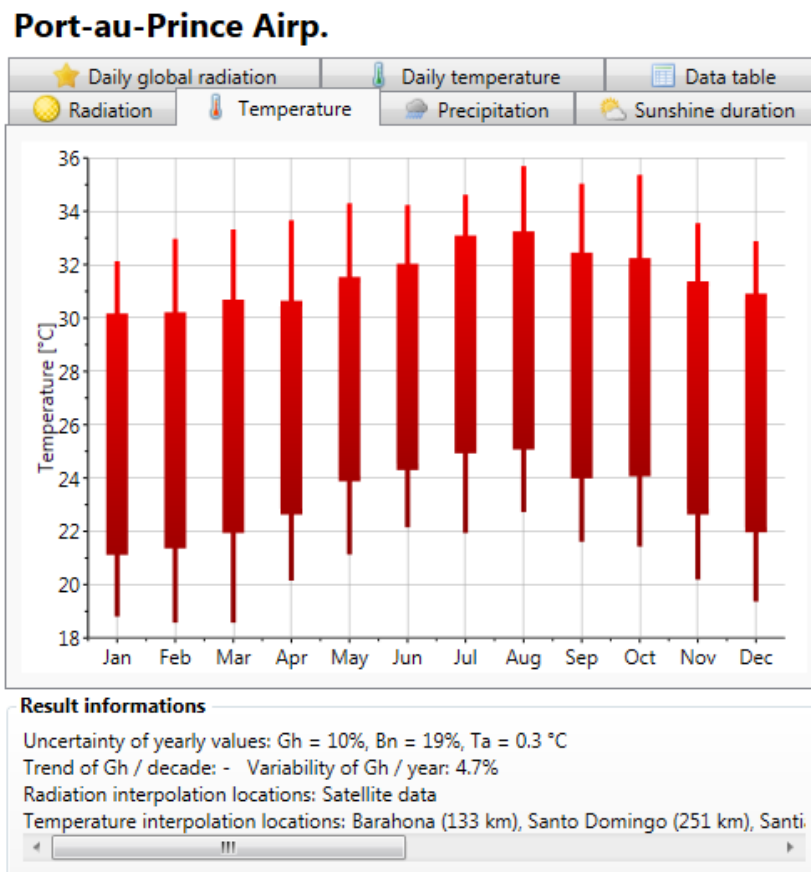


Ilustración 3-7 Datos de salida presentados en *Meteornorm*®

3.4 Diseño del modelo para la simulación

Los contenedores que se utilizan como base para diseñar los módulos de servicios se van a modelar en un *software* de CAD de modo que se puedan exportar al *software* de simulación. Es preciso dar forma al modelo que se va a someter a estudio de forma que el *software* de simulación identifique cada una de las caras de modelo (incluyendo orientación) para la posterior asignación de materiales, espesor y demás parámetros.

Para esto es necesario un programa CAD que sea capaz de comunicarse con el programa de simulación. Por ello, y por la simplicidad del modelo, se escoge el *software Google SketchUp*® que mediante el *plug-in Trnsys 3D*® permite la importación de modelos al programa de simulación.

3.5 Modelización en *Google SketchUp*®

La modelización de los contenedores tiene lugar en la herramienta de CAD *Google SketchUp*®. Es un procedimiento sencillo por la simplicidad de los contenedores. El único aspecto a tener en cuenta, como se detalla a continuación, es la correcta creación de la zona térmica para que la simulación en *Trnsys*® se realice de forma correcta.

El entorno del programa es muy simple y la creación de un nuevo archivo es similar a cualquier otro *software*. La diferencia radica en que, como se ha mencionado anteriormente, el *plug-in Trnsys 3D*®, que hace las veces de “intermediario” entre el programa de modelización y el de simulación térmica, hace que *SketchUp*® guarde dos archivos, el que contiene la información propia del modelo dibujado en el mismo programa, y otro archivo con extensión “.idf”. Este último es el que se exporta al *software* de simulación térmica ya que contiene la información relativa a las zonas térmicas establecidas y su contenido. De este modo, el primer paso a la hora de modelar el contenedor de 20 pies que se va a utilizar en las simulaciones es establecer una nueva zona térmica.

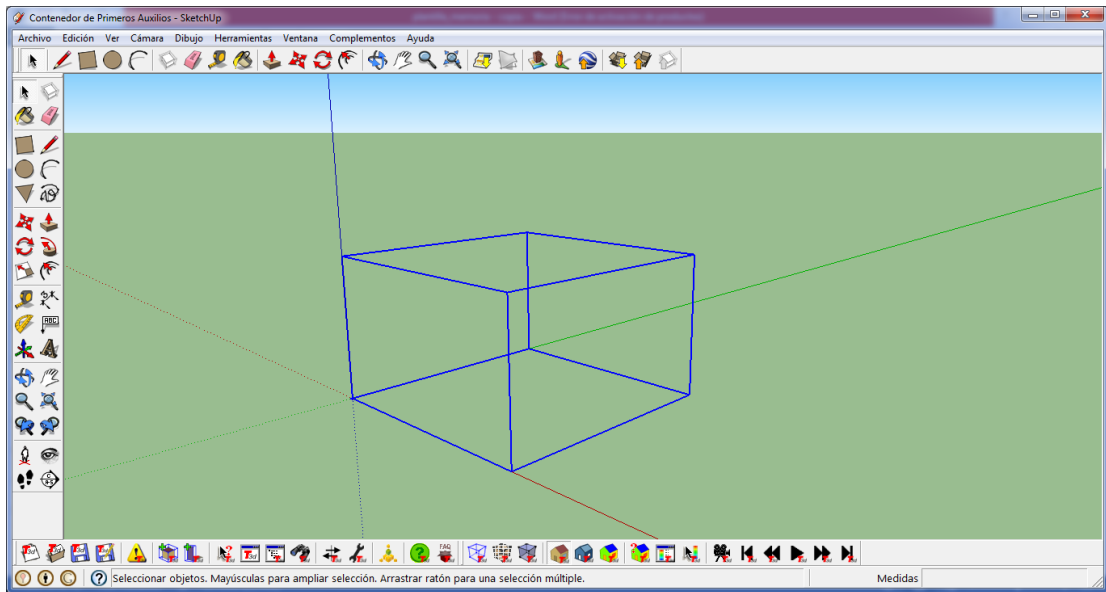


Ilustración 3-8 Zona térmica en Google SketchUp®

En el caso del estudio térmico de contenedores de transporte estandarizados, con un volumen no mayor de 35 m³ y un solo habitáculo sin separaciones, no se van a producir efectos muy dispares en diferentes zonas del volumen interior, por lo que se decide crear una sólo zona térmica que contenga al contenedor por completo.

Para estudios térmicos suele cobrar importancia la orientación del edificio ya que variaciones en esta suponen variaciones en la radiación que incide en las diferentes superficies (paredes, ventanas...) De forma predeterminada en *Google SketchUp®* el eje de color verde corresponde al norte y el eje rojo al este. Esta orientación se podría cambiar posteriormente a la hora de exportar el archivo a *Trnsys®*.

Se entiende que a la hora de situar el contenedor en un despliegue real sí que se tendría en cuenta siempre que se pudiera la orientación del contenedor con objeto de maximizar el aprovechamiento de la energía natural y minimizar el aporte artificial abaratando así los costes. En tal caso se recomendaría orientar los contenedores que se fueran a situar en climas fríos de forma que la ventana reciba la mayor radiación del sol posible, y en climas cálidos de buscando lo contrario. Como es lógico esta orientación cambiará dependiendo de si ubicamos el módulo en el hemisferio norte, en el hemisferio sur, en zonas ecuatoriales o en los polos.

No obstante, debido a las condiciones para las que se diseñan estos módulos, no es posible saber en qué situaciones se van a poder orientar los contenedores de la forma más energéticamente eficiente posible y en que situaciones no va a haber posibilidad de ello. Por esto, y porque además lo módulos no se van a situar en ninguna ubicación concreta de forma permanente, la orientación no va a suponer un factor crítico para la simulación y se van a dejar todos los módulos orientados de forma predeterminada con la pequeña ventana que se aprecia en la Ilustración 3-9 (los módulos que la tengan) en la pared sur del contenedor.

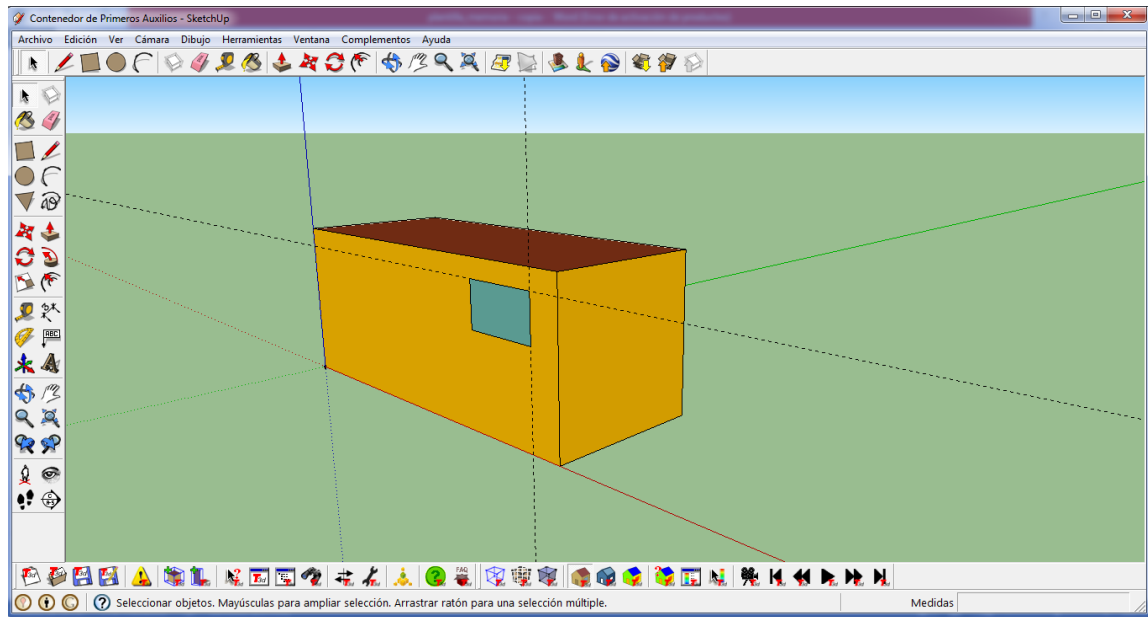


Ilustración 3-9 Modelo de contenedor en Google SketchUp®

Como se puede observar en la Ilustración 3-9 las paredes del contenedor modelado son planas, pese a que las paredes del contenedor que emula tienen un perfil corrugado. Esto se debe a que *Trnsys*® no tiene en cuenta esta ondulación, ya que no afecta a las condiciones de conducción, ni radiación en el programa, y sólo aumenta en un pequeño porcentaje la superficie metálica [29].

El contenido de una zona térmica se puede observar en el cuadro de la Ilustración 3-10. Vienen indicados datos como las superficies que contiene esa zona, las sub-superficies (ventanas), el área del suelo o área total del contorno.

Object Info	
Class:	Zone
Name:	MONOZONA
Surfaces: 6	Sub Surfaces: 1
Unit Floor Area: 14.77 (m ²)	Total Floor Area: 14.77 (m ²)
Total Exterior Surface Area: 69.29 (m ²)	Percent Exterior Glazing: 20.1 %

Ilustración 3-10 Datos del contenido de una zona térmica

Una vez está completado el modelo, se guarda el archivo “.idf” que contiene la información relativa a la zona térmica, que se exportará *Trnbuild*® y posteriormente a *Trnsys*®.

3.6 Diseño de cerramientos

Para el diseño de cerramientos se han tenido en cuenta tres modelos. El contenedor de segunda mano que se utiliza como base [30], el contenedor de ARPA S.A.U. que se utiliza como referencia y el pliego de condiciones del Ejército de Tierra del 23 de febrero de 2009 [26]. Como es lógico, las características de la cubierta exterior del módulo corresponderán a las características de un contenedor estandarizado de 20 pies de segunda mano. A partir de este “esqueleto” se introducen las capas de aislante y demás materiales de forma que se ajuste lo más posible al contenedor que se utiliza como referencia. Al no disponer de datos de ciertas características de estos contenedores se utiliza como elemento de apoyo el pliego de prescripciones técnicas que elaboró el Ejército de tierra en 2009 para la adquisición de módulos de este tipo. Las características de los cerramientos de los módulos de catálogo

de primeros auxilios y de duchas son similares mientras que el módulo de refrigeración presenta algunas diferencias. Con estas premisas como base se procede a explicar le el diseño de los cerramientos en *Trnbuild*®.

3.7 Especificación de cerramientos en *Trnbuild*®

Tal y como se ha expuesto, en *Google SketchUp*® sólo han quedado definidas las dimensiones del contenedor, las superficies que posee a zona térmica, y una primera orientación espacial. Para terminar de introducir las especificaciones se utiliza la aplicación *Trnbuild*® que se incluye en el paquete base de *Trnsys 17*®. Puesto que para acceder al primero se ha de iniciar el segundo (a no ser que se tengan archivos guardados que previamente se han modificado en *Trnbuild*®) y la organización de la metodología tratará de presentarse de manera lo más cronológica posible, se explicarán en el siguiente apartado unos pasos previos para iniciar una simulación *Trnsys 17*® antes de desarrollar la edición de cerramientos y condiciones del modelo.

3.7.1 Pasos previos

El primer paso nada más abrir un nuevo proyecto desde el entorno de *Trnsys 17*® es seleccionar el tipo de simulación, en este caso “*3D Building project (multizone)*”.

En la siguiente ventana (Ilustración 3-11), tal y como se ha mencionado anteriormente, se presenta la posibilidad de reorientar el modelo rotándolo cierto número de grados. En este paso también es dónde normalmente se cargará el fichero de datos meteorológicos sacados de *Meteonorm*®. También se podrá modificar posteriormente el archivo meteorológico para poder cambiar la ubicación de la simulación sin tener que diseñar de nuevo el *layout* o las características del modelo.

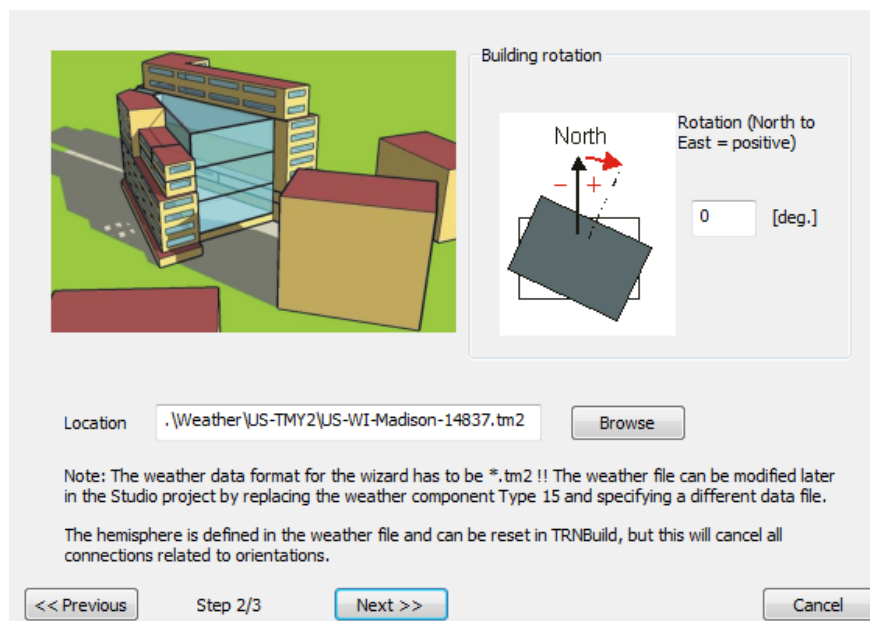


Ilustración 3-11 Segundo paso, selección de archivo meteorológico y orientación del modelo

Por último se carga el archivo “.idf” del modelo que se va a estudiar. Una vez dentro del programa, en el *layout* (sistema de entradas y salidas de datos) que se explicará con más detalle posteriormente, se accede al cuadro de opciones del modelo a través del icono de “*Building*”.

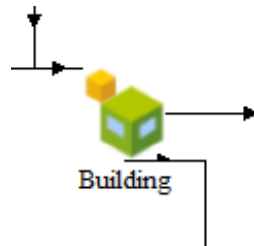


Ilustración 3-12 Icono de “Building” en Trnsys®

Desde la ventana que se abre es posible cambiar el nombre de las salidas que devuelve, abrir un nuevo archivo para realizar una nueva simulación sin empezar a diseñar el *layout* y acceder a *Trnbuild*® (“Edit...”).

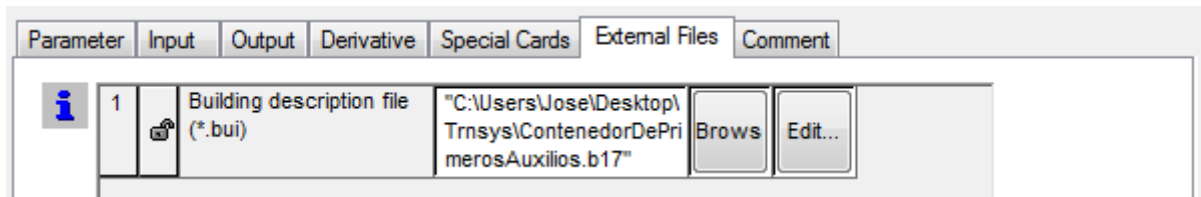


Ilustración 3-13 Acceso al *Trnbuild*®

3.7.2 Cerramientos del módulo de primeros auxilios y de duchas

Para los paneles laterales se decide definir una pared del tipo “sándwich” con una chapa exterior de acero de 1.6mm correspondiente al contenedor de segunda mano, 60 mm de poliuretano proyectado de 45kg/m³ de densidad como material aislante y chapa interior de 0.5mm de acero galvanizado. Sin embargo, la máxima precisión que es posible especificar en *Trnbuild*® son milésimas de metro por lo que para la simulación se utilizan 2 mm de chapa exterior de acero corten, 60 mm de poliuretano proyectado y 1 mm de chapa interior de acero galvanizado.

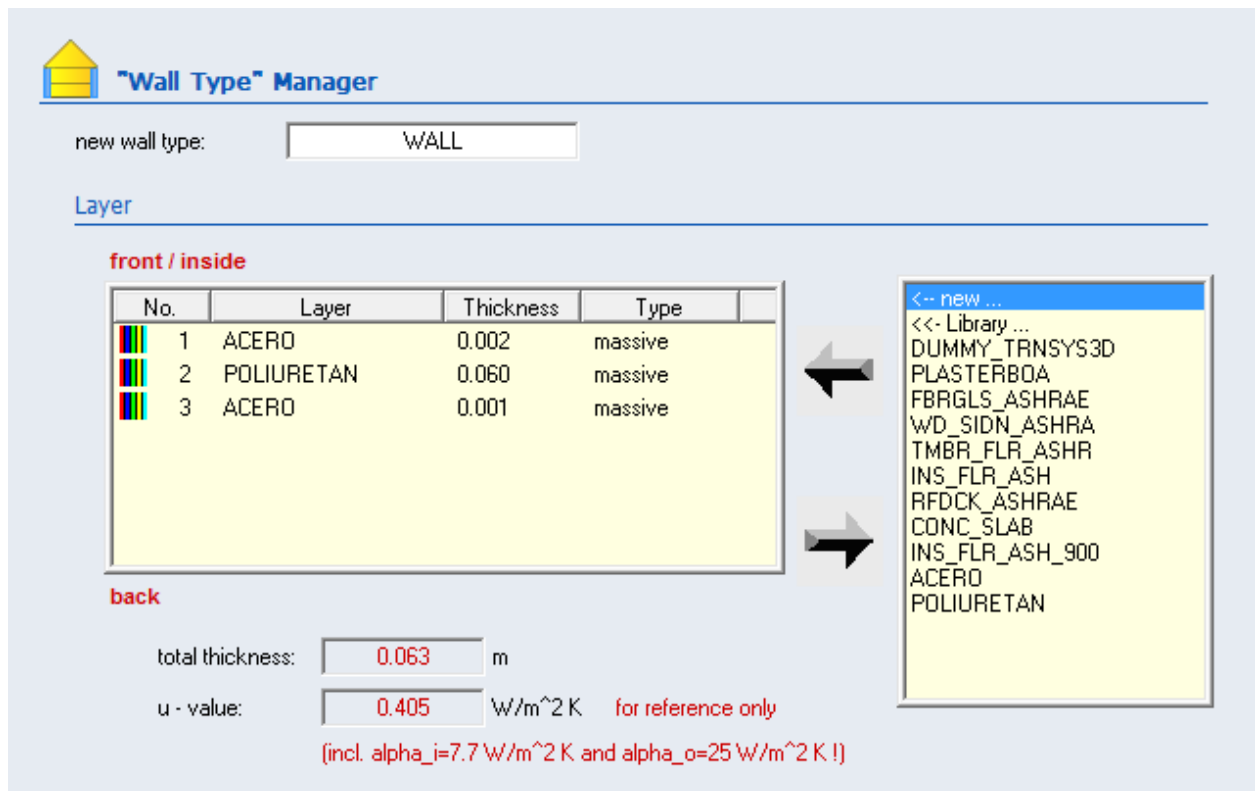


Ilustración 3-14 Cerramiento de paneles laterales de contenedor de primeros auxilios y duchas

El suelo lo forman, de exterior a interior, una capa de acero corten de 3mm, 40mm de poliuretano proyectado de 45kg/m³ de densidad, 24mm de contrachapado de madera de 700 kg/m³ de densidad y una capa final de 2mm de aluminio.

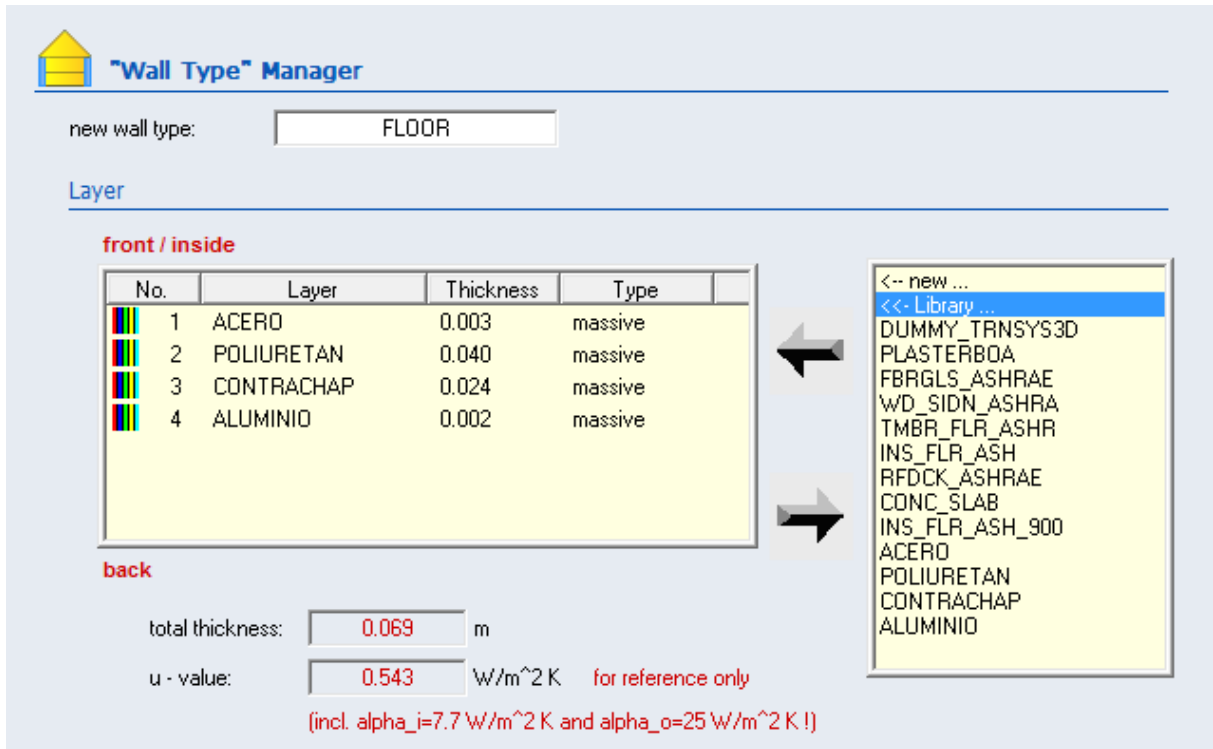


Ilustración 3-15 Cerramientos de panel de suelo de contenedor de primeros auxilios y duchas

La composición del panel de techo es una pared tipo “sandwich” similar a la de los paneles laterales pero con un mayor espesor de capa aislante. La chapa exterior de acero corten tiene 2 mm de espesor, la chapa interior de acero galvanizado 1 mm de espesor y el alma intermedia de poliuretano proyectado de 45kg/m³ de densidad, 80mm de espesor.

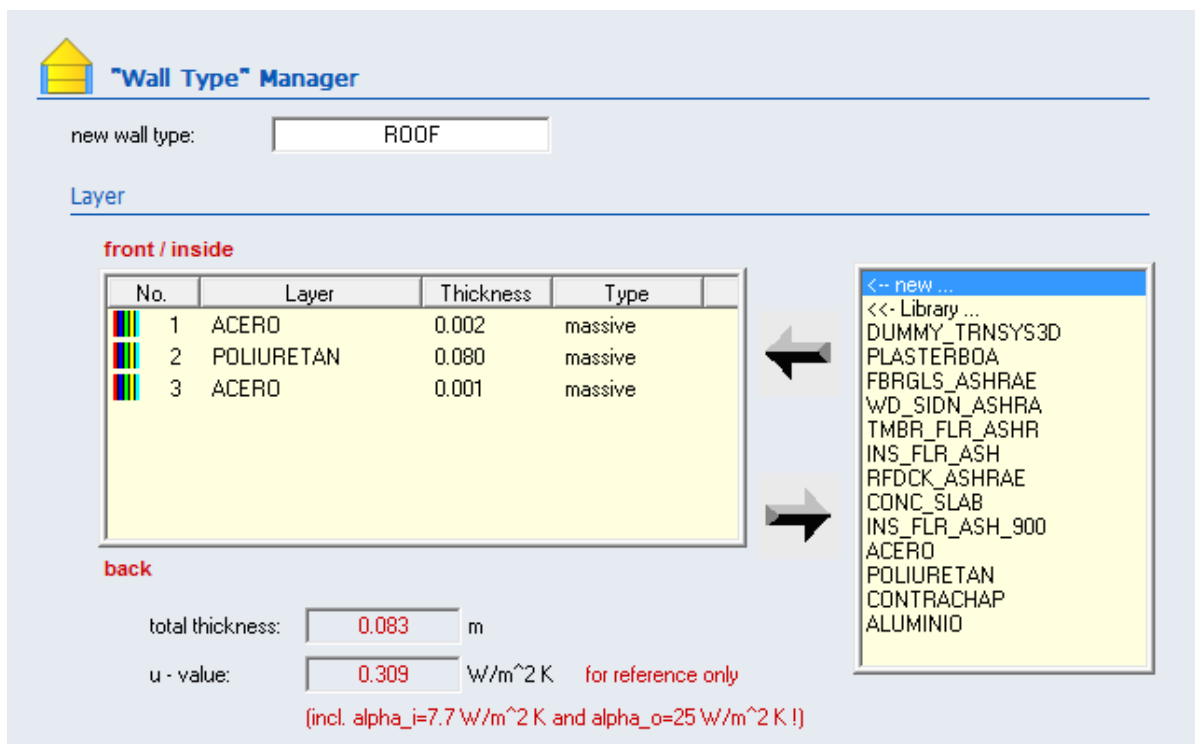


Ilustración 3-16 Cerramientos de panel de techo de contenedor de primeros auxilios y duchas

El módulo cuenta, además, con una ventana de 0.84 m² (1.2m × 0.8m) con un coeficiente de emisividad de 0.9 y un coeficiente de absorptividad de 0.6. El material de la ventana no es importante de cara a la simulación térmica ya que la mayoría de energía que se va a transmitir a través de esta superficie es por radiación.

3.7.3 Cerramientos del módulo de refrigeración

Los cerramientos del módulo de refrigeración son algo diferentes a los de los otros dos contenedores debido al especial régimen de temperaturas en el que va a trabajar. En este caso se exige que el contenedor este mejor aislado en previsión a que estos regímenes sean muy estrechos, e incluso se haya de mantener una temperatura interior lo más constante posible y que además normalmente diferirá en gran medida de la temperatura exterior. El “esqueleto”, sin embargo, sigue siendo el mismo ya que se diseña utilizando como base un contenedor estandarizado de segunda mano cualquiera.

Los paneles laterales y el panel del techo están formados por una primera capa exterior correspondiente a la chapa de acero corten de 1.6mm de espesor que en *Trnbuild*® se redondean a 2mm. La parte intermedia de aislante está formada por un panel tricapa de poliestireno/poliuretano/poliestireno de 95mm de espesor conjunto tal que quedan repartidos quedan 10mm de poliestireno (35 kg/m³ de densidad), 75 de poliuretano (45kg/m³ de densidad) y otros 10mm de poliestireno.

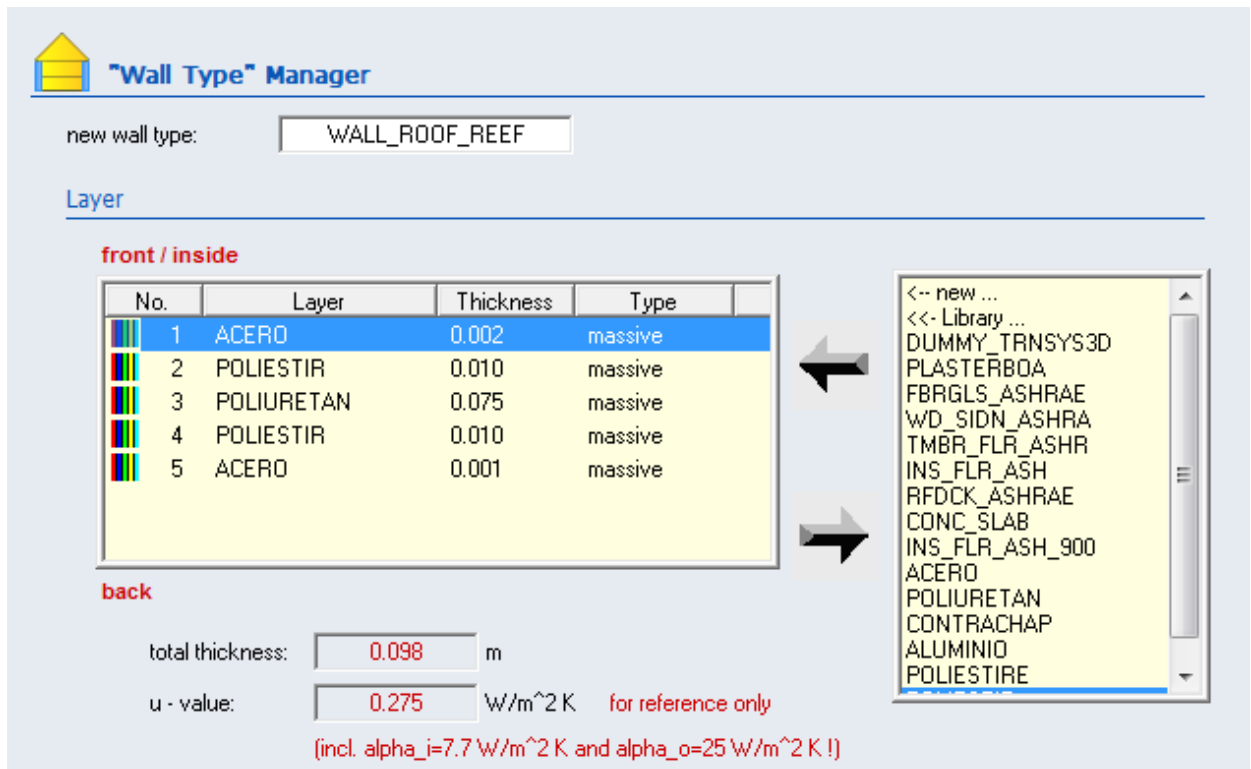


Ilustración 3-17 Cerramientos de paneles de techo y laterales del contenedor refrigerado

Para el suelo la chapa exterior de acero corten posee un espesor de 3mm, la capa de aislante es similar a la del techo y laterales (poliestireno/poliuretano/poliestireno) a la que posteriormente se le añaden tablas de contrachapado (700 kg/m³ de densidad) de 24mm de espesor y por último una capa de 4mm de PRFV (Poliéster reforzado con fibra de vidrio). Este último material al no encontrarse disponible en la librería de *Trnbuild*® se crea especificando los datos de capacidad térmica, conductividad y densidad como se muestra en la Ilustración 3-19.

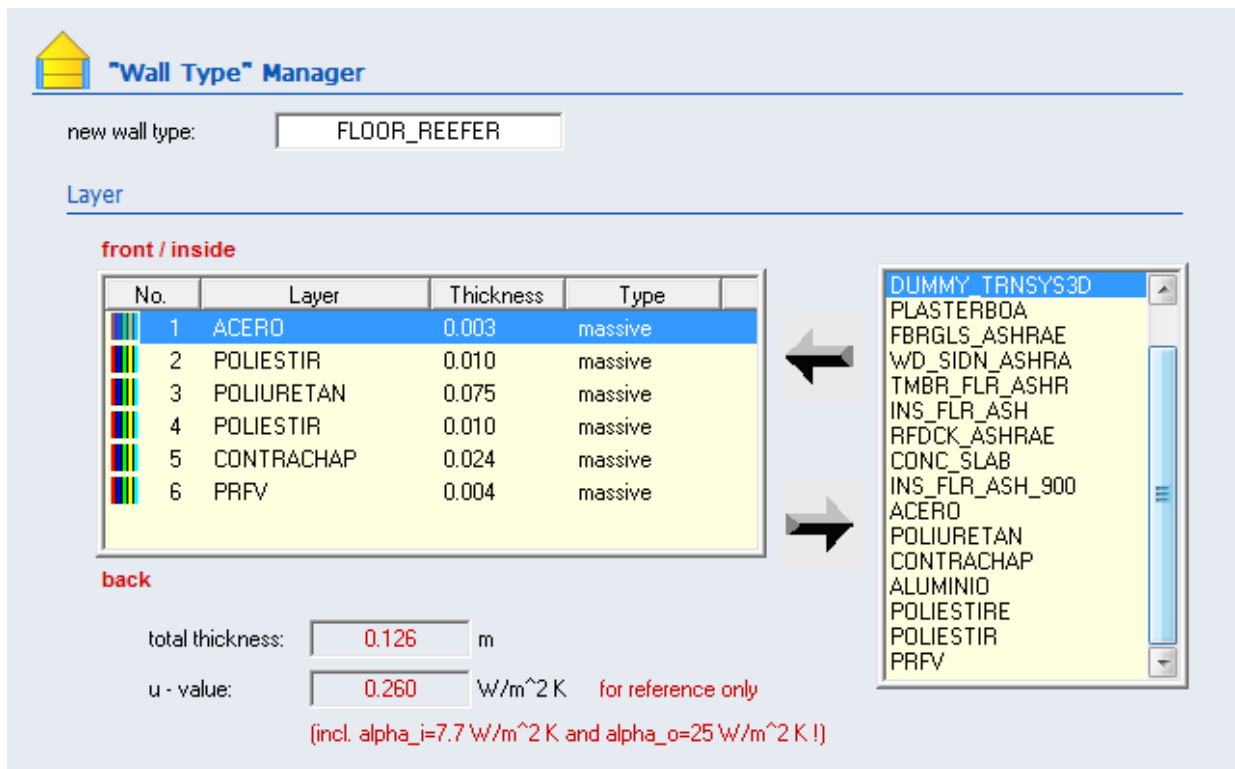


Ilustración 3-18 Cerramientos de los paneles del suelo del contenedor refrigerado

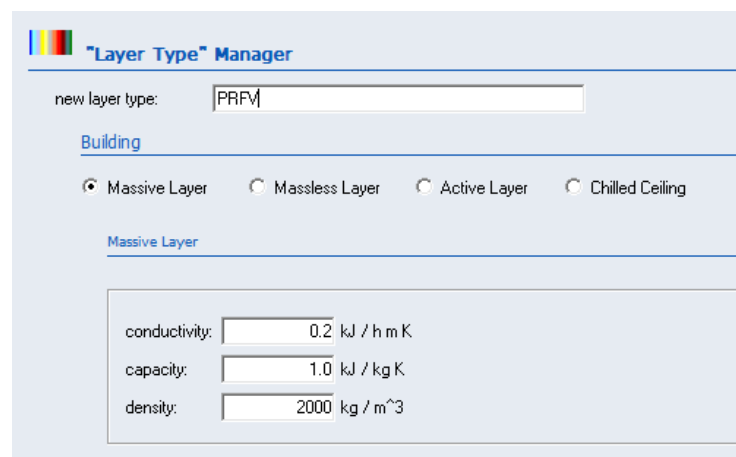


Ilustración 3-19 Características del PRFV

En el caso del contenedor refrigerado como es obvio no se incluye ningún tipo de ventana por lo que realmente se carga un modelo diferente desde *Google SketchUp®* que tenga las mismas dimensiones pero sin ventana.

3.8 Regímenes de temperaturas

Para obtener como resultado de la simulación una demanda de calor es necesario establecer unas temperaturas de consigna que se han de mantener. De este modo, en vez de estudiar cómo afecta la temperatura ambiente a las condiciones en el interior del contenedor, se obtendrán datos de calor que es necesario aportar o retirar para mantener la temperatura interior dentro de un rango según las diferentes ubicaciones. Para la selección de estas temperaturas se utiliza como base la norma UNE-EN ISO 13790 de 2008 que regula las temperaturas de consigna que se han de mantener para mantener un estado de confort térmico en diferentes instalaciones en España.

3.8.1 Regímenes de temperaturas del módulo de primeros auxilios

Para el caso de un Hospital las temperaturas de consigna según la norma española son 22°C y 26°C [31]. Para la simulación del contenedor de primeros auxilios se ha decidido mantener ese margen.

Para configurar estas temperaturas en *Trnbuild*® se define un sistema de calefacción y otro de refrigeración introduciendo al primero la temperatura de 22°C y al segundo la de 26°C. De este modo el sistema de calefacción se pondrá en funcionamiento para mantener 22°C siempre que sea necesario y el equipo de refrigeración actuará para que la temperatura interior no exceda los 25°C cuando en el exterior la temperatura ascienda.

3.8.2 Regímenes de temperaturas del módulo de duchas

En el caso del módulo de duchas se ha escogido la misma temperatura inferior de 22°C, y se ha considerado que no tiene sentido establecer una temperatura máxima y por lo tanto un sistema de refrigeración. Esto es así por varios motivos.

Por una parte, del uso de las duchas con ACS (Agua Caliente Sanitaria) se deduce la necesidad de que el ambiente no esté por debajo de un mínimo para evitar que el usuario experimente un salto de temperaturas elevado, y por otro lado, el uso de las duchas con agua fría no va a requerir que el ambiente se encuentre por debajo de una temperatura mínima ya que en casos en los que la temperatura sea elevada, la misma agua de la ducha sirve para que durante la estancia del usuario en el módulo no experimente excesiva incomodidad por elevadas temperaturas. En cualquier caso, esta incomodidad que tal vez podría aparecer en ciertas situaciones, no se considera un factor importante debido a que el módulo se ha pensado para operar en situaciones de emergencia en las que el pragmatismo es un valor que prima sobre ciertos detalles.

3.8.3 Regímenes de temperaturas del módulo de refrigeración

En el caso del contenedor refrigerador las demandas van a variar en gran medida dependiendo de la temperatura que se desee mantener en el interior. Para una primera simulación se supone una temperatura de -40°C (temperatura mínima del contenedor) para dimensionar el equipo de refrigeración en base a este límite.

Sin embargo, calcular unos datos de consumo reales suponiendo un funcionamiento de -40°C de forma continuada va a dar unos resultados muy por encima de lo podría esperarse que consumiese el módulo. Por ello, se supone una máxima temperatura de trabajo de 10°C para una segunda simulación. De este modo, se dispone de datos suficientes para hallar una media de consumo, consumo en el caso de utilizar el contenedor como congelador, y consumo en caso de utilizarlo como refrigerador. Se definen en *Trnbuild*® dos sistemas de refrigeración con ambas temperaturas para las dos simulaciones.

3.9 Otros parámetros

Para terminar de definir las condiciones de simulación de los módulos se introducen datos de ganancias térmicas, infiltraciones y capacitancia interior de los módulos. En todos los casos, para un correcto dimensionamiento de los equipos de calefacción y refrigeración, se buscará definir los parámetros de forma que correspondan a una situación lo más restrictiva posible dentro de unos márgenes lógicos.

3.9.1 Otros parámetros para el módulo de primeros auxilios

Las ganancias que se tendrán en cuenta en el módulo de primeros auxilios serán las correspondientes a un máximo de 5 y un mínimo de 0 personas siguiente un horario que se introduce como *imput* desde el *layout* de este modelo.

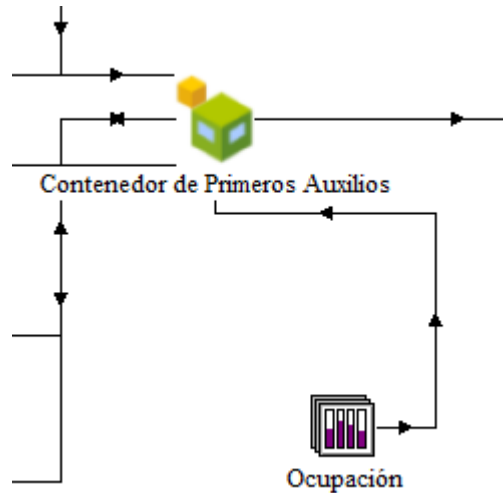


Ilustración 3-20 Datos de ocupación como *input*

El nodo “Ocupación” devuelve como salida los datos de ocupación de personal en base a un horario definido (Ilustración 3-21). Este horario se definió teniendo en cuenta dos turnos de mañana y tarde de modo que las horas de trabajo son las mismas para todos los días de la semana. Debido a la aplicación para la que se diseña este contenedor (emergencias principalmente) se puede deducir que la ocupación puede variar en gran medida ya que realmente el módulo está pensado para utilizarse en los momentos en los que sea preciso. Es decir, podría llegar a tener ocupación cercana a las 24 horas al día. Sin embargo, buscando el caso más restrictivo, en esta simulación se definen unas ganancias por ocupación del personal según el horario especificado en la Ilustración 3-21. Estas ganancias podrían resultar ser inferiores a las que se derivarían de un posible uso continuado de la instalación, pero en rara ocasión, se ha considerado, van a suponer un valor superior a las ganancias de ocupación en un uso real del módulo.

La interfaz de configuración muestra los siguientes parámetros:

- Output File Name (with full path): C:\Tmsys17\Tess Models\Plugins\Sample_516.sl7
- Minimum Value: 0
- Maximum Value: 5
- Number of Intervals: 100
- Seleciones: Weekday, Saturday, Sunday
- AM Hours: Configuración por hora (1-12) con sliders y valores numéricos (0.000 a 5.000).
- PM Hours: Configuración por hora (1-12) con sliders y valores numéricos (4.000 a 0.000).

Ilustración 3-21 Datos de ocupación por horas del módulo de primeros auxilios

En base a los valores máximos y mínimos (0 y 5 personas respectivamente), se genera el horario, que el nodo de “Ocupación” devuelve en forma de función. Esta función de salida se define como la entrada “PERSONAS” en el modelo del contenedor para relacionarla con los valores de ganancias del personal.

Item	Value
1- TAMB	0
2- RELHUMAMB	0
3- TSKY	0
4- TSGRD	0
5- AZEN	0
6- AAZM	0
7- GRDREF	0
8- TGROUND	0
9- TBOUNDARY	0
10- BRIGHT	0
11- SHADE_CLOSE	0
12- SHADE_OPEN	0
13- MAX_ISHADE	0
14- MAX_ESHADE	0
15- EQUIVAL_DUCHAS	0
16- PERSONAS	0

Ilustración 3-22 Output de datos de ocupación como *Input* del modelo

Para asociar la función de ocupación definida, con el dato de ganancias que se va a especificar en *Trnbuild*®, el número de personas que se obtiene del nodo de “Ocupación” a través de dicha función de ocupación se relaciona con el *input* de *Trnbuild*® “PERSONAS”.

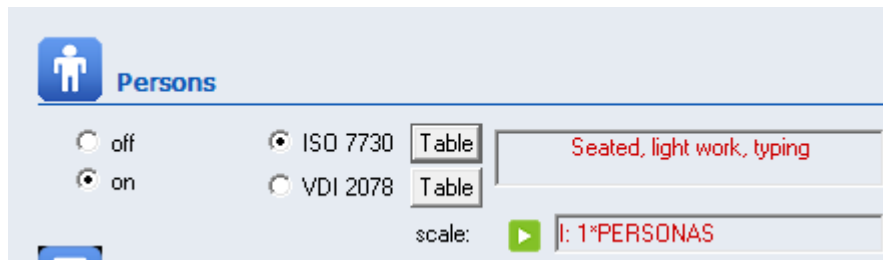


Ilustración 3-23 Ganancias correspondientes al *input* de datos de ocupación

Para especificar los datos de ganancia de cada persona el programa cuenta ya con la tabla de la norma ISO 7730 [32] que regula datos estándar según el nivel de actividad. Atendiendo a una media entre la actividad del personal sanitario y la actividad de los pacientes, se selecciona que el calor que generan los ocupantes del módulo correspondiente al número 4, trabajo ligero.

Rates of Heat Gain from Occupants of Cond

No.	Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adjusted		Sensible Heat		Latent Heat	
			Watts	Btu/h	Watts	Btu/h	Watts	Btu/h
<input type="radio"/> 01	Seated at rest	Theatre, Movie	100	350	60	210	40	140
<input type="radio"/> 02	Seated, very light writing	Office, Hotels, Apts	120	420	65	230	55	190
<input type="radio"/> 03	Seated, eating	Restaurant	170	580	75	255	95	325
<input checked="" type="radio"/> 04	Seated, light work, typing	Office, Hotels, Apts	150	510	75	255	75	255
<input type="radio"/> 05	Standing, light work or working slowly	Retail Store, Bank	185	640	90	315	95	325
<input type="radio"/> 06	light bench work	Factory	230	780	100	345	130	435
<input type="radio"/> 07	walking 1,3 m/s (3 mph) light machine work	Factory	305	1040	100	345	205	695
<input type="radio"/> 08	Bowling	Bowling Alley	280	960	100	345	180	615
<input type="radio"/> 09	moderate dancing	Dance Hall	375	1280	120	405	255	875
<input type="radio"/> 10	Heavy work, lifting Heavy machine work	Factory	470	1600	165	565	300	1035
<input type="radio"/> 11	Heavy work, athletics	Gymnasium	525	1800	185	635	340	1165

Ilustración 3-24 Datos de ganancias según ISO 7730 en Trnbuild®

No se tienen en cuenta ganancias por equipos informáticos ni ganancias por iluminación. Pese a que lógicamente el módulo contará con la iluminación adecuada, en busca de la mayor independencia energética del contenedor (y, de nuevo, el caso más restrictivo) se supone una iluminación de tipo “LED” (*Light-Emitting Diode*) de bajo consumo que no se presentará relevante para la simulación térmica.

El dato de la infiltración es complicado de definir y por ello se recurren a otros estudios térmicos dónde se haya considerado este valor. Finalmente se supone una renovación del 100% de aire cada hora [33].

Para la estimación de la capacitancia térmica del módulo se realizan unos sencillos cálculos en base al material del que está formado el mobiliario que se incorporará al módulo. Se utiliza como referencia el mobiliario del contenedor de primeros auxilios de ARPA S.A.U. Estos cálculos vienen reflejados en el Anexo I adjunto al presente documento. Finalmente se fija para este caso 549.35 kJ/K.

Airnode Regime Data

volume: m³

capacitance: kJ/K

Ilustración 3-25 Volumen y capacitancia térmica del módulo de primeros auxilios

Finalmente el módulo queda correctamente definido por las características de sus cerramientos, temperaturas de consigna en su interior, infiltraciones, ganancias y la capacitancia térmica en el interior. No se tiene en cuenta, en este caso ventilaciones dentro del habitáculo por considerarse que las renovaciones de aire ya proporcionan una calidad de aire suficiente.

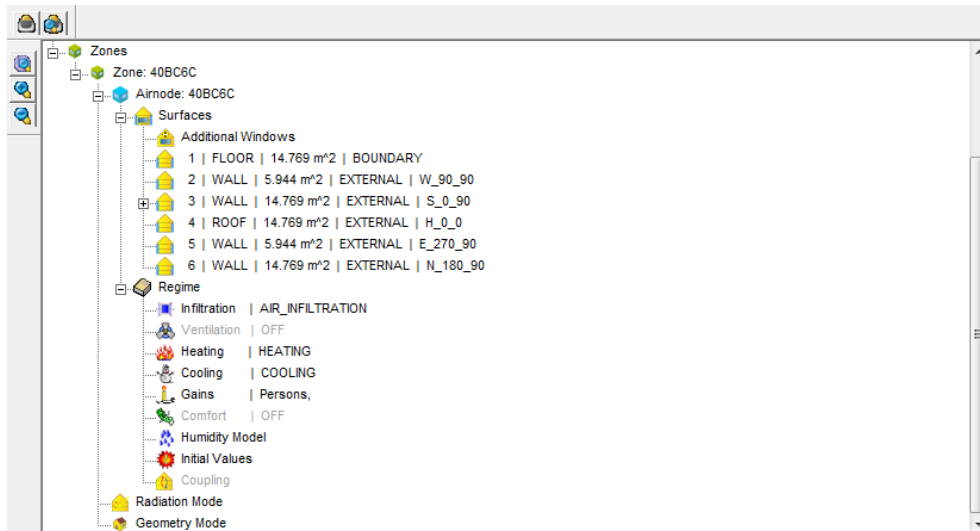


Ilustración 3-26 Módulo de primeros auxilios definido en *Trnbuild*®

3.9.2 Otros parámetros para el módulo de duchas

En el módulo de duchas, además de las ganancias por ocupación, se tendrá en cuenta que el agua caliente de las duchas genera del mismo modo una cesión de calor al medio. Por otra parte debido al aumento de humedad que genera el uso de las duchas se aumentará la ventilación de aire forzada durante los períodos en los que esta se utilice. Para esto se crean 3 *inputs* en el *layout*, los tres que devuelvan una función, la primera con valores de ocupación, la segunda con valores de ganancia por agua caliente de las duchas, y la tercera con valores de ventilación.

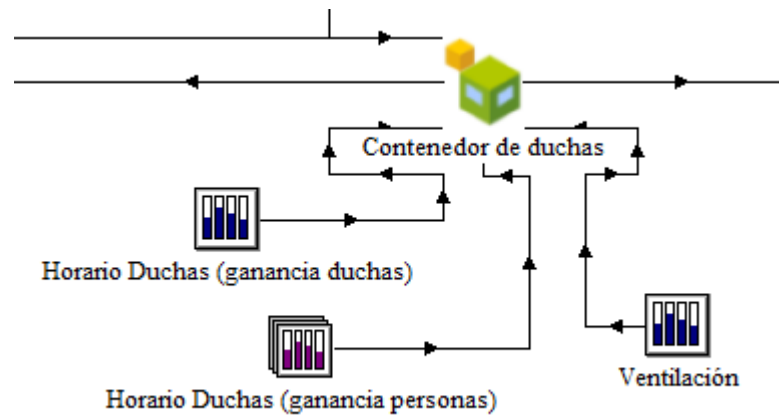


Ilustración 3-27 *Inputs* de ventilación, ganancias por ocupación y ganancias por agua caliente

La ganancia debida a la ocupación del módulo se calcula de forma similar al anterior módulo. En este caso el horario corresponde a 3 turnos de duchas de 1 hora cada uno a las 06:00, 13:00 y 20:00 (Ilustración 3-28). El horario es el mismo para todos los días de la semana. La ocupación máxima, ya que el módulo dispone de 8 duchas, es de 8 personas. Esto implica que, suponiendo que las personas en el interior del módulo invierten 5 minutos en ducharse y 5 minutos en mudarse de ropa, de forma que no se vacían las duchas hasta que cada usuario ha finalizado estos 10 minutos, este contenedor ofrece servicio a 144 personas cada día. Pese a que estos datos son difíciles de estimar debido a las situaciones poco previsibles para las que se diseñan estos módulos, se comparan con los de un módulo similar en el despliegue español en Afganistán en la base de Herat. En este caso un módulo de duchas daba servicio alrededor de 80 personas al día que se duchaban dos veces, por lo que proporcionaba 160 duchas diarias. Se considera por tanto que el dato estimado es suficientemente preciso para la simulación.

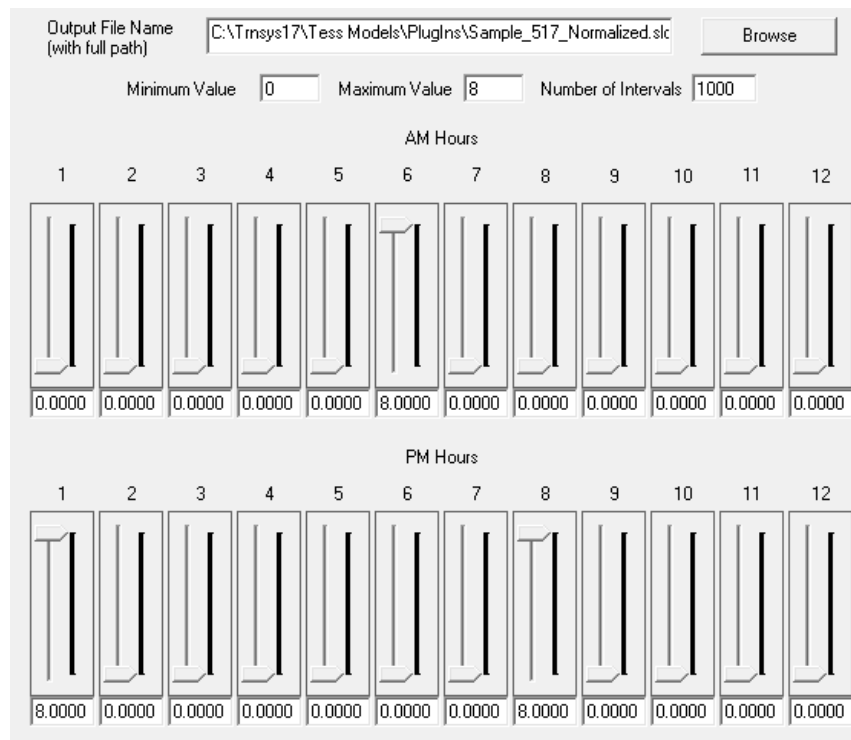


Ilustración 3-28 Datos de ocupación por horas del módulo de duchas

Se genera un *input* en el modelo en *Trnbuild*® y se relaciona con la salida de este nodo. Se define el calor que desprende cada persona utilizando el mismo *type* que en el anterior modelo pero con el horario actual (Ilustración 3-23). Se utilizan los mismos valores (150W por persona) de la tabla de la norma ISO 7730 [32] debido a que aunque la actividad que los ocupantes van a llevar a cabo podría ser más sedentaria que en el caso del contenedor de primeros auxilios, se va a ver compensada por el hecho de que en la inmensa mayoría de los casos la ducha se va a realizar con ACS que elevará la temperatura corporal de los ocupantes.

El agua caliente de las duchas supone además una fuente calor para el aire en el interior del contenedor. La potencia de calor que transmite resulta extremadamente complicada de calcular ya que tendrían que tenerse en cuenta datos como el tamaño de las gotas de agua (superficie de contacto con el aire), cantidad de agua que se evapora (que eleva la temperatura del aire, pero también consume calor para el proceso de evaporación) o diferencia de temperaturas entre la salida del chorro hasta el desagüe por el sumidero. Se tiene en cuenta también que el ventilador que se va a instalar va a aumentar la tasa de renovación de aire cuando las duchas estén en funcionamiento de modo que la subida de temperatura en ningún caso va a ser excesivamente notable.

En base a lo anteriormente expuesto se decide realizar una aproximación, se llevan a cabo una serie de tomas de datos experimentales. Se pone en funcionamiento una ducha con ACS durante 6 minutos y se cierran las puertas del cuarto de baño para crear un volumen de control con el menor número de infiltraciones posibles. Se realizan 4 mediciones separadas en el tiempo de modo que a la temperatura del cuarto de baño le dé tiempo a volver a igualarse con la del resto de la estancia. Se obtiene una media de la variación de temperatura del volumen de aire. Conocido el valor de ese volumen, la densidad del aire para cierta temperatura, la humedad y el calor específico del aire es posible calcular la potencia de calor que transmite la ducha al ambiente. Se obtiene un valor de 0.12 kW.

Con estos valores se genera una función de salida con el nodo “Horario Duchas (ganancia duchas)” tal que el máximo valor de ganancia sea 0.12 kW en los momentos en los que se esté haciendo uso del contenedor. Se genera el *input* “DUCHAS” en *Trnbuild*® y se relaciona con la salida de dicha función.

Como se ha mencionado anteriormente, a este contenedor se le supondrá ventilación forzada de aire durante el uso de las duchas ya que, aunque no se está realizando un estudio de la humedad interior, el aumento de esta se produciría de manera real y un ventilador va a paliar este efecto. Ese ventilador tiene mucha repercusión en la simulación térmica ya que aumenta enormemente las renovaciones de aire por hora. Para el cálculo de este dato se supone un caudal de 84.95 m³ / h por cada cabeza de ducha [34] [35] que comparándolo con el volumen del contenedor (36.01m³) supone 18.9 renovaciones del volumen de aire por hora. Este dato se define como el máximo valor en una función similar a la usada en el caso de las ganancias. Se hace uso del mismo horario de utilización y de este modo se simula que el ventilador se pone en funcionamiento en el momento en el que se hace uso de las duchas. Se simula también que el ventilador se queda encendido funcionando al mismo régimen durante un período de 20 minutos tras la finalización del uso de las duchas del módulo. Para ello se le asigna un valor del 20% del máximo a la siguiente hora tras la finalización del período de duchas.

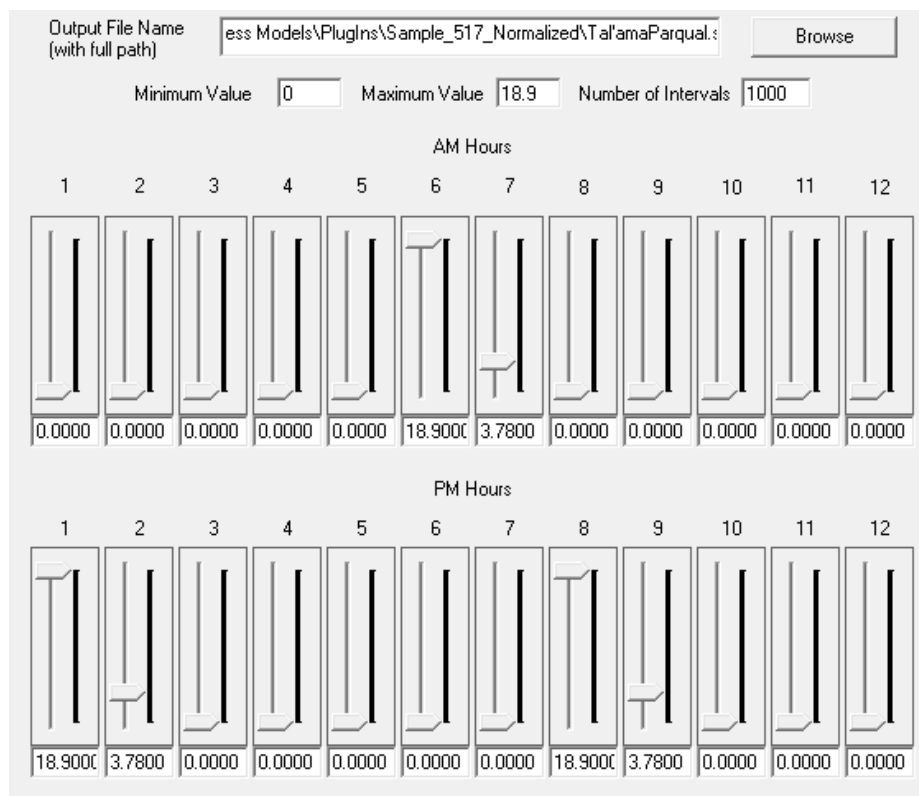


Ilustración 3-29 Datos de renovaciones por hora de ventilación forzada del módulo de duchas

De nuevo, se genera un *input* en *Trnbuild*® (“VENTILACIÓN”) que se relaciona con la salida de la función que genera el nodo con los datos de la Ilustración 3-29. Finalmente se establece que el caudal de la ventilación viene dado por este *input*.

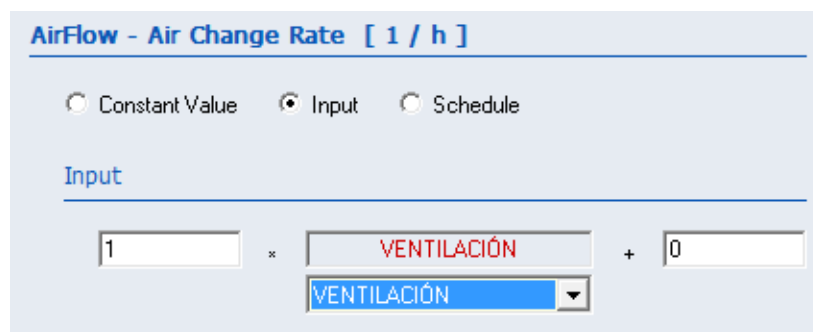
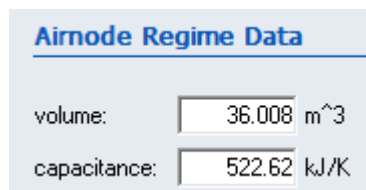


Ilustración 3-30 Caudal de ventilación forzada correspondiente al *input* de ventilación

Para el valor de las infiltraciones se supone el mismo valor de una renovación por hora que se utilizaba en el contenedor de primeros auxilios [33].

Para el valor de la capacitancia, igual que en el anterior modelo, se utiliza como referencia el valor del mobiliario del contenedor de duchas que ofrece ARPA S.A.U. Los cálculos vienen detallados en anexo I al final del documento. Finalmente se fija la capacitancia térmica del módulo de duchas en 522.62 kJ/K.



Airnode Regime Data	
volume:	36.008 m ³
capacitance:	522.62 kJ/K

Ilustración 3-31 Volumen y capacitancia térmica del módulo de duchas

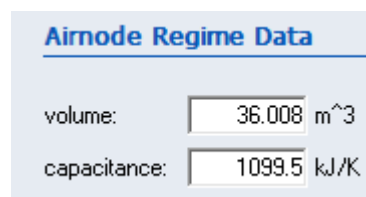
Finalmente queda el módulo definido por cerramientos, temperaturas de consigna, ganancias por ocupación, ganancias por uso de ACS, ventilación e infiltraciones y capacitancia.

3.9.3 Otros parámetros para el módulo de refrigeración

Para el contenedor refrigerador no se van a establecer ganancias térmicas de ningún tipo ya que se entiende que la luz normalmente se encontrará apagada y tan sólo se encenderá cuando se acceda al interior que serán contadas veces a lo largo de un día (además de ser del tipo LED como en los anteriores casos). No se incluyen aparatos electrónicos ni personas en el interior que puedan suponer una fuente de calor.

Para las infiltraciones se entiende que el valor definido en los anteriores contenedores de 1 renovación por hora es demasiado elevado. Teniendo en cuenta que al módulo refrigerado se accederá en contadas ocasiones se realiza la siguiente suposición: primeramente se elige un valor de renovación de un 5% de volumen total cada hora. Esto implica una renovación del 120% del volumen total cada día, que es, a su vez, el valor aproximado de una media ponderada entre un día normal en el que sólo se entre al contenedor a recoger alimentos una o dos veces (4 de cada 7 días en los que se supone la renovación del 50% de aire), y otro día en el que se realiza carga de víveres en el contenedor (3 de cada 7 días en los que se supone una renovación del 300% del aire en el día)

Para la estimación de la capacitancia térmica del módulo, los cálculos realizados son similares a los realizados en los anteriores casos. En este caso se entiende que además del mobiliario presente en el contenedor, los alimentos que se depositan continuamente a una temperatura mayor a la temperatura interior van a suponer una fuente importante de calor que se va a extraer de los alimentos mismos para congelarlos. Es por ello que al dato obtenido en los cálculos que vienen reflejados en el Anexo I adjunto al presente documento se le aplica un aumento del 200%. Se fija por tanto un valor de 1099.50 kJ/K.



Airnode Regime Data	
volume:	36.008 m ³
capacitance:	1099.5 kJ/K

Ilustración 3-32 Volumen y capacitancia térmica del módulo de refrigeración

En este módulo no se tendrán en cuenta ventilaciones forzadas quedando finalmente caracterizado por los cerramientos, temperaturas de trabajo, infiltraciones y capacitancia térmica.

3.10 Simulación térmica en *Trnsys*®

3.10.1 Condiciones para la simulación

De vuelta al entorno de *Trnsys*® se van a definir las últimas condiciones para llevar a cabo la simulación. En este caso estos parámetros son coincidentes para los tres módulos. La ventana de tiempo de la simulación será de un año (8760 horas) a intervalos de 1 hora.




		Name	Value	Unit	More
1		Simulation start time	0	hr	More...
2		Simulation stop time	8760	hr	More...
3		Simulation time step	1	hr	More...

Ilustración 3-33 Ventana e intervalos de tiempo de la simulación

Para cargar el fichero de datos meteorológicos (si no se ha cargado ya al iniciar el programa), se accede al icono “*Weather data*” del *Layout* general y se carga directamente el archivo que se obtuvo de *Meteonorm*®.

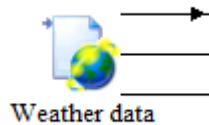


Ilustración 3-34 Icono de “*Weather data*” en *Trnsys*®

3.10.2 *Layout* del módulo de primeros auxilios

El sistema de entradas y salidas del módulo de primeros auxilios (Ilustración 3-35), como en los otros dos casos, se basa principalmente en la comunicación entre los nodos del contenedor y los datos meteorológicos. Se añaden, además, como *input* “dinámico” el de datos de ocupación tal y como se ha explicado en la sección anterior.

Se incluyen además unos *types* preparados para tener la posibilidad de realizar modificaciones en la orientación (“*AzimuthAngles*”), modificaciones en la radiación que reciben las superficies (“*Radiation*”) y otras modificaciones como, por ejemplo, poner zonas de sombra permanente en el modelo (“*Wizard settings*”).

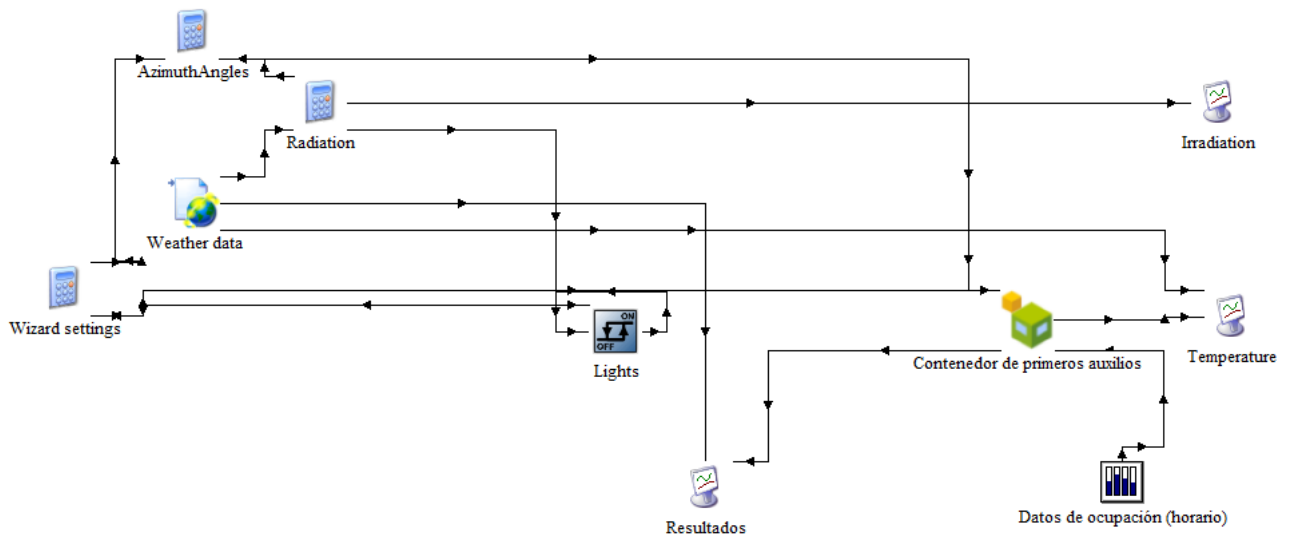


Ilustración 3-35 *Layout* de módulo de primeros auxilios

Los datos meteorológicos actúan como entrada principal de datos. Generan salidas de temperatura, humedad, posición del sol en cada momento (ángulo de incidencia sobre las superficies), horas de iluminación y sombras que, junto con las características del modelo (cerramientos, orientación geográfica y régimen de trabajo), forman las entradas de la simulación. El dato que esta va a devolver es el calor que es necesario añadir o retirar (en kJ/hr) para mantener temperaturas de consigna en el interior del contenedor. Para el estudio de los equipos que atiendan a la demanda energética calculada es más cómodo trabajar en kW y kWh que son las unidades con las que trabajan los proveedores y fabricantes de estos sistemas. Sin embargo la conversión de unidades se realizará en el *Excel®* de interpretación de resultados que se explicará más adelante.

Se obtienen como resultados por tanto este calor necesario, temperatura interior del módulo (que variará entre el rango de temperaturas establecido) y se añade además una relación entre el nodo de datos meteorológicos y el de resultados para obtener salida de datos de la temperatura ambiente. Estos datos se presentan en un documento “.txt” que será el que se va a importar a la hoja de cálculo de *Excel®*.

Los nodos de presentación de resultados “*Irradiation*” y “*Temperature*” presentan estos datos de forma visual en una ventana de representación de gráficos al acabar la simulación y permiten un juicio rápido de la coherencia de los resultados antes de incluirlos en la hoja de cálculo.

3.10.3 Layout del módulo de duchas

Para la simulación del módulo de duchas la única característica que difiere con el *layout* del anterior modelo, es que se añaden dos nodos más que generarán dos *inputs* nuevos: Las ganancias por la utilización de agua ACS, y el sistema de ventilación que sigue el horario de funcionamiento de las duchas.

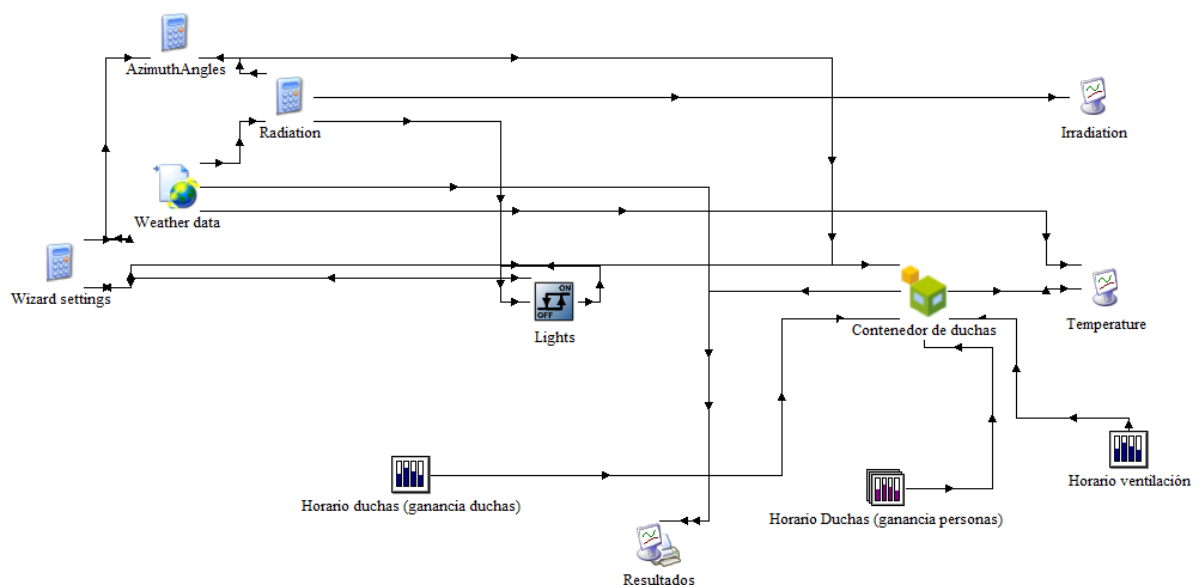


Ilustración 3-36 Layout de módulo de duchas

3.10.4 Layout del módulo de refrigeración

Para este contenedor el sistema de entradas y salidas es el más sencillo puesto que no se le incluyen datos de ocupación, ni ganancias en forma de *inputs* ni ventilación. Queda una simulación como la llevada a cabo en el módulo de primeros auxilios pero que en este caso sólo contempla como entradas características del módulo y los datos meteorológicos

Como se ha explicado en el apartado 3.8.3, se van a llevar a cabo 2 simulaciones. En la primera se utiliza una temperatura de consigna constante de -40°C para obtener los datos necesarios para dimensionar el equipo de refrigeración y los datos de consumo máximos. La segunda simulación se

lleva a cabo para una temperatura interior, también constante, de -10°C . Con esto se busca obtener datos de consumo mínimos y disponer de datos suficientes para realizar una estimación de consumo para diferentes temperaturas de trabajo.

3.11 Exportación de datos a *Microsoft Excel*®

Para facilitar la correcta interpretación del resultado, y obtener los datos necesarios para el estudio de los equipos que atiendan adecuadamente la demanda energética resultante, se diseña una hoja de cálculo que permita interpretar los datos importados de *Trnsys*® desde el archivo de texto “.txt” que se obtiene como salida de la simulación. Esta plantilla mostrará los resultados de forma no sólo gráfica, sino también en forma de tabla, reseñando máximos y mínimos, demandas energéticas mensuales, y otros datos que se consideran importantes. El diseño de esta hoja de cálculo se detalla en el Anexo II adjunto al presente documento.

4 RESULTADOS

4.1 Módulo de primeros auxilios

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la simulación de necesidades térmicas del módulo de primeros auxilios (apartados 3.7.2, 3.8.1, 3.9.1, 3.10.1 y 3.10.2) en cada una de las ubicaciones escogidas (apartado 3.2)

Para el módulo de primeros auxilios se estudian tanto demanda de calor como de frío, ya que se ha establecido un rango de temperaturas (22°C-26°C) de temperatura interior. En los siguientes apartados, se presentaran tablas de resultados agrupados en meses que exponen: las potencias máximas de calor y de frío, día y hora en la que tuvo lugar ese pico, así como demandas de energía en ambos casos. Se presentan, del mismo modo, gráficas que aportan información visual acerca de los datos de consumos anuales de frío y calor separado por meses.

4.1.1 Puerto Príncipe, Haití (zona A)

Tabla de resultados de demanda de calor de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Puerto Príncipe:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	21.46	18.85	410	14-ene.	7:00
2	17.33	18.65	290	9-feb.	7:00
3	16.71	18.75	280	4-mar.	7:00
4	12.23	20.20	240	4-abr.	6:00
5	5.77	21.15	210	1-may.	6:00
6	3.67	22.20	160	27-jun.	6:00
7	1.45	21.95	160	15-jul.	6:00
8	1.09	22.70	120	5-ago.	6:00
9	5.33	21.65	210	9-sep.	6:00
10	5.67	21.45	210	26-oct.	6:00
11	15.41	20.30	260	4-nov.	6:00
12	16.90	19.45	270	26-dic.	7:00

Tabla 4-1 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Puerto Príncipe

Se aprecia un valor máximo de demanda de calor de 410 W que corresponde a la potencia mínima necesaria de un equipo de calefacción que cubra completamente las necesidades energéticas del

contenedor. Este valor supone un pico muy elevado en comparación con de los valores máximos del resto de meses.

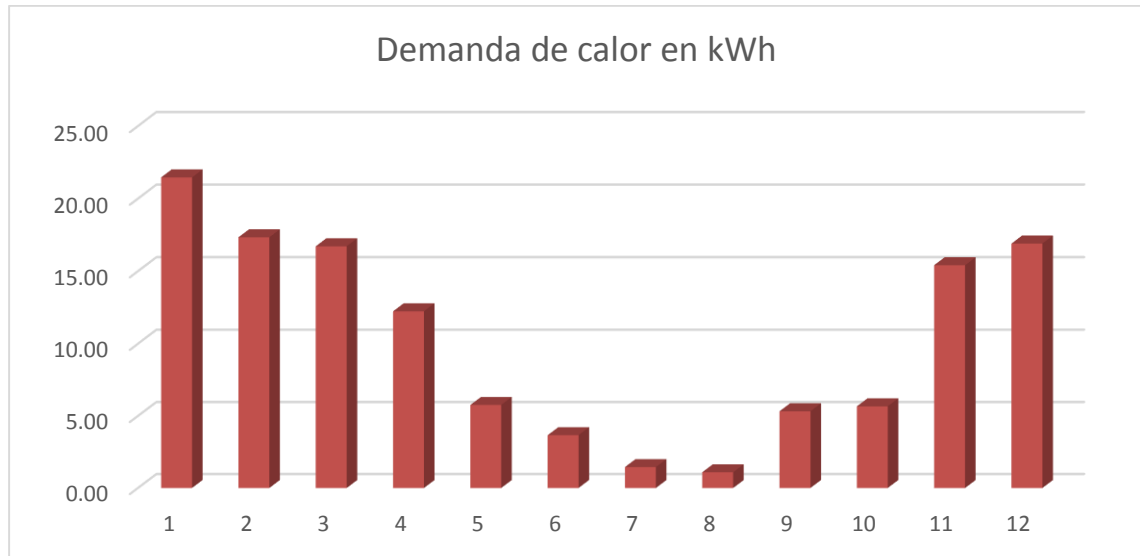


Tabla 4-2 Consumo mensual de calor en kWh en Puerto Príncipe

Debido a las altas temperaturas en esta ubicación, el consumo anual en calefacción se sitúa en 123.12 kWh, valor muy bajo, especialmente comparado con el consumo que va a suponer el sistema refrigeración.

Tabla de resultados de demanda de frío de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Puerto Príncipe:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	103.19	32.05	690	21-ene.	15:00
2	96.62	32.85	700	17-feb.	16:00
3	107.81	33.20	700	27-mar.	16:00
4	111.51	33.65	700	11-abr.	13:00
5	128.51	34.05	720	20-may.	16:00
6	148.85	34.15	740	21-jun.	16:00
7	159.05	34.55	740	8-jul.	16:00
8	148.40	35.60	740	31-ago.	12:00
9	131.28	34.95	740	23-sep.	15:00
10	130.95	35.30	760	10-oct.	16:00
11	118.87	33.55	710	4-nov.	15:00
12	108.27	32.75	690	14-dic.	16:00

Tabla 4-3 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Puerto Príncipe

Se observa un valor máximo de demanda de frío de 740 W que corresponden a la potencia mínima necesaria de un equipo de refrigeración que cubra completamente las necesidades del módulo. En este caso, al contrario que para el equipo de calefacción, este dato no se corresponde con un pico de demanda muy pronunciado.

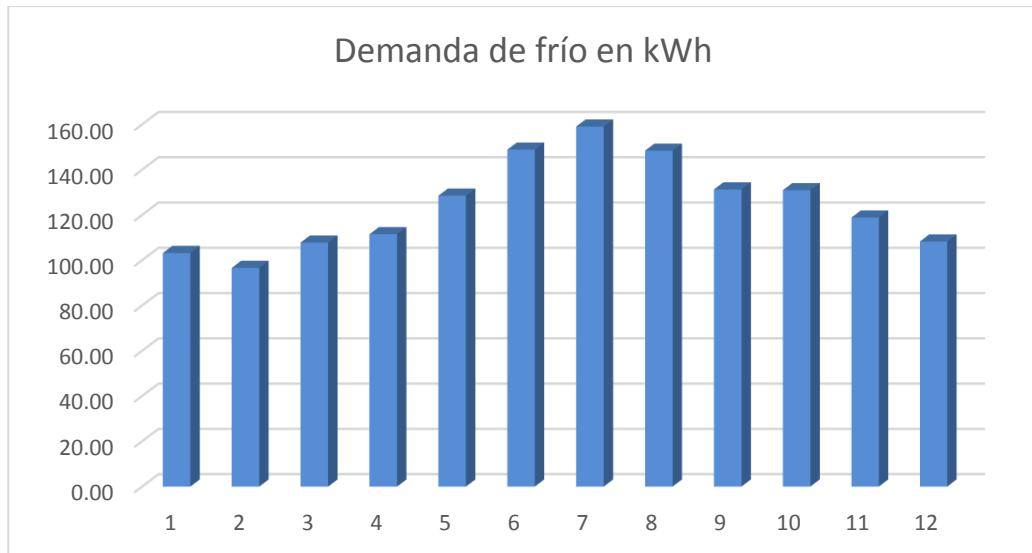


Tabla 4-4 Consumo mensual de frío en kWh en Puerto Príncipe

El consumo anual de la refrigeración resulta 3093.21 kWh, es decir un 2512% el consumo de calefacción.

Las características de la zona A de la clasificación de *Köpen-Geiger* relativas a la temperatura se ven efectivamente reflejadas en los datos obtenidos ya que se confirma que la temperatura media mensual nunca se encuentra por debajo de los 18°C. Además en este caso, la cercanía al mar de la ubicación se aprecia en la poca variación entre las temperaturas mínimas y máximas de cada mes.

4.1.2 Yibuti, Yibuti (zona B)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Yibuti:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	37.80	14.15	430	4-ene.	7:00
2	29.66	14.35	420	15-feb.	7:00
3	22.85	16.85	370	9-mar.	7:00
4	13.48	19.05	310	30-abr.	6:00
5	2.23	22.20	180	1-may.	6:00
6	0.00	25.35	0	no hay demanda	no hay demanda
7	0.00	28.40	0	no hay demanda	no hay demanda
8	0.00	27.80	0	no hay demanda	no hay demanda
9	0.01	24.35	10	28-sep.	7:00
10	7.15	20.45	230	28-oct.	7:00
11	24.95	17.35	360	2-nov.	6:00
12	32.87	15.35	400	27-dic.	7:00

Tabla 4-5 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Yibuti

El pico de demanda de calor se encuentra en 430 W en el mes de enero. Febrero y diciembre tienen picos similares, mientras que hacia los meses centrales la demanda baja hasta valer cero. Los picos de demanda son un 340% mayores que en el caso del contenedor en Puerto Príncipe

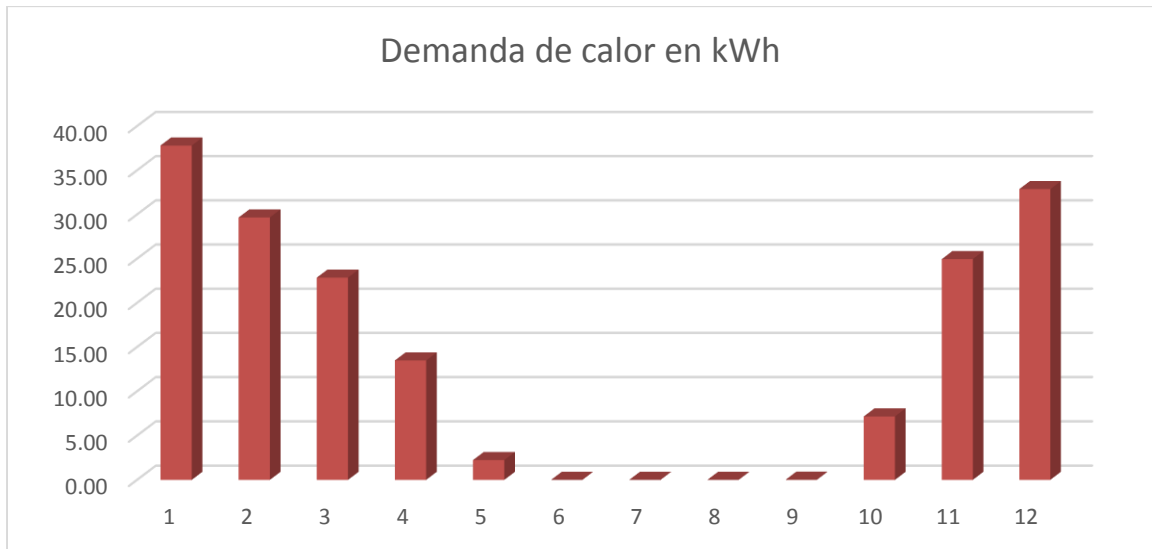


Tabla 4-6 Consumo mensual de calor en kWh en Yibuti

El consumo por demanda de calor se sitúa en 171 kWh en todo el año. Los datos de consumo no son tan elevados comparados con el caso anterior como lo eran los valores de la potencias.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Yibuti:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	121.71	36.45	800	21-ene.	16:00
2	116.57	36.45	800	21-feb.	16:00
3	142.92	37.30	810	17-mar.	16:00
4	147.52	38.20	820	11-abr.	16:00
5	204.59	40.10	920	27-may.	16:00
6	235.09	42.55	960	20-jun.	16:00
7	284.51	45.00	1050	29-jul.	16:00
8	257.23	44.30	960	19-ago.	16:00
9	205.16	41.50	890	4-sep.	16:00
10	168.49	38.40	830	11-oct.	16:00
11	137.19	36.45	800	19-nov.	16:00
12	124.55	36.20	810	16-dic.	16:00

Tabla 4-7 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Yibuti

La demanda máxima de frío, de 1050 W, es una cifra significativa que concuerda con las elevadas temperaturas del exterior. No sólo será necesario un equipo de mayores dimensiones sino que además el consumo será elevado.

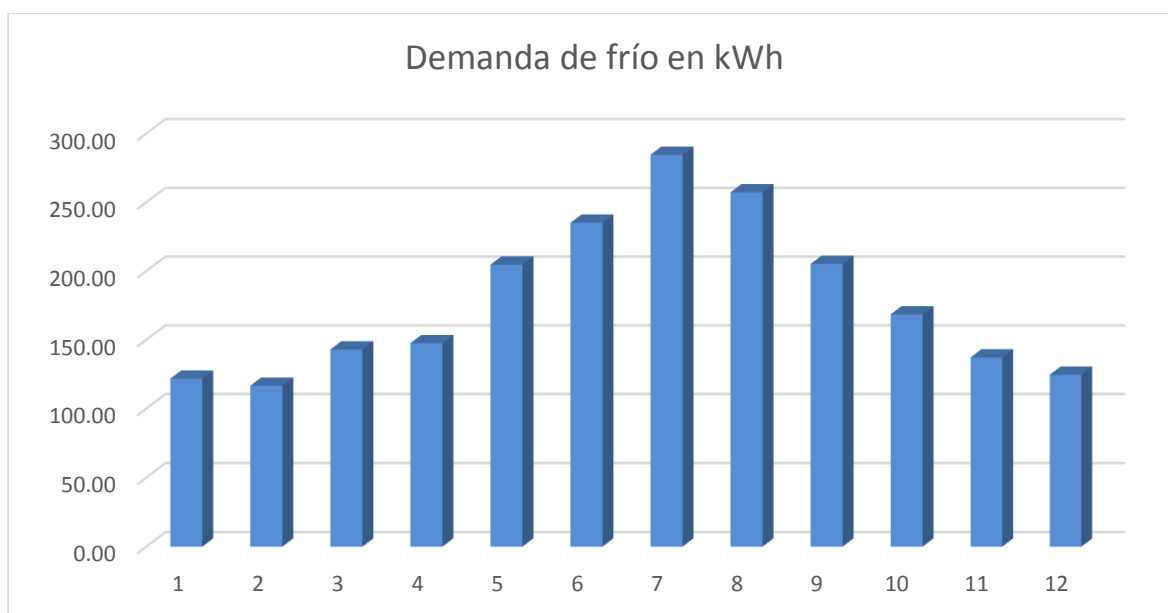


Tabla 4-8 Consumo mensual de frío en kWh en Yibuti

El valor de este consumo anual asciende hasta los 2145.53 kWh. Valor que, aun siendo elevando, no lo es tanto como en el caso del módulo en Puerto Príncipe ya que las temperaturas son más variables y hay periodos de mayor frío.

4.1.3 Colonia, Uruguay (zona C)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Colonia:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	30.12	14.75	440	15-ene.	6:00
2	31.13	13.00	450	15-feb.	7:00
3	59.84	12.00	520	10-mar.	7:00
4	104.49	7.30	640	30-abr.	7:00
5	167.32	4.05	760	14-may.	7:00
6	216.41	2.35	770	2-jun.	7:00
7	239.53	1.70	790	7-jul.	7:00
8	201.96	3.50	790	7-ago.	7:00
9	148.93	4.25	740	11-sep.	7:00
10	97.43	8.80	580	28-oct.	6:00
11	69.54	10.15	590	1-nov.	6:00
12	45.53	12.60	470	25-dic.	6:00

Tabla 4-9 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Colonia

El valor máximo de potencia (790 W) se obtiene en los meses de julio y agosto. No es un pico muy elevando en comparación con el resto de meses centrales del año.

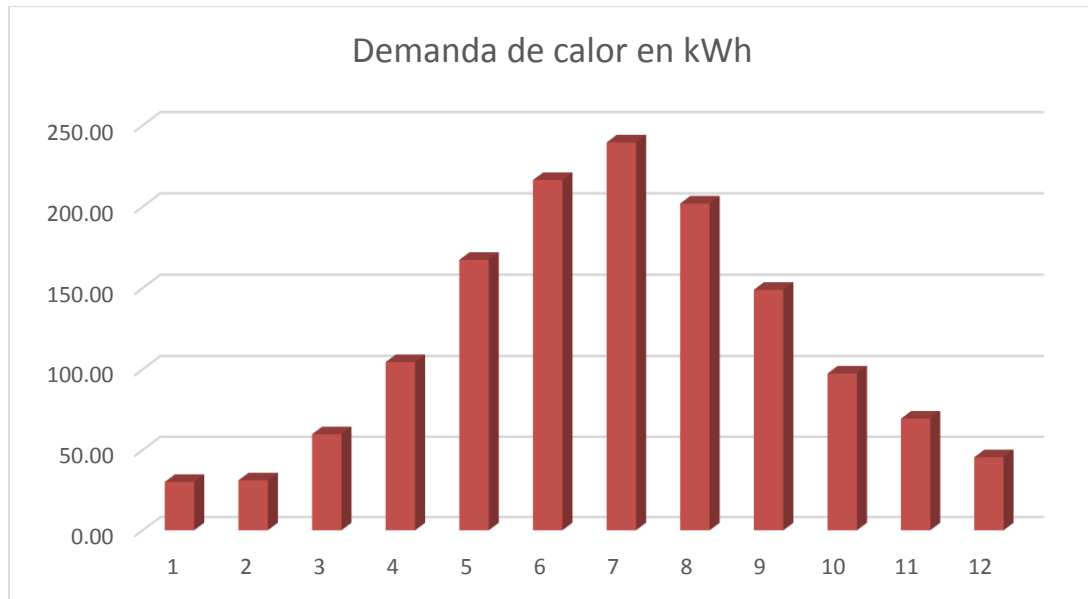


Tabla 4-10 Consumo de calor en kWh en Colonia

Sin embargo en datos de consumo sí que hay una gran diferencia entre los meses centrales del año y los meses más cálidos. Nótese que esta ubicación se encuentra situada en el hemisferio sur y el verano tiene lugar en diciembre, enero y febrero. Al final resulta un consumo total de 1412.23 kWh.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Colonia:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	114.51	35.85	760	1-ene.	17:00
2	88.41	32.80	710	21-feb.	17:00
3	67.46	30.45	630	17-mar.	16:00
4	29.08	28.45	540	7-abr.	17:00
5	3.47	25.25	360	20-may.	17:00
6	0.75	22.25	200	19-jun.	17:00
7	0.85	21.90	200	22-jul.	17:00
8	6.77	25.25	420	19-ago.	16:00
9	12.49	25.30	450	4-sep.	16:00
10	48.75	29.30	580	11-oct.	16:00
11	71.99	33.05	670	11-nov.	16:00
12	100.72	33.65	690	16-dic.	16:00

Tabla 4-11 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Colonia (Uruguay)

El valor de máxima demanda de frío, de 760 W, al igual que el pico de calor, es parecido en los meses cálidos. No obstante en esta ocasión existe una mayor diferencia entre la demanda mínima y máxima (560 W).

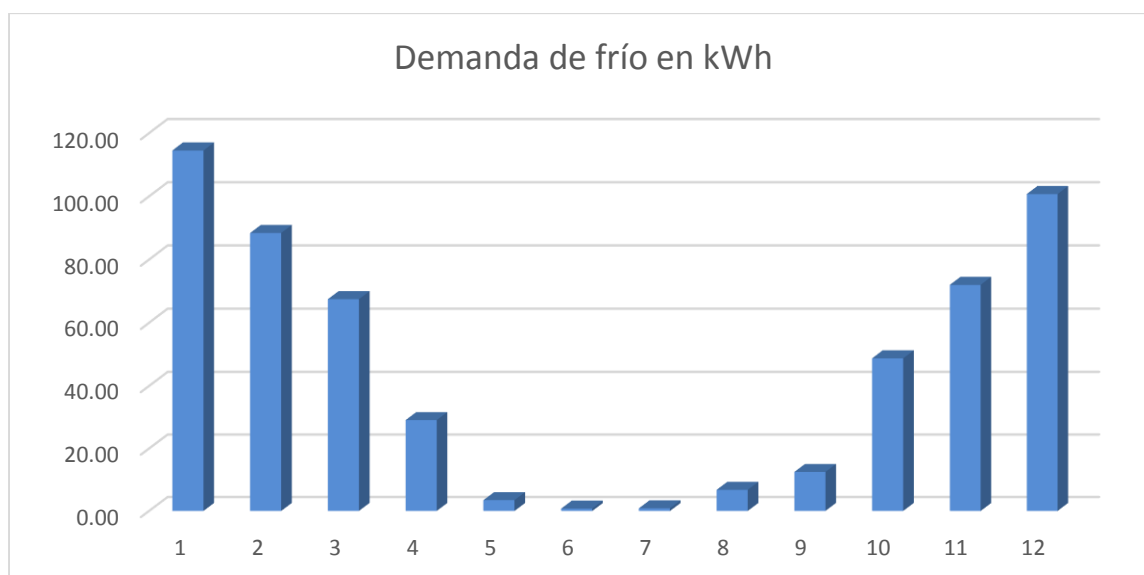


Ilustración 4-1 Consumo de frío en kWh en Colonia

El consumo anual del sistema de refrigeración es de 545.25 kWh, prácticamente un tercio del consumo en calefacción. Se deduce que pese a que ambos sistemas se ven sometidos a valores pico similares, el consumo varía en gran medida.

Los datos de frío y calor concuerdan con lo que se puede esperar en la zona C de Köppen-Geiger correspondiente a un clima templado similar al que existe en España. De hecho se comprueba que los datos de calefacción concuerdan con los datos de media anual de una vivienda en España, teniendo en cuenta la diferencia de área y la variación de temperaturas de consigna [36].

4.1.4 Yakutsk, Rusia (zona D)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Yakutsk:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	1296.94	-47.80	2190	13-ene.	7:00
2	1088.03	-46.55	2180	15-feb.	4:00
3	824.72	-35.50	1820	4-mar.	7:00
4	460.84	-18.55	1400	1-abr.	6:00
5	238.77	-7.05	1100	1-may.	0:00
6	93.68	1.25	750	5-jun.	3:00
7	70.41	5.85	680	16-jul.	4:00
8	136.38	1.45	760	9-ago.	5:00
9	292.82	-5.70	1080	28-sep.	7:00
10	633.57	-26.20	1590	31-oct.	23:00
11	1002.44	-41.55	2020	2-nov.	3:00
12	1283.07	-48.25	2140	24-dic.	4:00

Tabla 4-12 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Yakutsk

El valor pico de la demanda de calor en Yakutsk se dispara a los 2190 W debido a las temperaturas extremas que se alcanzan en los meses fríos. Existe una gran variación entre las demandas máximas en época de los meses cálidos y los meses fríos. Este resultado es el que cabría esperar de una ubicación de la zona D de Köppen-Geiger, con el hecho adicional de que se encuentra en una zona (Siberia) que

propicia que las temperaturas medias en meses fríos descieran mucho más de lo normal en otras localizaciones de esta misma zona.

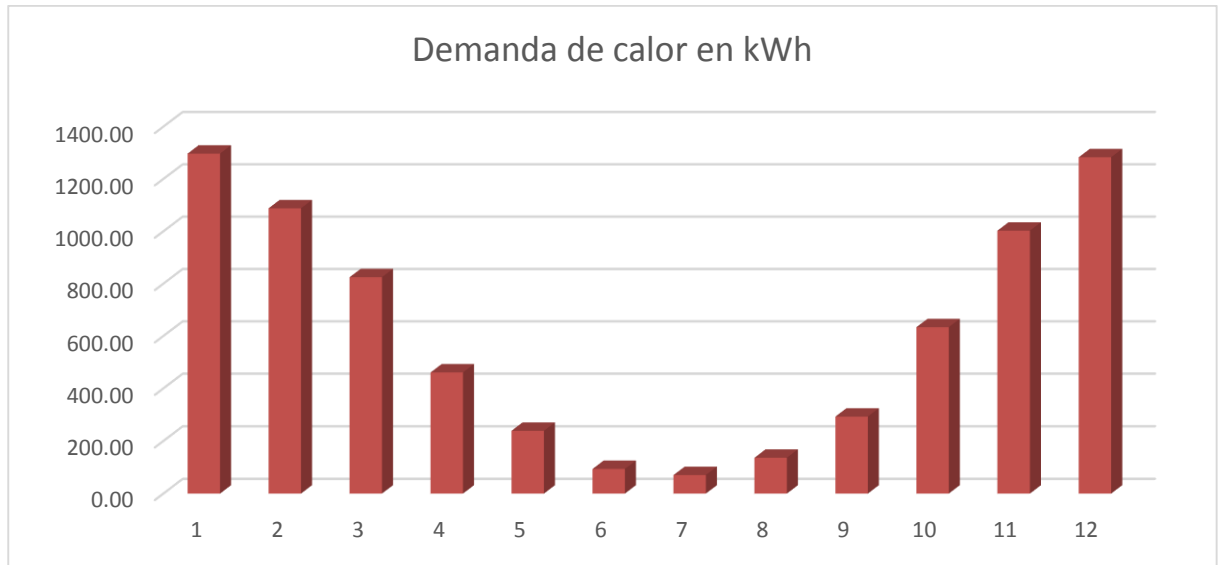


Tabla 4-13 Consumo de calor en kWh en Yakutsk

El consumo anual resulta 7421.67 kWh. Se trata de una demanda muy elevada que va ser costosa de atender. Se aprecia de nuevo la gran diferencia de temperaturas a lo largo del año en este emplazamiento.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Yakutsk:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	0.00	-20.10	0	no hay demanda	no hay demanda
2	0.00	-16.30	0	no hay demanda	no hay demanda
3	0.00	1.35	0	no hay demanda	no hay demanda
4	0.00	11.85	0	no hay demanda	no hay demanda
5	4.30	22.30	320	20-may.	16:00
6	41.48	29.20	530	21-jun.	16:00
7	69.12	31.50	600	9-jul.	17:00
8	25.12	28.05	510	19-ago.	16:00
9	0.36	19.80	150	2-sep.	17:00
10	0.00	7.85	0	no hay demanda	no hay demanda
11	0.00	-8.15	0	no hay demanda	no hay demanda
12	0.00	-19.60	0	no hay demanda	no hay demanda

Tabla 4-14 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Yakutsk

El caso contrario se produce con la demanda de frío. En la mayoría de los meses no hay demanda de frío mientras que en los meses centrales hay un máximo de 600 W. Es reseñable el hecho de que los valores máximos de temperatura son valores puntuales y asilados que no se prolongan mucho en el día y se combinan con bajas temperaturas. (El mismo mes en el que se registró la máxima anual de 31.5°C se registró una mínima de 5.85°C).

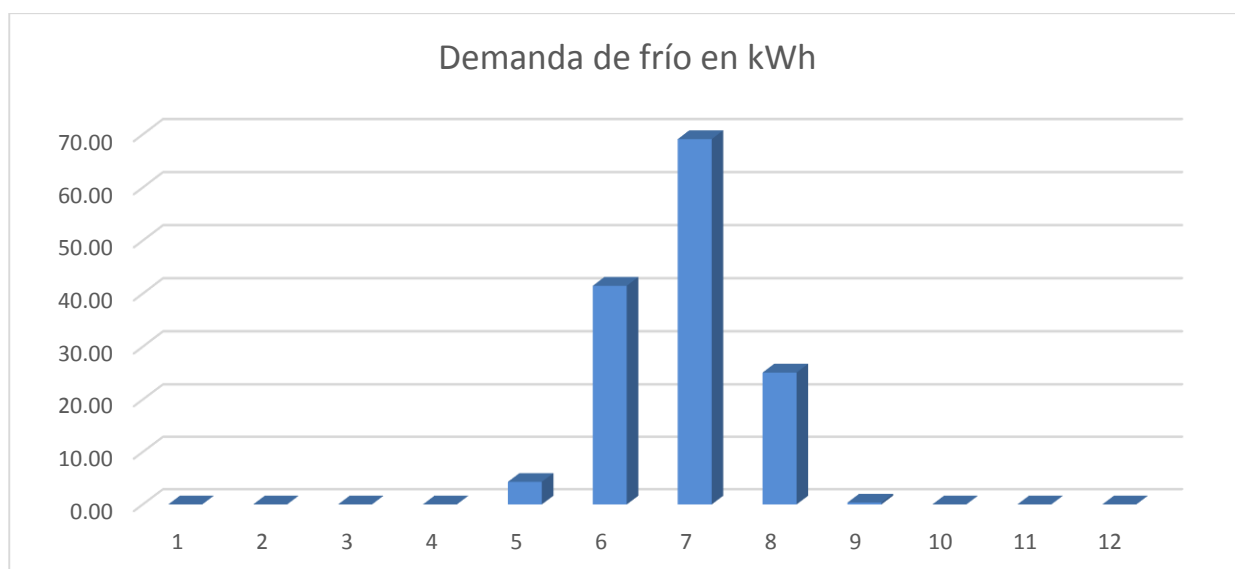


Tabla 4-15 Consumo de calor en kWh en Yakutsk

Los consumos totales anuales resultan el despreciable valor de 140 kWh.

En resumen, se confirma en los resultados que pese a ser una zona muy fría el comportamiento de las temperaturas es el que cabe esperar de una zona ubicada en la región D.

4.1.1 Puerto Williams, Chile (zona E)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Puerto Williams:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	206.56	1.50	830	17-ene.	5:00
2	203.74	2.15	750	20-feb.	6:00
3	265.88	0.90	780	9-mar.	7:00
4	336.93	-0.25	890	21-abr.	7:00
5	407.17	-3.80	950	12-may.	7:00
6	441.94	-3.95	920	9-jun.	2:00
7	461.61	-4.65	1010	26-jul.	7:00
8	414.97	-3.00	950	3-ago.	7:00
9	337.69	-2.65	960	10-sep.	7:00
10	294.22	-1.65	930	28-oct.	5:00
11	243.55	-0.45	900	4-nov.	5:00
12	214.80	0.85	790	1-dic.	4:00

Tabla 4-16 Demanda de calor del módulo de primeros auxilios en Puerto Williams

La demanda máxima de calor, que este caso se mantiene más constante que en la ubicación anterior, es de 1010 kW. Es reseñable que la demanda de calor máxima de menor valor en el mes más cálido sea de 750 W, ya que es un valor más alto de lo que podría haberse esperado en un mes de verano, aunque resulta más entendible si se tiene en cuenta que la latitud de Puerto Williams convierte a esta población en la más austral del globo y la más cercana al continente antártico.

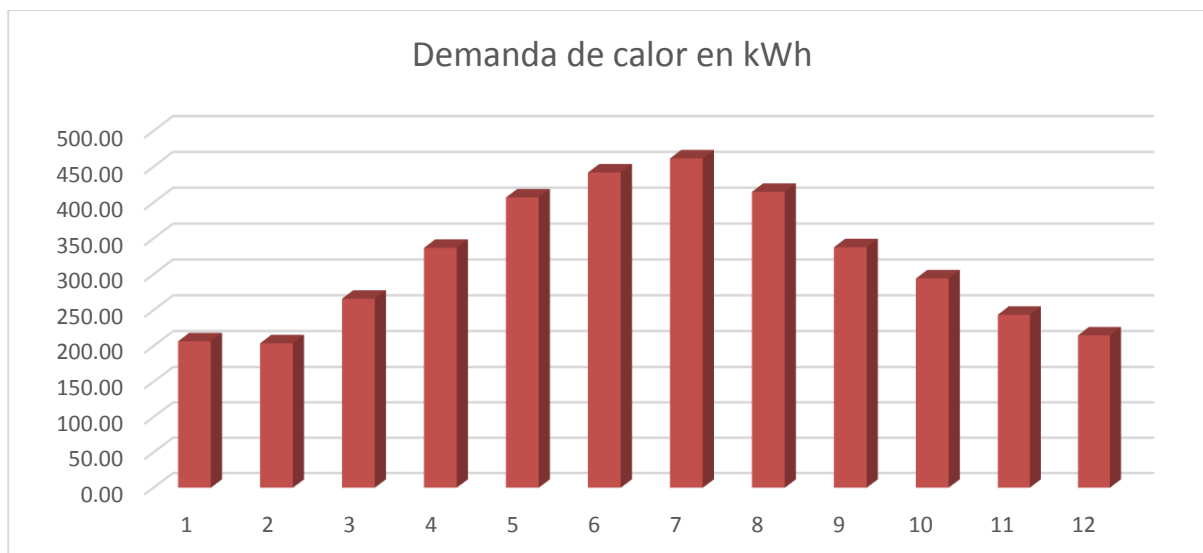


Tabla 4-17 Consumo de calor en kWh en Puerto Williams

El consumo del sistema de calefacción anual resulta 3829.39 kWh. Un consumo que supondrá un gasto elevado durante todo el año.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de primeros auxilios en Puerto Williams:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	1.25	17.30	170	4-ene.	17:00
2	2.12	22.25	340	21-feb.	17:00
3	0.02	18.00	20	1-mar.	19:00
4	0.00	15.90	0	no hay demanda	no hay demanda
5	0.00	12.80	0	no hay demanda	no hay demanda
6	0.00	8.40	0	no hay demanda	no hay demanda
7	0.00	10.00	0	no hay demanda	no hay demanda
8	0.00	11.40	0	no hay demanda	no hay demanda
9	0.00	14.40	0	no hay demanda	no hay demanda
10	0.00	15.20	0	no hay demanda	no hay demanda
11	0.00	16.35	0	no hay demanda	no hay demanda
12	3.54	20.45	320	18-dic.	17:00

Tabla 4-18 Demanda de frío del módulo de primeros auxilios en Puerto Williams

La poca variación de picos de demandas de calor también se observa en la demanda de frío, que por otra parte, es casi inexistente. La demanda máxima es de 340 W en el mes más cálido. La temperatura máxima registrada en ese mes es de 22.25°C, que está muy por debajo de los 26°C a partir de los cuales empezaría a funcionar la refrigeración. No obstante, este dato se entiende no sólo por las ganancias térmicas por ocupación, sino también porque se trata de una ubicación situada en una latitud muy alejada del ecuador y en los meses de verano recibe mucha energía procedente de una gran cantidad de horas de exposición a la radiación solar.

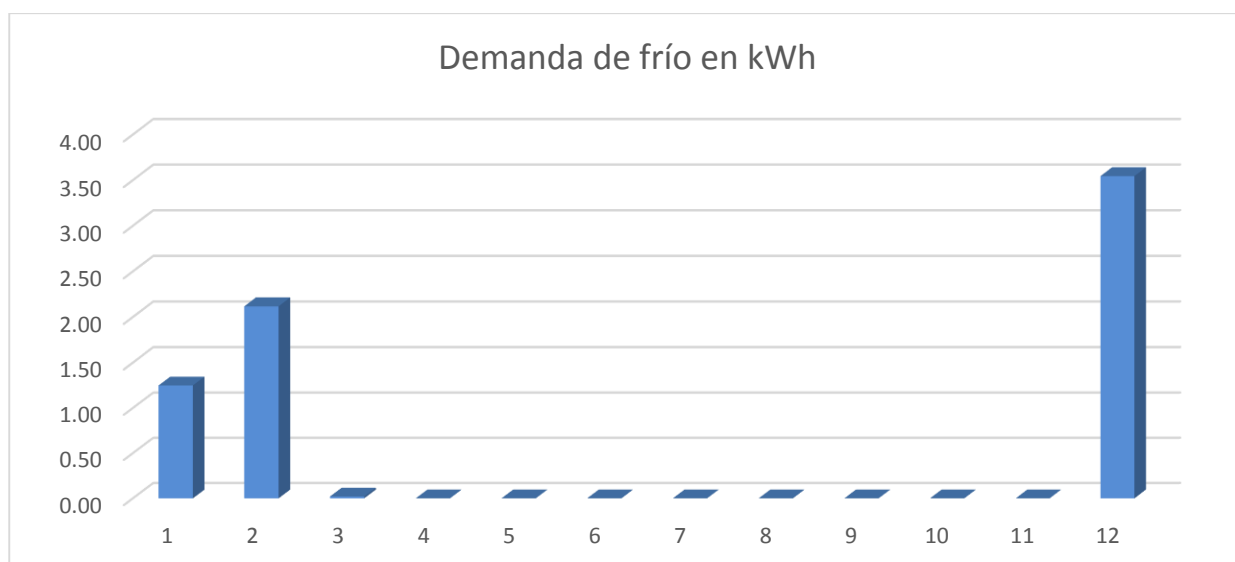


Tabla 4-19 Consumo de frío en kWh en Puerto Williams

Los datos de consumo confirman por una parte que el sistema de refrigeración no va a ser necesario en esta ubicación y además que estas medidas auxiliares que se podrían pensar para cubrir los picos de demanda son completamente prescindibles. Al final el total consumido se situaría en torno a 7 W, cantidad totalmente despreciable.

Esta ubicación no sufre temperaturas tan bajas como las registradas en Yakutsk pero sin embargo estas son más constantes y no suben tanto en los meses cálidos, tal y como cabe esperar de las ubicaciones de la región E de Köppen-Geiger.

4.2 Módulo de duchas

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la simulación de necesidades térmicas del módulo de duchas (apartados 3.7.2, 3.8.2, 3.9.2 y 3.10.3) en cada una de las ubicaciones escogidas (apartado 3.2).

En el caso del módulo de duchas se contempla sólo la demanda de calor ya que no hay límite superior de temperatura. Como se ha explicado en el apartado 3.8.2, se va a mantener un mínimo (22° C) y se estudiará la cantidad de energía necesaria para mantenerlo. Las tablas y gráficas presentan los mismos datos que en el anterior módulo.

4.2.1 Puerto Príncipe, Haití (zona A)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de duchas en Puerto Príncipe:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	11.92	18.85	400	17-ene.	6:00
2	7.22	18.65	310	9-feb.	7:00
3	7.46	18.75	270	13-mar.	7:00
4	2.93	20.20	220	20-abr.	6:00
5	1.33	21.15	200	1-may.	6:00
6	0.00	22.20	0	no hay demanda	no hay demanda
7	0.00	21.95	0	no hay demanda	no hay demanda
8	0.00	22.70	0	no hay demanda	no hay demanda

9	0.08	21.65	50	29-sep.	7:00
10	0.68	21.45	160	26-oct.	7:00
11	4.76	20.30	250	29-nov.	7:00
12	6.37	19.45	280	26-dic.	7:00

Tabla 4-20 Demanda de calor del módulo de duchas en Puerto Príncipe

El pico de demanda de calor en una ubicación calurosa como Puerto Príncipe es de 400W. Se aprecia una gran variación entre los máximos e incluso durante 3 meses no hay demanda.

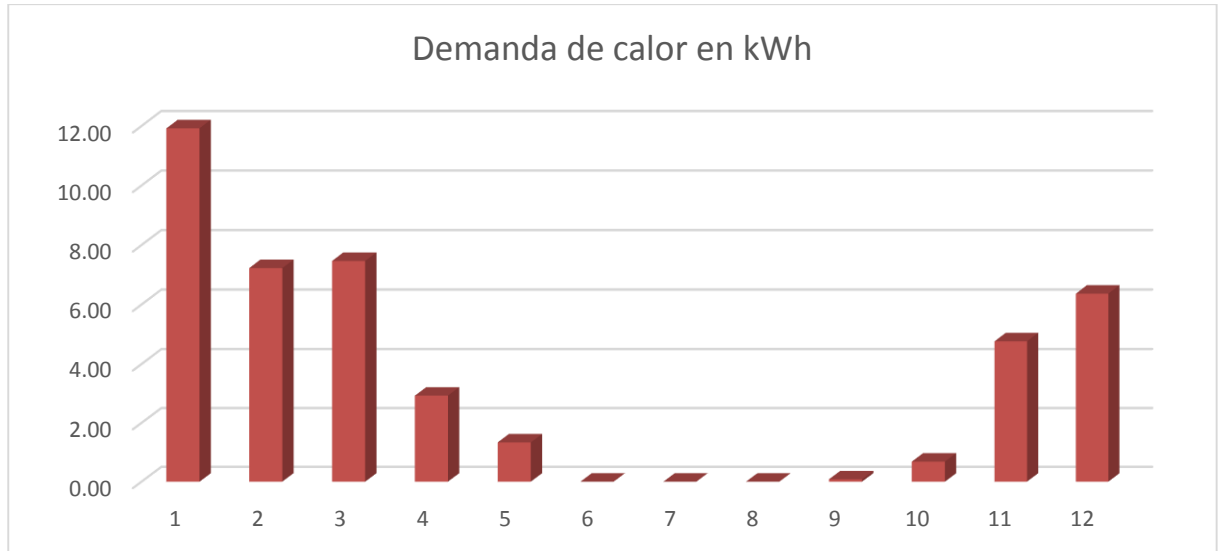


Tabla 4-21 Consumo de calor en kWh en Puerto Príncipe

El consumo anual resulta 42.75 kW, valor coherente dado que la temperatura mínima registrada en todo el año es de 18.85°C. De nuevo los datos concuerdan con las características de la zona climática en la que se encuentra.

4.2.2 Yibuti, Yibuti (zona B)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de duchas en Yibuti:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	23.67	14.15	-0.47	13-ene.	7:00
2	15.01	14.35	-0.47	15-feb.	7:00
3	8.17	16.85	-0.40	9-mar.	7:00
4	2.68	19.05	-0.27	4-abr.	7:00
5	0.22	22.20	-0.11	1-may.	6:00
6	0.00	25.35	0.00	no hay demanda	no hay demanda
7	0.00	28.40	0.00	no hay demanda	no hay demanda
8	0.00	27.80	0.00	no hay demanda	no hay demanda
9	0.00	24.35	0.00	no hay demanda	no hay demanda
10	0.08	20.45	-0.05	26-oct.	7:00
11	10.59	17.35	-0.38	2-nov.	6:00
12	16.86	15.35	-0.45	27-dic.	7:00

Tabla 4-22 Demanda de calor del módulo de duchas en Yibuti

La máxima demanda de calor se sitúa en 470 W, en los meses de enero y febrero. Estos resultados son similares a los de Puerto Príncipe, sin embargo, en esta ocasión las temperaturas mínimas son menores.

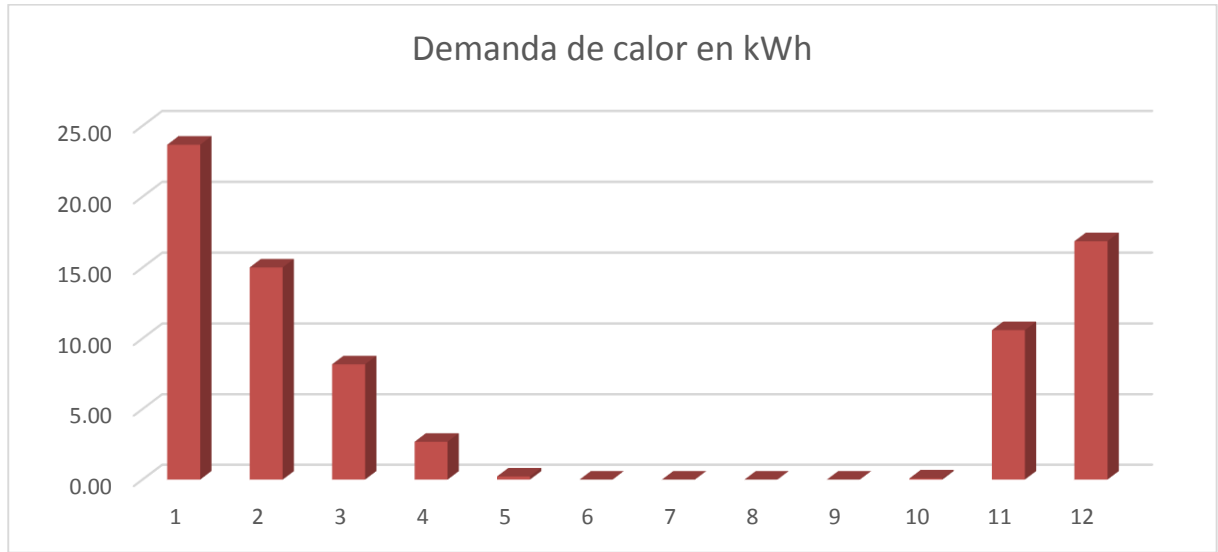


Tabla 4-23 Consumo de calor en kWh en Yibuti

El consumo total del año es de tan sólo 60.42 kWh, valor muy bajo y totalmente previsible.

4.2.3 Colonia, Uruguay (zona C)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de duchas en Colonia:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	20.32	14.75	500	13-ene.	6:00
2	20.90	13.00	520	15-feb.	7:00
3	57.29	12.00	590	10-mar.	7:00
4	132.55	7.30	750	30-abr.	7:00
5	240.18	4.05	990	12-may.	8:00
6	308.47	2.35	1000	2-jun.	8:00
7	343.99	1.70	1110	7-jul.	8:00
8	289.18	3.50	930	4-ago.	8:00
9	205.04	4.25	870	11-sep.	7:00
10	115.51	8.80	680	28-oct.	6:00
11	71.39	10.15	680	1-nov.	6:00
12	36.15	12.60	540	25-dic.	6:00

Tabla 4-24 Demanda de calor del módulo de duchas en Colonia

En una zona en la que el clima es más parecido al de la Península Ibérica el pico de demanda de calor se sitúa en 1110 kW en el mes de julio. La máxima demanda el mes más cálido es de 500 W.

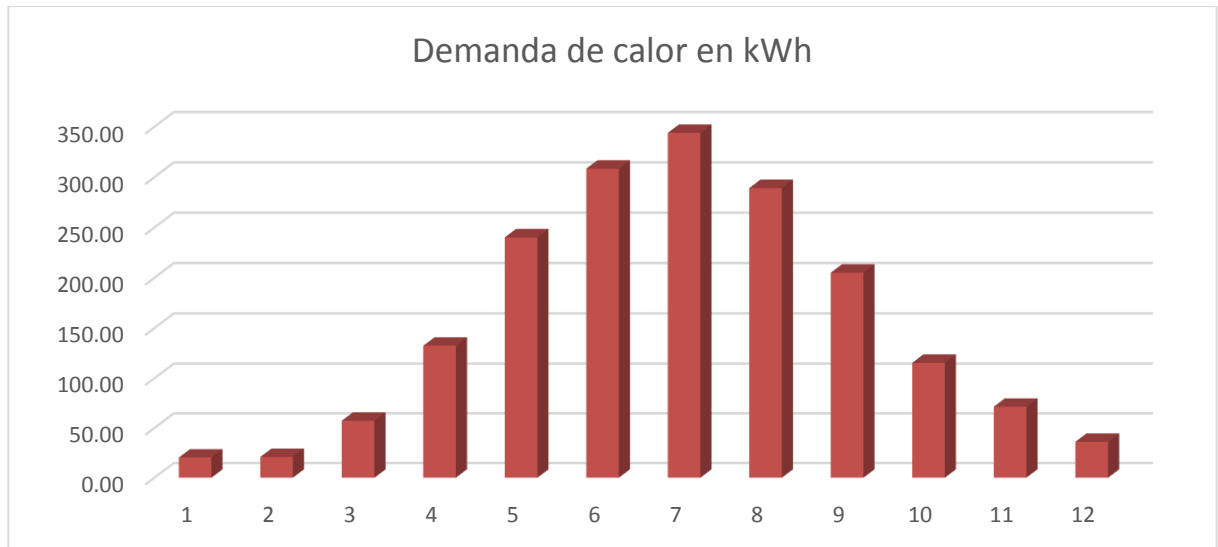


Tabla 4-25 Consumo de calor en kWh en Colonia

El consumo anual es de 1840.97 kWh, valor algo superior al obtenido en esta misma ubicación, en la simulación del módulo de primeros auxilios, principalmente por el aumento de las renovaciones de aire en este supuesto.

4.2.4 Yakutsk, Rusia (zona D)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de duchas en Yakutsk:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	1771.71	-47.80	4000	13-ene.	8:00
2	1493.62	-46.55	3830	4-feb.	8:00
3	1151.13	-35.50	3210	4-mar.	8:00
4	661.80	-18.55	2230	1-abr.	8:00
5	354.24	-7.05	1310	1-may.	0:00
6	123.04	1.25	890	9-jun.	3:00
7	79.51	5.85	790	16-jul.	4:00
8	183.45	1.45	900	4-ago.	5:00
9	416.92	-5.70	1430	29-sep.	8:00
10	879.85	-26.20	2440	28-oct.	8:00
11	1370.20	-41.55	3400	2-nov.	8:00
12	1748.06	-48.25	3820	29-dic.	8:00

Tabla 4-26 Demanda de calor del módulo de duchas en Yakutsk

En la población de Siberia, como cabe esperar, los datos de demanda se disparan. El máximo se produce en enero con un valor de 4000 W. Se vuelve a comprobar que la diferencia de temperaturas a lo largo del año va a provocar que el equipo que se deba seleccionar sea de gran potencia aunque, sin embargo, la mayoría de los meses se vaya a utilizar muy por debajo de su capacidad, lo que va a hacer que el funcionamiento del equipo del módulo no sea eficiente.

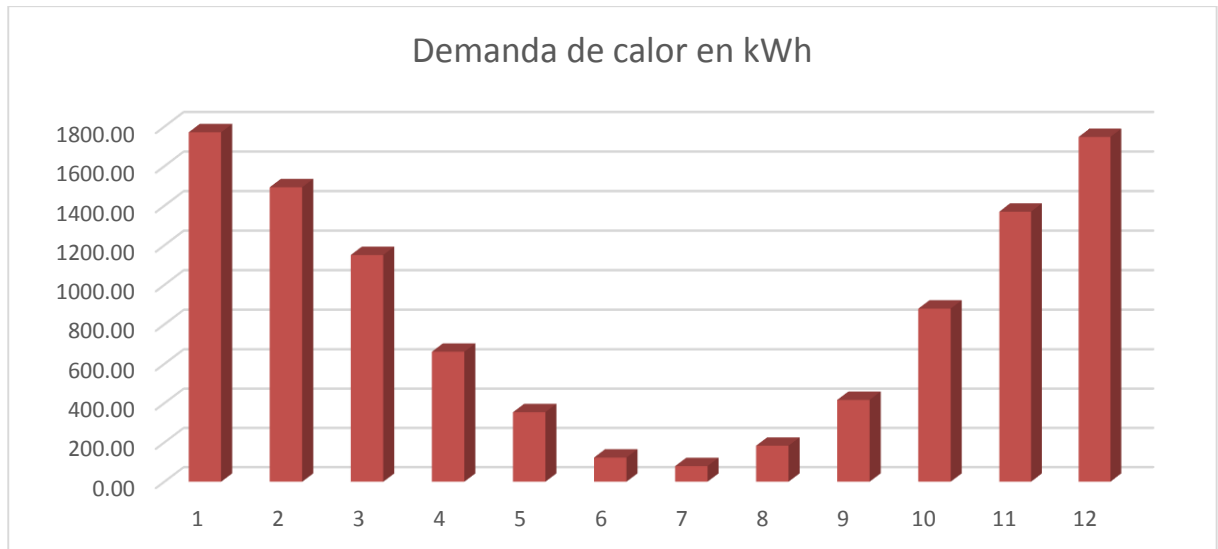


Tabla 4-27 Consumo de calor en kWh en Yakutsk

El consumo total del año de 10.2 MWh hace pensar *a priori* que el mantenimiento de un módulo de estas características en una ubicación como esta ser suponer un gasto importante.

4.2.5 Puerto Williams, Chile (zona E)

Tabla de resultados de demandas de calor de la simulación térmica del módulo de duchas en Yakutsk:

Mes	Demanda de calor (kWh)	Mínima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de calor (W)	Día de máxima demanda de calor	Hora del día máxima demanda
1	305.08	1.50	970	17-ene.	5:00
2	293.88	2.15	890	15-feb.	6:00
3	383.09	0.90	1040	10-mar.	8:00
4	468.14	-0.25	1280	21-abr.	8:00
5	562.46	-3.80	1410	12-may.	8:00
6	603.04	-3.95	1390	9-jun.	8:00
7	630.14	-4.65	1500	15-jul.	8:00
8	576.94	-3.00	1380	4-ago.	8:00
9	475.93	-2.65	1180	16-sep.	8:00
10	430.16	-1.65	1100	28-oct.	5:00
11	363.28	-0.45	1060	4-nov.	5:00
12	314.59	0.85	940	21-dic.	4:00

Tabla 4-28 Demanda de calor del módulo de duchas en Puerto Williams

La demanda de calor, en Puerto Williams, mucho más constante, como se comprueba en todas las simulaciones en esta ubicación, tiene un máximo en 1500 W. La demanda máxima el mes más cálido es de 970 W. Es decir, tan sólo hay 530 W entre los extremos.

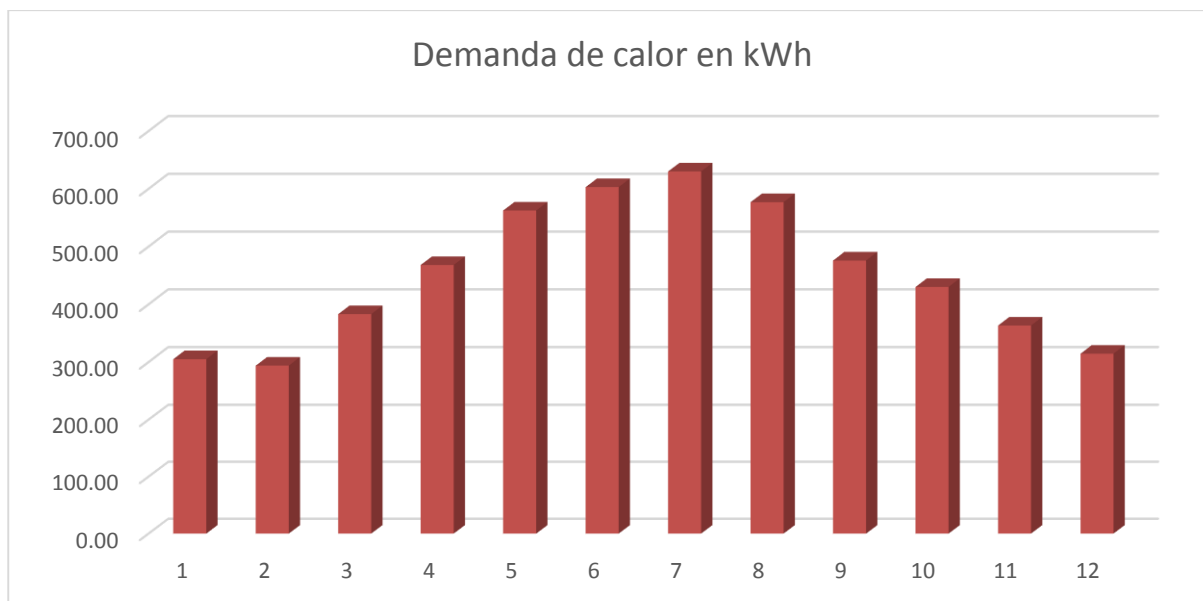


Tabla 4-29 Consumo de calor en kWh en Puerto Williams

Los consumos pueden suponer un problema de costes ya que el anual resulta la cifra de 5406.73 kWh.

4.3 Módulo de refrigeración

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la simulación de necesidades térmicas del módulo de duchas (apartados 3.7.3, 3.8.3, 3.9.3 y 3.10.4) en cada una de las ubicaciones escogidas (apartado 3.2).

Se muestran los resultados de dos simulaciones. Como se ha explicado previamente, la correspondiente a los 40°C se utilizará como referencia para dimensionar el equipo y la que utiliza 10°C como temperatura de consigna se utilizará para realizar una estimación del consumo más real. Se presentan las mismas tablas y gráficas que en los dos anteriores módulos.

4.3.1 Puerto Príncipe, Haití (zona A)

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a -40°C en Puerto Príncipe:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	959.91	32.05	1520	24-ene.	15:00
2	857.14	32.85	1590	26-feb.	16:00
3	952.72	33.20	1590	26-mar.	16:00
4	930.71	33.65	1570	23-abr.	16:00
5	972.93	34.05	1610	21-may.	16:00
6	951.70	34.15	1620	25-jun.	16:00
7	996.24	34.55	1610	23-jul.	15:00
8	991.07	35.60	1630	20-ago.	16:00
9	947.61	34.95	1650	24-sep.	16:00
10	979.98	35.30	1630	8-oct.	15:00
11	931.20	33.55	1620	26-nov.	15:00
12	955.91	32.75	1590	3-dic.	15:00

Tabla 4-30 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Puerto Príncipe

La máxima demanda de frío es de 1650 W. Suponiendo que el contenedor trabaja a una temperatura mínima de -40°C el equipo tendría que tener una potencia mínima de ese valor para cubrir completamente la demanda de frío.

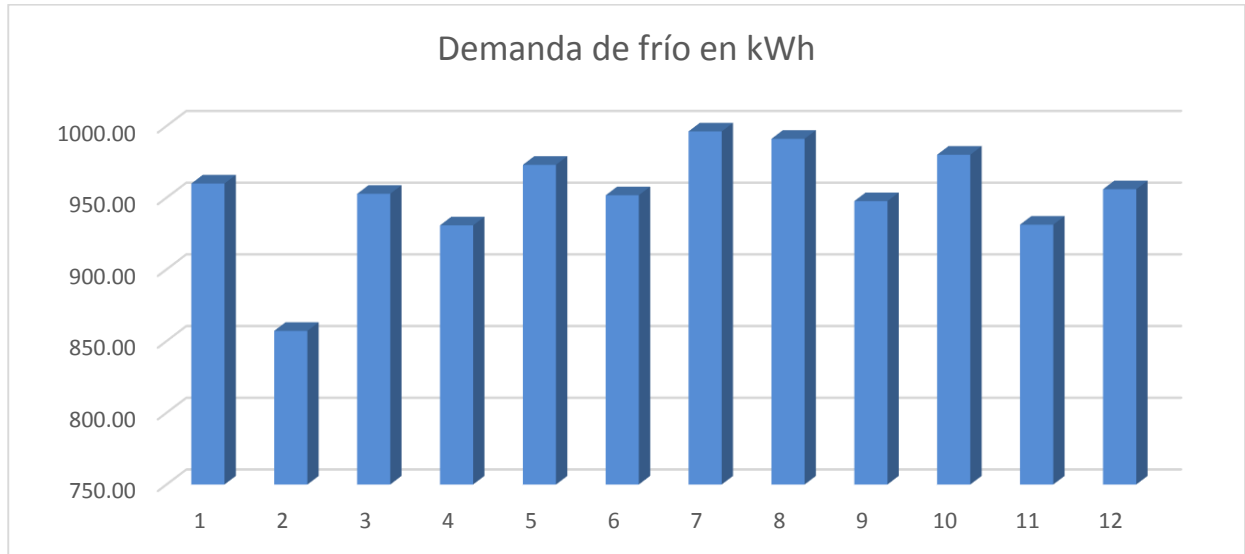


Tabla 4-31 Consumo de frío en kWh a -40°C en Puerto Príncipe

En el caso de mantener el refrigerador operando a la temperatura de -40°C , el consumo ascendería hasta los 11.4 MWh aproximadamente.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a 10°C en Puerto príncipe:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	199.11	32.05	440	11-ene.	16:00
2	180.25	32.85	500	26-feb.	16:00
3	204.35	33.20	500	26-mar.	16:00
4	203.81	33.65	480	23-abr.	16:00
5	224.44	34.05	510	21-may.	16:00
6	227.12	34.15	530	25-jun.	16:00
7	245.37	34.55	510	23-jul.	15:00
8	242.66	35.60	530	20-ago.	16:00
9	223.03	34.95	550	24-sep.	16:00
10	229.13	35.30	530	8-oct.	15:00
11	206.64	33.55	530	26-nov.	15:00
12	205.19	32.75	490	3-dic.	15:00

Tabla 4-32 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Puerto Príncipe

El máximo de demanda en caso de mantener 10°C de temperatura interior es 550 W. Este dato sin embargo, tanto en esta ubicación como en las siguientes, no resulta de gran interés ya que para dimensionar el equipo se utiliza el máximo pico de potencia registrado para la mínima temperatura de trabajo.

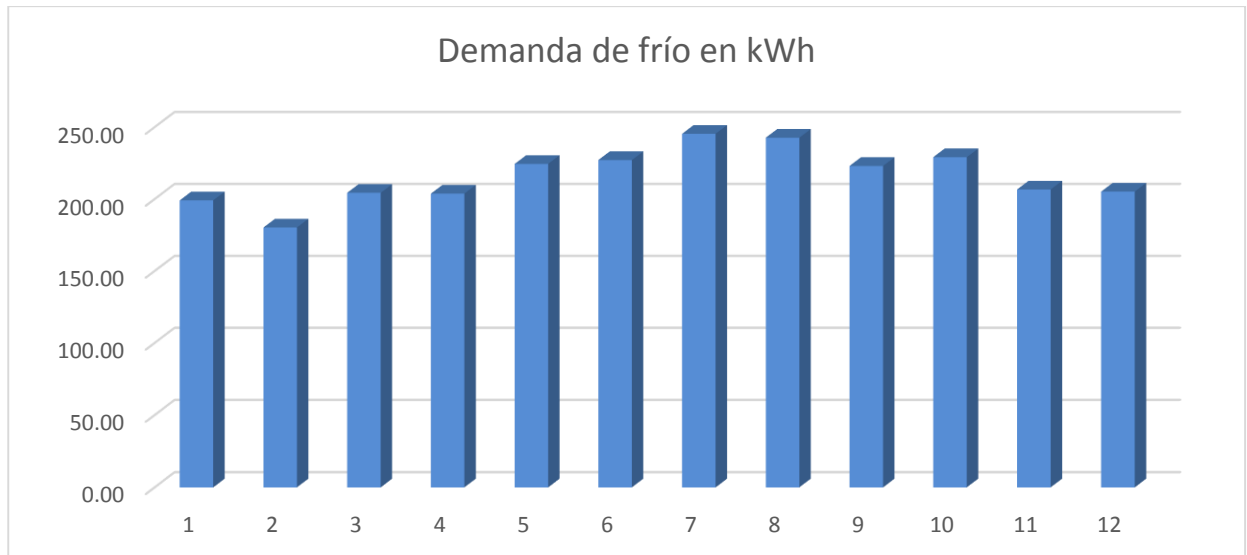


Tabla 4-33 Consumo de frío en kWh a 10°C en Puerto Príncipe

El consumo a 10°C de temperatura en el interior es de 2591.1 kWh. Este dato correspondería a un uso del contenedor como refrigerador y no como congelador. Supone por tanto un mínimo de consumo para esta ubicación.

El consumo que se produciría por un uso mixto (-15°C) estaría en torno a 7000 kWh. Se deduce que en esta localización, el equipo necesario para satisfacer la demanda requiere una potencia elevada y generará un consumo igualmente elevado.

4.3.1 Yibuti, Yibuti (zona B)

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a -40°C en Yibuti:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	958.21	36.45	1600	13-ene.	16:00
2	859.26	36.45	1630	19-feb.	16:00
3	967.31	37.30	1650	19-mar.	16:00
4	954.44	38.20	1640	23-abr.	16:00
5	1020.10	40.10	1730	28-may.	16:00
6	1017.64	42.55	1770	25-jun.	16:00
7	1086.66	45.00	1790	9-jul.	16:00
8	1074.66	44.30	1770	20-ago.	16:00
9	1005.15	41.50	1730	3-sep.	16:00
10	1000.35	38.40	1670	8-oct.	16:00
11	932.38	36.45	1680	19-nov.	16:00
12	950.27	36.20	1670	3-dic.	16:00

Tabla 4-34 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Yibuti

El pico de demanda de frío a mínima temperatura de trabajo en Yibuti es de 1790 W. Se aprecia muy poca variación entre las demandas máximas de cada mes a lo largo del año

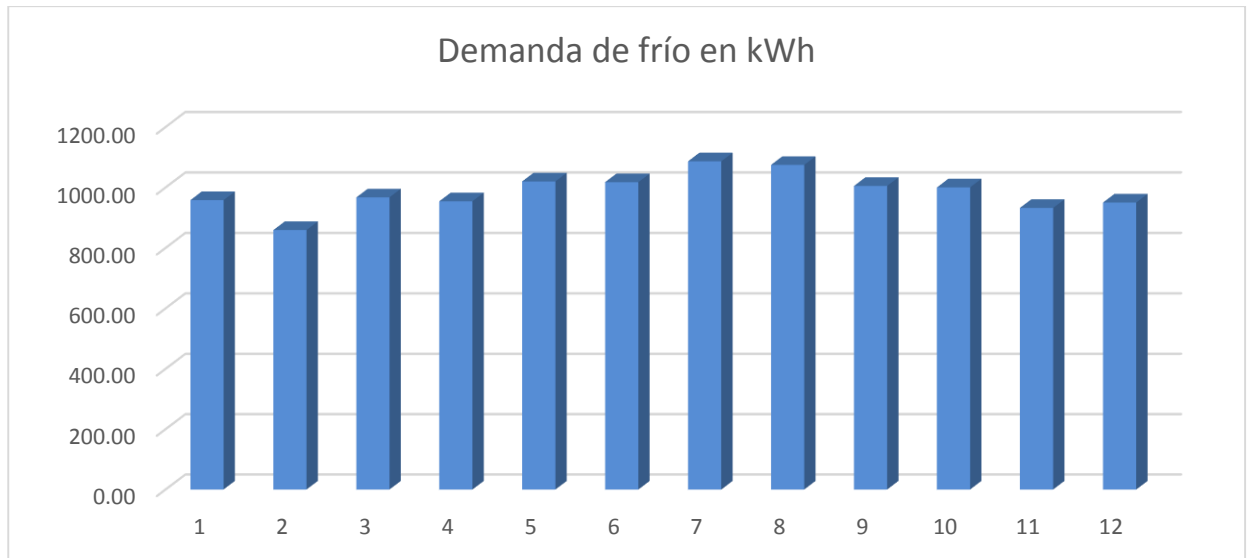


Tabla 4-35 Consumo de frío en kWh a -40°C en Yibuti

El consumo máximo que correspondería a una temperatura interior de -40°C es de 11.8 MWh

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a 10°C en Yibuti:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	197.41	36.45	500	26-ene.	16:00
2	182.37	36.45	530	19-feb.	16:00
3	218.92	37.30	550	19-mar.	16:00
4	227.51	38.20	550	11-abr.	16:00
5	271.55	40.10	640	28-may.	16:00
6	292.99	42.55	670	25-jun.	16:00
7	335.70	45.00	700	9-jul.	16:00
8	326.15	44.30	670	20-ago.	16:00
9	280.51	41.50	640	3-sep.	16:00
10	249.48	38.40	580	8-oct.	16:00
11	207.82	36.45	580	19-nov.	16:00
12	199.55	36.20	580	3-dic.	16:00

Tabla 4-36 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Yibuti

Las demandas de frío a 10°C también se encuentran próximas entre sí, siendo la mayor de 700 W.

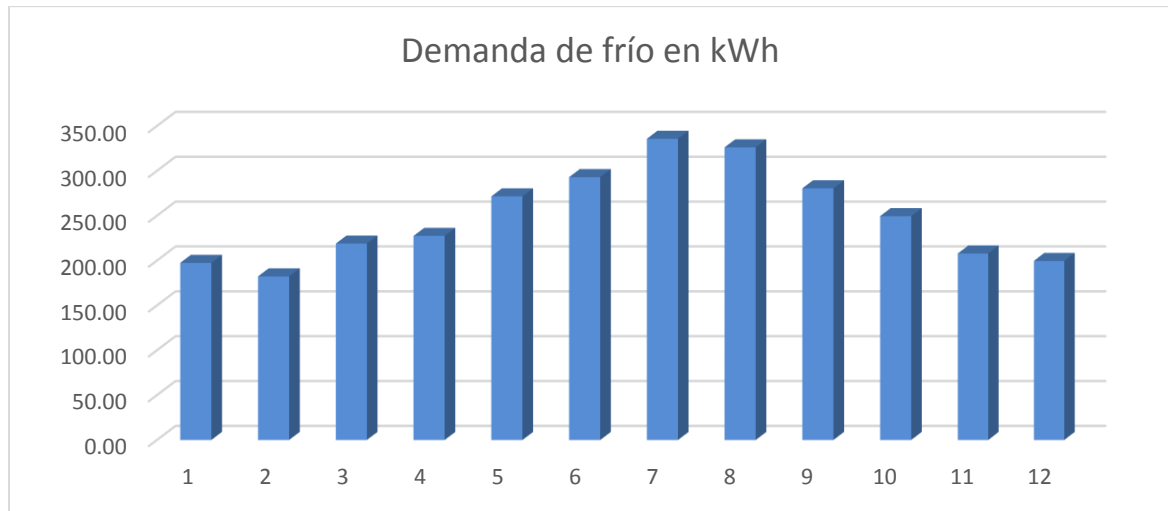


Tabla 4-37 Consumo de frío en kWh a 10°C en Yibuti

El consumo mínimo del módulo en esta ubicación se quedaría en 2989 KWh. El consumo combinado a una temperatura interior media de -15°C resulta 7394.5 KWh. Se comprueba que en esta ubicación también sería costoso mantener un equipo refrigerador que mantenga las temperaturas asignadas.

4.3.2 Colonia, Uruguay (zona C)

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a -40°C en Colonia:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	955.73	35.85	1570	8-ene.	17:00
2	837.12	32.80	1500	5-feb.	17:00
3	893.61	30.45	1470	26-mar.	16:00
4	814.99	28.45	1460	9-abr.	16:00
5	786.76	25.25	1350	28-may.	16:00
6	724.30	22.25	1250	25-jun.	16:00
7	740.40	21.90	1320	9-jul.	17:00
8	763.83	25.25	1390	27-ago.	17:00
9	769.97	25.30	1420	24-sep.	16:00
10	856.27	29.30	1450	15-oct.	16:00
11	856.58	33.05	1600	19-nov.	17:00
12	920.96	33.65	1550	17-dic.	17:00

Tabla 4-38 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Colonia

La demanda máxima de frío registrada es de 1570 W. Como se puede observar tampoco en esta ocasión hay mucha diferencia entre los picos de cada mes.

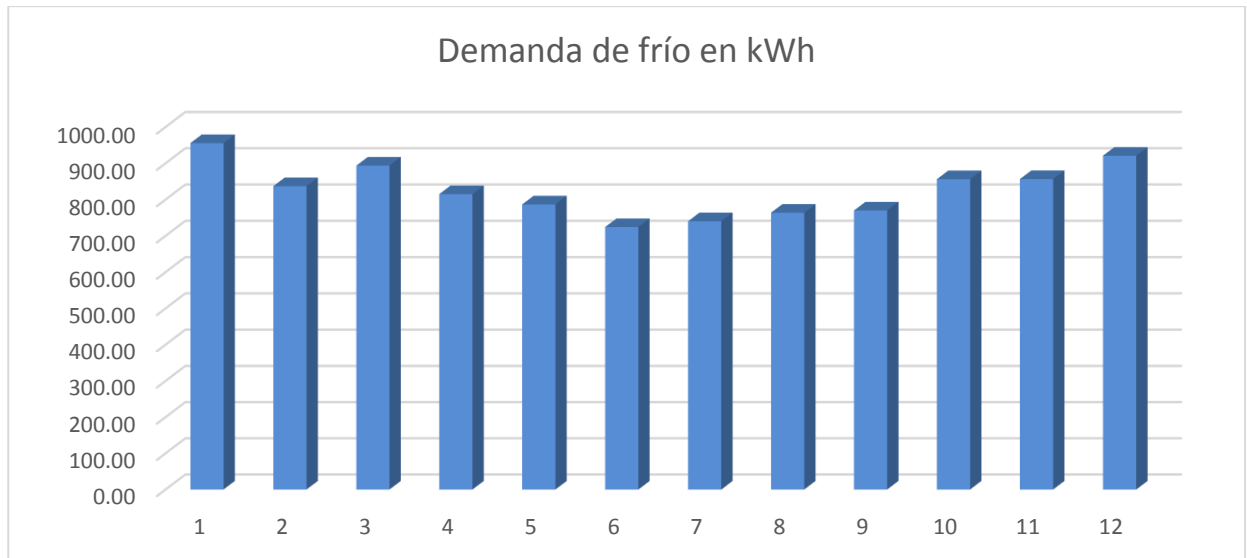


Tabla 4-39 Consumo de frío en kWh a -40°C en Colonia

El consumo máximo en el improbable caso del uso continuado del contenedor a -40°C es de 11.8 MWh

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a 10°C en Colonia:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	194.92	35.85	480	14-ene.	16:00
2	160.25	32.80	460	21-feb.	17:00
3	145.32	30.45	420	17-mar.	17:00
4	89.76	28.45	380	7-abr.	17:00
5	50.64	25.25	300	20-may.	17:00
6	24.93	22.25	260	19-jun.	16:00
7	24.09	21.90	250	21-jul.	16:00
8	38.08	25.25	320	19-ago.	17:00
9	56.39	25.30	330	4-sep.	16:00
10	106.45	29.30	400	11-oct.	16:00
11	132.42	33.05	500	19-nov.	17:00
12	170.28	33.65	460	16-dic.	17:00

Tabla 4-40 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Colonia

El máximo valor de demanda de frío a 10°C es de 480 W. En esta caso sí que supone casi el doble que el valor pico más pequeño registrado en julio.

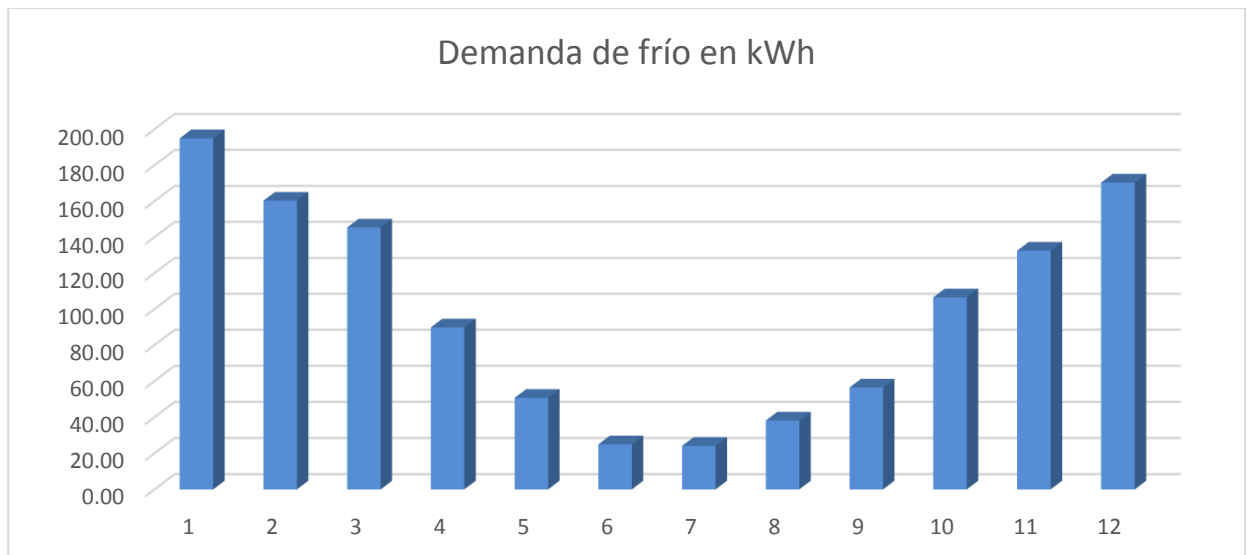


Tabla 4-41 Consumo de frío en kWh a 10°C en Colonia

Se aprecia una gran variación en el consumo del refrigerador a 10°C siendo su total de 1193.53 kWh. El consumo mixto se fija en torno a los 6496 kWh.

4.3.3 Yakutsk, Rusia (zona D)

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a -40°C en Yakutsk:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	127.20	-20.10	300	23-ene.	16:00
2	143.94	-16.30	580	28-feb.	16:00
3	374.78	1.35	900	31-mar.	16:00
4	556.75	11.85	1080	11-abr.	16:00
5	721.53	22.30	1350	21-may.	16:00
6	811.34	29.20	1470	18-jun.	17:00
7	878.01	31.50	1560	9-jul.	17:00
8	814.38	28.05	1460	20-ago.	17:00
9	670.67	19.80	1280	3-sep.	16:00
10	504.47	7.85	1020	15-oct.	16:00
11	262.88	-8.15	680	19-nov.	16:00
12	119.07	-19.60	440	18-dic.	16:00

Tabla 4-42 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Yakutsk

En el caso de Yakutsk, donde ya se ha comprobado que las temperaturas sufren grandes descensos, las demandas sí que presentan diferencias notables con las obtenidas anteriormente. El pico de demanda máxima a -40°C se registra en julio con un valor de 1560 kW. Se vuelven a apreciar un gran salto entre los valores de los distintos meses.

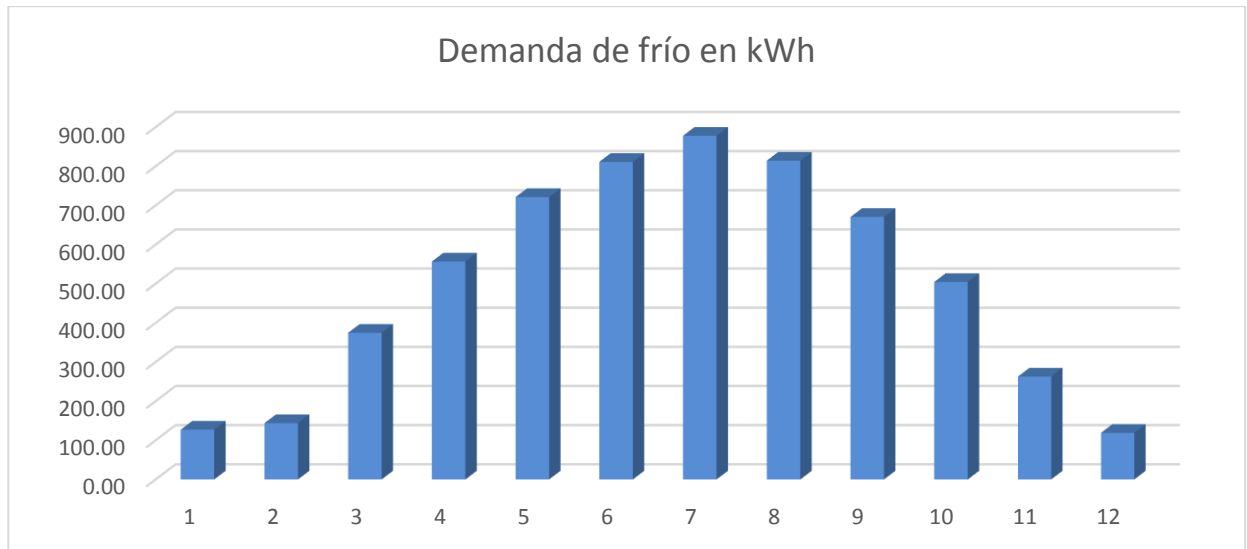


Tabla 4-43 Consumo de frío en kWh a -40°C en Yakutsk

El consumo se presenta también muy variado y resulta un valor de 5985.02 kWh, prácticamente la mitad que en el mismo caso en las anteriores ubicaciones.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a 10°C en Yakutsk:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	0.00	-20.10	0	no hay demanda	no hay demanda
2	0.00	-16.30	0	no hay demanda	no hay demanda
3	0.00	1.35	0	no hay demanda	no hay demanda
4	0.84	11.85	90	11-abr.	16:00
5	27.23	22.30	260	20-may.	17:00
6	95.33	29.20	380	21-jun.	17:00
7	129.44	31.50	460	9-jul.	17:00
8	76.42	28.05	360	20-ago.	17:00
9	11.38	19.80	210	2-sep.	17:00
10	0.00	7.85	0	no hay demanda	no hay demanda
11	0.00	-8.15	0	no hay demanda	no hay demanda
12	0.00	-19.60	0	no hay demanda	no hay demanda

Tabla 4-44 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Yakutsk

Se puede observar que para mantener la temperatura a 10°C en el interior no sería ni siquiera necesario encender equipo la mitad del año. La otra mitad registra una potencia máxima de 460 W

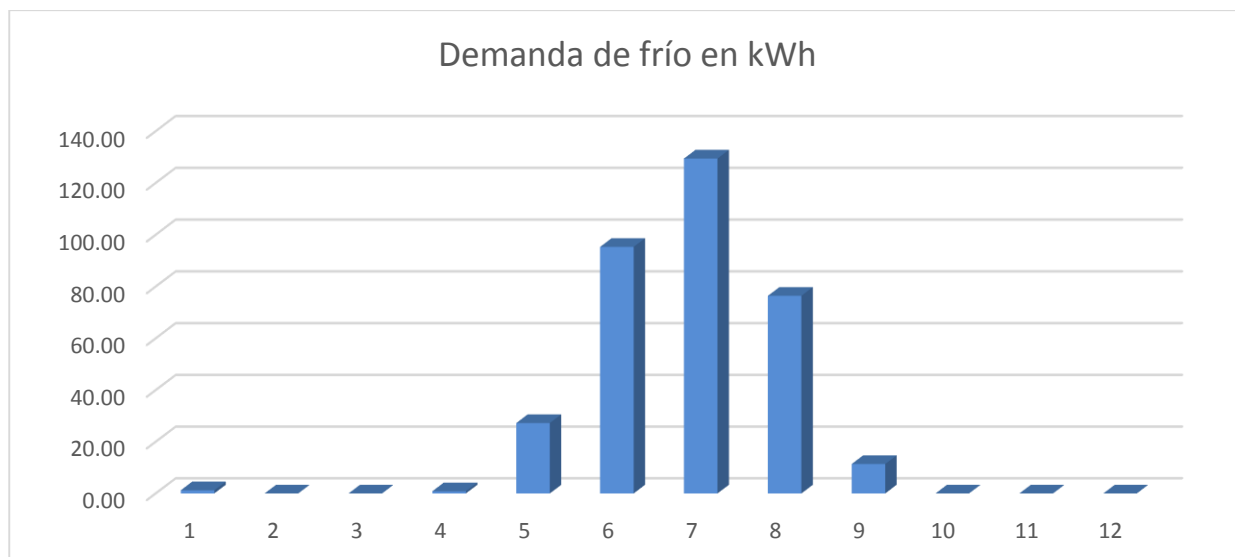


Tabla 4-45 Consumo de frío en kWh a 10°C en Yakutsk

El consumo de frío en este supuesto se queda en tan sólo 340.64 kWh. El consumo mixto resulta 3162.83 kWh. Se comprueba que en una ubicación tan fría no va a ser costoso mantener un contenedor de estas características. No obstante, también es reseñable que en caso de que se necesite enviar contenedores a una ubicación parecida por cualquier circunstancia, enviar un módulo de refrigeración no va a ser la primera prioridad.

4.3.4 Puerto Williams, Chile (zona E)

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a -40°C en Puerto Williams:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	759.16	17.30	1100	13-ene.	17:00
2	668.29	22.25	1270	5-feb.	17:00
3	714.90	18.00	1180	1-mar.	18:00
4	656.93	15.90	1190	2-abr.	16:00
5	646.83	12.80	1080	21-may.	1:00
6	599.24	8.40	1020	25-jun.	17:00
7	618.65	10.00	990	21-jul.	16:00
8	638.02	11.40	1160	27-ago.	16:00
9	644.32	14.40	1160	3-sep.	16:00
10	694.25	15.20	1180	29-oct.	16:00
11	687.56	16.35	1260	19-nov.	14:00
12	739.51	20.45	1310	17-dic.	17:00

Tabla 4-46 Demanda de frío a -40°C del módulo de refrigeración en Puerto Williams

El valor de demanda máxima del módulo refrigerador instalado en la ubicación situada en la Patagonia es de 1310 kW. Un equipo con esta potencia sería suficiente para cubrir completamente las necesidades energéticas del módulo. Los valores de demandas mensuales son muy similares entre sí como cabe esperar en base a las características de esta zona climática.

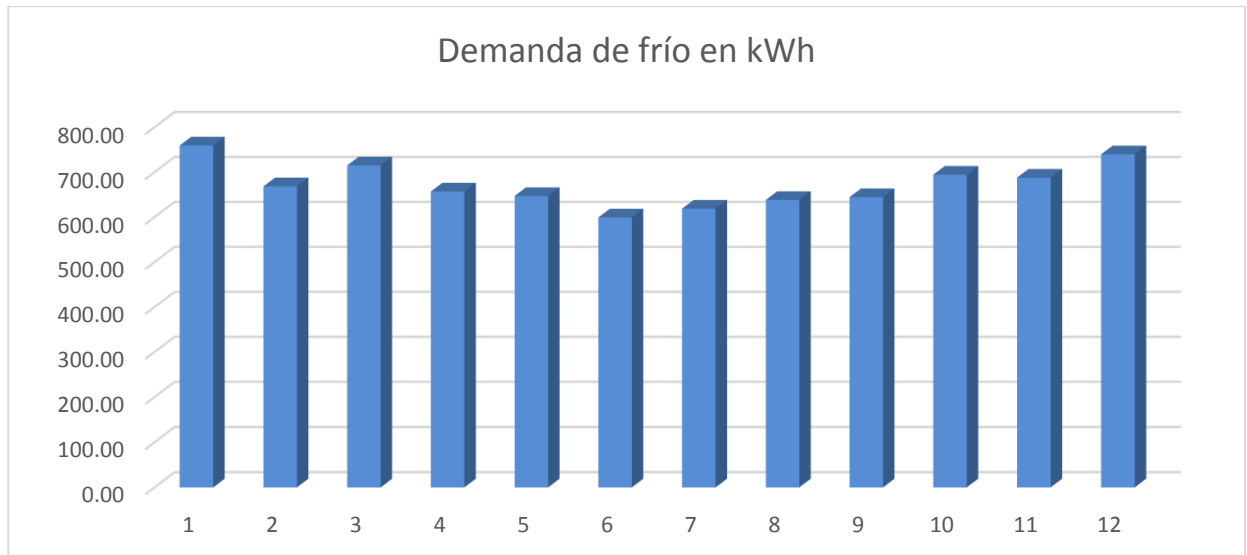


Tabla 4-47 Consumo de frío en kWh a -40°C en Puerto Williams

El consumo a esta temperatura, que tampoco presenta muchas variaciones según el mes, es de 8067.66 kWh.

Tabla de resultados de demandas de frío de la simulación térmica del módulo de duchas a 10°C en Puerto Williams:

Mes	Demanda de frío (kWh)	Máxima temperatura ambiente (°C)	Máxima demanda de frío (W)	Día de máxima demanda de frío	Hora del día de máxima demanda
1	24.07	17.30	230	4-ene.	16:00
2	19.43	22.25	280	21-feb.	17:00
3	10.27	18.00	180	1-mar.	18:00
4	1.88	15.90	130	11-abr.	16:00
5	0.18	12.80	40	20-may.	16:00
6	0.00	8.40	0	no hay demanda	no hay demanda
7	0.00	10.00	0	no hay demanda	no hay demanda
8	0.26	11.40	60	27-ago.	16:00
9	1.87	14.40	110	4-sep.	16:00
10	7.30	15.20	150	20-oct.	16:00
11	11.83	16.35	170	19-nov.	14:00
12	21.27	20.45	250	18-dic.	17:00

Tabla 4-48 Demanda de frío a 10°C del módulo de refrigeración en Puerto Williams

A 10°C de temperatura interior, la demanda máxima es de 280 W, habiendo dos meses en los que no se registra ningún tipo de demanda.

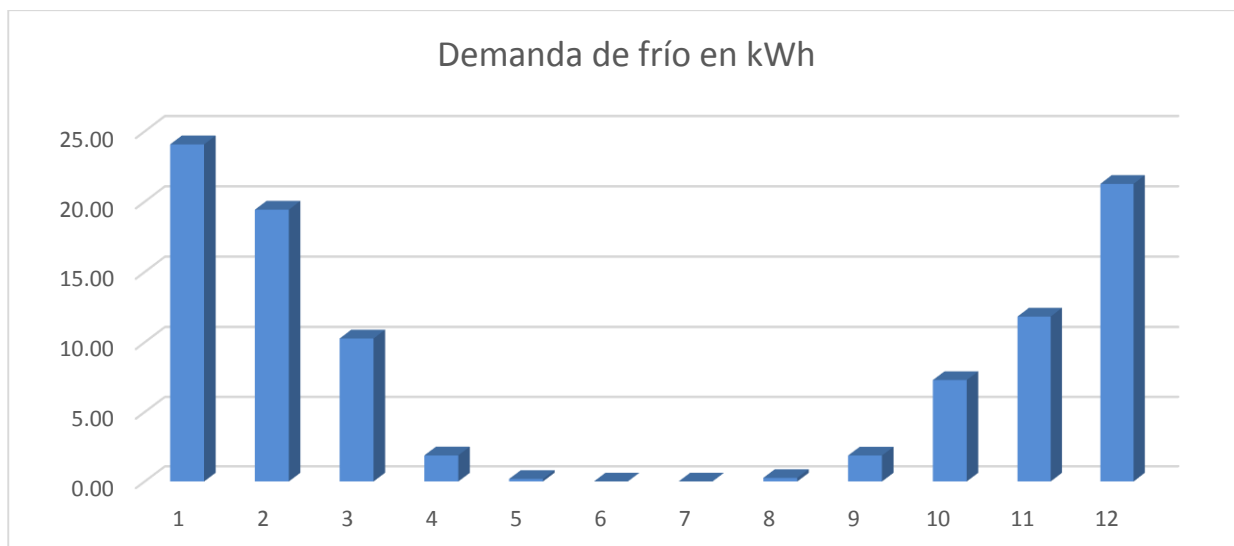


Tabla 4-49 Consumo de frío en kWh a 10°C en Puerto Williams

El consumo a 10°C sería de 98.36 kWh mientras que el consumo mixto a -15°C de temperatura interior estaría en torno a los 4080 kWh. Estos valores también dejar en evidencia que el mantenimiento de un contenedor refrigerado en estas situaciones no sería excesivamente caro si bien no se presenta tan útil como en las primeras localizaciones.

4.3.5 Discusión de los resultados

A continuación se presenta una tabla resumen con las demandas máximas de potencia térmica calorífica:

	Demandas de calor máximas (W)				
	Puerto Príncipe (región A)	Yibuti (región B)	Colonia (región C)	Yakutsk (región D)	Puerto Williams (región E)
Módulo de primeros Auxilios	410	430	790	2190	1010
Módulo de duchas	400	470	1110	4000	1500

Tabla 4-50 Resumen de demandas de calor máximas

Se puede observar como en ambos casos, la demanda de calor aumenta en las ubicaciones de climas más fríos, advirtiéndose un pico en la región D, que es la que registra temperaturas más bajas en casi todo el año, aunque en verano sus temperaturas superen las de la población de la región E.

Se deduce de los resultados obtenidos, que las mayores ganancias térmicas del contenedor de duchas (ACS), no son suficientes para compensar las renovaciones de aire forzadas producidas por el ventilador instalado en este módulo.

Estas renovaciones, provocan que en las ubicaciones más frías, donde las temperaturas de aire exterior son más bajas, la demanda de potencia térmica se dispare. Esto es debido a que el ventilador introduce aire exterior a muy baja temperatura dentro del módulo. Se comprueba, del mismo modo, que en las ubicaciones más cálidas, en las que el aire que accede al interior del contenedor se encuentra a mayor temperatura, este efecto disminuye, e incluso, en la región A, se invierte ligeramente.

Esto puede llevar a la conclusión de que, especialmente en el caso de la Yakutsk, en la región D, se podría realizar un análisis más detallado, en el que se estudiara la posibilidad de disminuir la

potencia del ventilador para generar menos renovaciones de aire, así como en qué medida afectaría esta medida a la humedad del ambiente interior.

A continuación se presenta una tabla resumen con las demandas máximas de potencia térmica frigorífica:

Demandas de frío máximas (W)					
	Puerto Príncipe (región A)	Yibuti (región B)	Colonia (región C)	Yakutsk (región D)	Puerto Williams (región E)
Módulo de primeros Auxilios	740	1050	760	600	340
Módulo refrigerador (-40°C)	1650	1790	1570	1560	1310

Tabla 4-51 Resumen de demandas de frío máximas

De la misma forma, los resultados de demandas de potencias de frío máximas, aumentan conforme el clima es más cálido. Si en la Tabla 4-50 de demandas de calor, se observaba un pico en Yakutsk por tener los inviernos más fríos, en este caso, el valor pico de demanda de potencia de térmica frigorífica aparece en la ubicación de la región B. Se comprueba que la estación cálida en Yibuti registra temperaturas mucho más elevadas que en otras regiones.

Este hecho, también se comprueba en los resultados del módulo refrigerador, sin embargo la diferencia en este caso no es tan pronunciada. Esto se debe a que la temperatura interior del módulo es extremadamente baja (-40°C), lo que hace que el salto de temperaturas sea más elevado, y por tanto la diferencia de estos saltos entre las diferentes regiones menor.

4.4 Equipos de calefacción y refrigeración para el módulo de primeros auxilios

En los siguientes apartados se van a proponer los sistemas que se consideran adecuados para atender a las demandas energéticas de los módulos en cada uno de los casos expuestos.

4.4.1 Equipos de calefacción para la zona A (Puerto Príncipe)

En esta situación, se concluye que no es necesario equipar el módulo con ningún sistema de calefacción. La baja demanda de potencia y los valores de consumo confirman que no es necesario aportar calor al módulo.

El valor mínimo de temperatura en todo el año es 18.65°C, que pese a estar 3.35°C por debajo del límite establecido, no es una cifra excesivamente baja. De hecho esta temperatura, comparada con los límites de confort térmico que establece el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene para el Trabajo), se encuentra por encima del mínimo de 17°C para zonas de trabajo sedentario y del mínimo de 14°C para zonas de trabajo ligero [37].

Sin embargo, en el caso de que especiales circunstancias exigieran que se cumplieran los valores de las temperaturas de consigna se decide seleccionar un pequeño equipo termoeléctrico portátil que cubra la pequeña demanda existente.

Estos equipos son baratos, simples, y de pequeño tamaño. Como se ha explicado en el apartado 2.3.1, el COP de estos sistemas es de 1, sin embargo, para unos consumos tan bajos este factor carece de importancia. Por ello, un equipo de 500 W de potencia cubriría la demanda que se ha calculado.

Dentro de los equipos de pequeñas dimensiones termoeléctricos, se decide seleccionar un equipo de convección natural, ya que para un uso reducido, como es el caso, proporcionan calor de forma más rápida que los sistemas de convección con inercia. Los equipos de convección forzada son más caros y

no se consideran necesarios para este supuesto. No se contemplan los equipos de radiación, ya que están diseñados para proporcionar calor a zonas muy determinadas, mientras que lo que se busca en esta situación es calentar todo el volumen del contenedor.

Por ello, en resumen, a pesar de que se propone no equipar el módulo con ningún sistema de calefacción, en caso de necesidad se recomendaría un emisor termoeléctrico portátil de convección natural de 500 W. Estos equipos son baratos y el precio varía más en función del proveedor, que en función de las bajas potencias que ofrecen.

4.4.2 Equipos de refrigeración para la zona A (Puerto Príncipe)

La potencia máxima de frío para esta ubicación se sitúa en 740 W. Se ha obtenido como resultado un consumo anual de 3093.21 kWh, de tal forma que en todos los meses se aprecia un consumo de energía significativo. Se considera que el uso de una bomba de calor es ineficiente en este caso, debido a que es un equipo más caro que un aire acondicionado corriente, que se amortiza en casos en los que las necesidades energéticas son más amplias y variadas (de frío y de calor).

Se concluye que el equipo de refrigeración adecuado es un equipo de aire acondicionado de al menos 740 W de potencia térmica.

4.4.3 Equipos de calefacción para la zona B (Yibuti)

Los resultados de la simulación térmica en Yibuti son similares a los de la ubicación de la zona A. En esa ocasión el valor de temperatura mínimo es de 14.15°C, sin embargo, del dato de la potencia máxima, de tan sólo 20 W más que en la anterior simulación, se deduce que esta temperatura no se prolonga mucho durante el día y no es, por tanto, un dato significativo. Ese mismo mes se alcanzan temperaturas de 36.45°C. Por todo esto se concluye que para este módulo tampoco es necesario un sistema de calefacción.

De todos modos, si las circunstancias requirieran mantener el margen de temperaturas de consigna tal y como se definió en su momento, al igual que en supuesto anterior, un emisor termoeléctrico de convección natural de pequeño tamaño cubriría la demanda satisfactoriamente. Se propondría en tal caso el mismo equipo que en la ubicación de la zona A ya que, además, la compra de varias unidades del mismo aparato abaratará los costes de adquisición.

4.4.4 Equipos de refrigeración para la zona B (Yibuti)

En este caso, la potencia térmica máxima registrada para mantener la temperatura del módulo por debajo de 26°C, es de 1.05 kW. De la misma manera que en el caso anterior, se aprecia un consumo de energía para este propósito bastante significativo en todos los meses, resultando un valor anual de consumo de 2145.53 kWh.

Siguiendo el mismo razonamiento que se utilizó en el módulo situado en la zona A, para seleccionar un aire acondicionado como equipo de frío del contenedor, se propone para este supuesto uno con una potencia mínima de 1.05 kW.

4.4.5 Equipos de calefacción y refrigeración para la zona C (Colonia)

Como se ha podido ver en la elección de equipos de calefacción para las dos anteriores ubicaciones, hay pequeños equipos termoeléctricos que pueden proporcionar suficiente potencia para cubrir la demanda que ha resultado en esta simulación. Sin embargo, este incremento en el consumo hace que el coste de operación de un equipo eléctrico de COP 1 sea muy elevado. Se hace necesario buscar una alternativa para abaratar estos costes.

De las opciones presentadas, la más adecuada es un equipo de aerotermia. La instalación de una bomba de calor es más costosa que la adquisición de un equipo eléctrico, ya que esta requiere de instalación de un equipo exterior, un circuito y, un radiador para el interior. Aun así, es más barato que los sistemas de calefacción por gas o gasoil, y las potencias que ofrecen se ajustan mucho más a las

necesidades del módulo estudiado. Una vez terminada la inversión inicial, el rendimiento es mucho mayor tal y como se explica en el apartado 2.3.2. Esto supone un ahorro importante en energía eléctrica.

Otra ventaja de las bombas de calor, es que la mayoría poseen una válvula inversora de ciclo que hace que su funcionamiento sea reversible y pueda generar tanto frío, como calor. Esto se traduce en una instalación más simple y en un abaratamiento de los costes. En este supuesto, por tanto, sería necesaria una bomba de calor que produjera una potencia térmica mínima de 790 W y una potencia de refrigeración mínima de 760 W.

4.4.6 Equipos de calefacción para la zona D (Yakutsk)

Con los datos de esta simulación, podría parecer que una bomba de calor de suficiente potencia podía abastecer las demandas de calor del módulo. Incluso un equipo eléctrico podría ser suficiente. No obstante, este último, se descarta por la misma razón por la que se descartó para la zona C, por el coste de operación. Las bombas de calor, aun no siendo tan útiles como en zonas dónde se puedan aprovechar para generar frío, parecen, *a priori*, la opción más atractiva ya que una instalación de gas o gasoil resulta muy costosa, y posee unas dimensiones desproporcionadas para volúmenes tan pequeños como el de los módulos que se han sometido a estudio. Sin embargo, los equipos de aerotermia presentan problemas a temperaturas tan bajas (la mínima en esta ubicación es de -48.25°C).

Tal y como se explica en el apartado 2.3.2, a temperaturas tan bajas, la eficiencia cae de forma drástica, y aparecen problemas de congelación en el interior del equipo que pueden detener su funcionamiento. Por ello, para este caso, la única opción viable sería el uso de equipos de calefacción por combustión de gas o gasoil convencionales, o calderas de microgeneración. Estas últimas, son la mejor opción para instalaciones de pequeño tamaño asiladas, y por tanto para diseñar módulos lo más energéticamente independientes entre sí posible. Las calderas convencionales deberían conectarse a varios módulos para hacer un uso eficiente de su alta capacidad. Además, los equipos de cogeneración producirían la electricidad necesaria para el funcionamiento de la iluminación del contenedor, e incluso, el posible uso de algún equipo informático.

Dentro de los diferentes combustibles para estas calderas de microgeneración, se descartan el Gas Natural ya que la aplicación para la que se diseñan estos módulos (catástrofes naturales, zonas afectadas por la guerra...) hace suponer que no va a haber posibilidad de conectarse a una red general de suministro. Otras posibilidades son los líquidos que permitan ser almacenados tales como el gasóleo o los gases propano o butano. Se ha explicado anteriormente que el butano no trabaja bien a temperaturas excesivamente bajas, por lo que queda también descartado. Finalmente, se decide utilizar una caldera de microgeneración de gasoil, ya que este combustible líquido es más sencillo de obtener que el gas propano, y además es almacenado de forma más fácil y segura.

Se propone por tanto una caldera de gasoil de microgeneración con una potencia térmica mínima de 2.2 kW.

4.4.7 Equipos de refrigeración para la zona D (Yakutsk)

Del mismo modo que las bajadas de temperaturas en las ubicaciones de la zona A y B no se prolongaban mucho durante el día, en este caso, las subidas de temperaturas no son datos significativos por ser también valores muy puntuales. La temperatura máxima registrada, de 31.5°C , se combina con temperaturas mínimas ese mismo mes de entorno a los 6°C . Los datos de consumo de frío (140 kWh anuales), confirman que la demanda de frío es despreciable. Se concluye que no es necesaria la instalación de un equipo de refrigeración para atender a la escasa demanda de frío que se produce. Puntalmente, un equipo ventilador portátil conectado a la corriente, podría reducir la sensación térmica de los ocupantes del módulo si las circunstancias lo hicieran necesario.

4.4.8 Equipos de calefacción para la zona E (Puerto Williams)

Del mismo modo que en el módulo ubicado en Yakutsk, las potencias térmicas requeridas para calentar el interior del volumen del módulo, hacen que prácticamente cualquier equipo pueda atender esta demanda. Igualmente, por las mismas razones, se descartan equipos termoeléctricos.

Las bombas de calor en este caso no serían tan fácilmente descartables, ya que la tecnología las ha desarrollado para que puedan ser adaptadas para un funcionamiento a temperaturas bajas cercanas a los mínimos de esta ubicación.

La instalación de una bomba de calor en este supuesto, sin embargo, se descarta por la misma razón por la que se descartó en la ubicación precedente. Resultan poco eficientes en entornos de muy bajas temperaturas y donde, además, el salto entre las temperaturas interior y exterior es del también muy elevado. Una de las ventajas de estos equipos, la reversibilidad del proceso de modo que puedan generar frío, no es aquí necesaria, ya que la demanda de frío resulta de 7 W anuales.

Se considera, por tanto, que la mejor opción es equipar al módulo con un equipo de microgeneración similar al del módulo de la región D, aunque, en este caso, de menor potencia. Este equipo proporcionará suficiente potencia para atender la demanda energética, y además proporcionará energía eléctrica que aumentará la independencia de los módulos, factor importante que se tiene muy en cuenta para la aplicación que se le busca dar a los contenedores.

4.4.9 Equipos de refrigeración para la zona E (Puerto Williams)

Con una demanda anual de 7 W se entiende que no es necesario ningún aporte de frío al módulo en esta ubicación.

Se obtuvieron picos de 340 W, 320 W y 170 W, valores algo elevados si se tiene en cuenta que la temperatura máxima apenas supera los 22°C y la temperatura límite superior es de 26°C. Se entiende que estos valores se derivan, principalmente, de la radiación que penetra por la ventana. Se puede esperar, por tanto, que esos picos desaparezcan aplicando medidas como la instalación de una cortina o toldo que reduzca la exposición al sol del interior del módulo.

4.4.10 Resumen de sistemas de suministro para el módulo de primeros auxilios

La siguiente tabla resume las propuestas de equipos, así como las potencias y consumos de los mismos para el módulo de primeros auxilios en las diferentes regiones:

Ubicación	Equipo de calefacción	Potencia mínima del equipo de calefacción	Consumo de calor	Equipo de refrigeración	Potencia mínima de equipo de refrigeración	Consumo de frío
Puerto Príncipe (A)	Ninguno/Emisor termoeléctrico portátil	0.41 kW	123 kWh	Aire acondicionado	0.74 kW	3093 kWh
Yibuti (B)	Ninguno/Emisor termoeléctrico portátil	0.43 kW	171 kWh	Aire acondicionado	1.05 kW	2146 kWh
Colonia	Bomba de calor	0.79 kW	1412 kWh	Bomba de calor (revertida)	0.76 kW	140 kWh
Yakutsk (D)	Caldera diésel de microgeneración	2.19 kW	7422 kWh	Ninguno	-	-
Puerto Williams	Caldera diésel de microgeneración	1.01 kW	3829 kWh	Ninguno	-	-

Tabla 4-52 Tabla resumen para el módulo de primeros auxilios

4.5 Equipos de calefacción para el módulo de duchas

Para la selección de los equipos adecuados para el módulo de duchas, a las demandas térmicas calculadas en las simulaciones, se les añade una estimación de las demandas de calor necesarias a mayores para calentar en agua de las ducha en las diferentes ubicaciones. Se ha tenido en cuenta, que no se puede calentar el agua hasta la temperatura a la que se desea que llegue a la cabeza de la ducha, ya que esto puede causar problemas de desarrollo de la legionela [38].

Pese a que el equipo de acumulación de agua con el que se equiparía al contenedor, formaría parte de lo que la normativa UNE 100030 IN califica como “instalaciones de agua caliente sanitaria de pequeño volumen de acumulación” y por tanto “instalación de bajo riesgo” [38], se realizan los cálculos que se detallan en el Anexo III, teniendo en cuenta las medidas necesarias para evitar la proliferación de la bacteria de la Legionela.

Por ello, se supone el caso en el que la mitad del agua necesaria se calienta hasta los 60°C (con períodos de 70°C para la eliminación de la bacteria), y la otra mitad procede de un tanque de agua a temperatura ambiente. Del mismo modo, si la temperatura ambiente media de cierta ubicación hiciera que el agua a temperatura ambiente superara los 20°C, habría que evitar refrigerar esta agua para no entrar en el rango de temperaturas en los que se desarrolla la bacteria (20-45°C).

Por otra parte, se ha mencionado en el punto 3.8.2 que no se tendrán en cuenta las demandas de frío, ya que no se prevé instalar equipos de refrigeración. La razón que ha llevado a la toma de esta decisión, es la aplicación para la que se habría diseñado el módulo de duchas. Un ocupante va a emplear la mayoría del tiempo que pase dentro del contenedor metido en la ducha. Esto implica que, descontando el hecho de que nunca se va a alcanzar una temperatura tan alta como para poner en riesgo la salud de los usuarios, en el caso en el que el contenedor alcance una temperatura por encima del confort térmico, el agua de las duchas harán descender eficazmente la temperatura corporal de aquel que haga uso de ellas.

Expuesto esto, se pasa a estudiar, en los siguientes puntos, los equipos que pueden atender a la demanda de calor del módulo de duchas en las diferentes ubicaciones. Para el cálculo del dimensionamiento de estos equipos, no se tendrá en cuenta el sistema de iluminación, ya que tal y como se ha mencionado anteriormente, estaría formado por elementos tipo LED de un consumo eléctrico despreciable.

4.5.1 Equipos de calefacción de agua para la zona A (Puerto Príncipe)

Tal y como sucedía en el módulo de primeros auxilios en esta ubicación, las demandas máximas y los consumos sugieren que no es necesario equipar este módulo con ningún equipo de calefacción.

Se podría considerar en un momento dado, por la misma razón, abaratar costes no ofreciendo servicio de agua caliente, y utilizar agua templada para el consumo en las duchas. Esto es debido a que se trata de una zona de altas temperaturas en la que ducharse con agua templada no va a suponer una gran incomodidad al usuario. Sin embargo, se va a calcular de todas maneras la demanda de potencia necesaria para calentar el ACS en caso de que se decida equipar al módulo con esta posibilidad.

Para el equipo de calefacción de agua, se calcula un pico de demanda de calor de 20.87 kW. De entrada se descartan sistemas eléctricos por el elevado coste de operación en base al consumo que resultaría de calentar un volumen tan elevado de agua. También se descartan las bombas de calor, ya que la elevada temperatura del ACS, el elevado salto de temperaturas entre el ACS, y la temperatura ambiente reducirían en gran medida la eficiencia de estos equipos. Se ha de decidir entonces entre caderas convencionales o de microgeneración.

Para tomar esta decisión, se ha de considerar que no se va a tener una gran demanda de potencia eléctrica, ya que la iluminación previsiblemente se compondrá de elementos LED de bajo consumo. Por otra parte, no se considera necesaria la instalación de una bomba de calor, ya que no hay demanda de frío para la refrigerar el agua fría, que será suministrada por un depósito exterior de mayores

dimensiones que la mantendrá a una temperatura adecuada y que, como se ha explicado, no se someterá a estudio. Por ello se decide que el equipo adecuado para esta ocasión es una caldera convencional que utilice como combustible el gasoil (más fácil de obtener y almacenar que combustible gaseoso) de modo que genere suficiente potencia térmica para calentar el agua de las duchas.

4.5.2 Equipos de calefacción de agua para la zona B (Yibuti)

Esta ubicación presenta características muy similares a la de la zona A, y por tanto los datos de demandas y consumos de calor sugieren, utilizando el mismo razonamiento que en el módulo de primeros auxilios de esta misma ubicación, que no es necesario instalar un equipo de calefacción del aire del módulo.

Se utilizan los mismos argumentos que en el apartado previo para seleccionar una caldera de gasoil que proporcione suficiente potencia térmica calorífica. En base a esto se selecciona un equipo con un mínimo de 23.37 kW de potencia térmica.

4.5.3 Equipos de calefacción para la zona C (Colonia)

Para el módulo de primeros auxilios de la zona C, se decidió utilizar una bomba de calor ya que las demandas máximas térmicas no eran muy altas, pero el consumo era demasiado elevado para equipos termoeléctricos.

En este caso, la necesidad de calentar el agua del circuito de ACS hasta 70°C en algunas ocasiones, hace que una bomba de calor sea un equipo ineficiente para esta situación. Se opta de nuevo por una caldera de gasoil. Con el propósito de simplificar la instalación, a la hora de dimensionar la caldera, se tiene en cuenta tanto la demanda térmica del aire del contenedor, como la demanda térmica de climatización del agua de las duchas.

Se selecciona finalmente una caldera de gasoil de como mínimo 24.11 kW térmicos (23 kW procedentes del calentamiento del agua y 1.11 kW procedentes de la calefacción del aire).

4.5.4 Equipos de calefacción para la zona D (Yakutsk)

En esta ubicación, el valor de la demanda máxima para mantener la temperatura del interior por encima de los 22°C es de 4 kW. Tal y como se ha explicado, en el caso del módulo de primeros auxilios en esta misma zona, se descarta la utilización de un equipo aerotérmico para cubrir esta demanda. Además, en esta situación, la demanda de potencia térmica calorífica para tener la capacidad de elevar la temperatura del agua lo suficiente en todo momento, asciende hasta 25.15 kW. En total la demanda de calor máxima se sitúa en torno a los 29,15 kW.

Para cubrir la demanda térmica se escoge una caldera de diésel de 29.15 kW de potencia térmica mínima.

4.5.5 Equipos de calefacción para la zona E (Puerto Williams)

La demanda máxima de potencia térmica de calefacción del aire en esta simulación se sitúa en 1.5 kW. Sumados a los 25.15 kW necesarios para poder calentar el agua del circuito de ACS hasta las temperaturas adecuadas, resulta una potencia térmica calorífica total de 26.65 kW.

A pesar de que no se está estudiando el depósito externo de abastecimiento de agua, es reseñable destacar en este caso, que no se considera necesario enfriar el agua dicho depósito y por lo tanto la simplicidad del mismo facilitará su adquisición incluso en la zona donde se va a instalar el contingente de emergencia. Se tiene en cuenta para esta conclusión, que solamente se registraron dos máximas mensuales que superaron los 20°C. En el mes de diciembre se registró una máxima de 20.45°C y en febrero un pico de 22.25°C. Estos valores son muy puntuales y extremadamente aislados, y se consideran despreciables a la hora de valorar la instalación de un equipo para enfriar el agua del circuito de agua fría.

Se decide finalmente, el uso de una caldera convencional de gasoil de 26.65 kW de potencia térmica calorífica mínima para satisfacer la demanda.

4.5.6 Resumen de equipos de suministro para el módulo de duchas

Los equipos escogidos, potencias y demandas del módulo de duchas en las diferentes regiones se resumen en la siguiente tabla:

Ubicación	Equipo de calefacción	Potencia mínima para calefacción de aire	Potencia mínima para acondicionamiento de ACS	Potencia total	Consumo anual
Puerto Príncipe (A)	Caldera de diésel	0 kW	20.87 kW	20.87 kW	42.75 kWh
Yibuti (B)	Caldera de diésel	0 kW	23.37 kW	23.37 kW	60.42 kWh
Colonia (C)	Caldera de diésel	1.11 kW	23.00 kW	24.11 kW	1840.97 kWh
Yakutsk (D)	Caldera de diésel	4.00 kW	25.15 kW	29.15 kW	10233.53 kWh
Puerto Williams (E)	Caldera de diésel	1.50 kW	25.15 kW	26.65 kW	5406.73 kWh

Tabla 4-53 Tabla resumen para el módulo de duchas

4.6 Equipos de refrigeración para el módulo refrigerador

El equipo de suministro para el módulo refrigerador va a ser el mismo en todos los casos, ya que para hacer descender las temperaturas hasta los valores de trabajo que se han marcado, es necesario una máquina frigorífica de potencia variable según la ubicación del módulo. En la siguiente tabla resumen se especifican los valores de consumo y las potencias de dichos equipos.

Ubicación	Equipo	Potencia mínima del equipo	Consumo anual a -40°C (refrigerador)	Consumo anual a 10°C (congelador)	Consumo medio
Puerto Príncipe (A)	Máquina frigorífica	1.65 kW	11.4 MWh	2.59 MWh	6.99 MWh
Yibuti (B)	Máquina frigorífica	1.79 kW	11.8 MWh	2.99 MWh	7.39 MWh
Colonia (C)	Máquina frigorífica	1.57 kW	11.8 MWh	1.19 MWh	6.50 MWh
Yakutsk (D)	Máquina frigorífica	1.56 kW	5.98 MWh	0.34 MWh	3.16 MWh
Puerto Williams (E)	Máquina frigorífica	1.31 kW	8.07 MWh	0.09 MWh	4.08 MWh

Tabla 4-54 Tabla resumen para el módulo refrigerador

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Han quedado reflejadas, tras el estudio realizado en los apartados anteriores, las demandas energéticas de tres diferentes configuraciones de módulos de servicios basados en contenedores marítimos, a su vez instalados en puntos geográficos muy dispares entre sí. Características mínimas de los equipos y datos de consumo de los mismos, ofrecen una visión previa de la viabilidad y coste de mantenimiento de dichos módulos en las diferentes localizaciones. Esto puede suponer un punto de partida a la hora de realizar otros estudios siguiendo dos caminos diferentes: la adquisición de contenedores reutilizados para su posterior modelización en módulos de servicios, y la adquisición por parte de la Armada de módulos de servicios a empresas proveedoras.

5.2 Adquisición de contenedores reutilizados para módulos de servicios

El diseño de los cerramientos de los módulos que se sometieron a estudio, se realizó pensando en una estructura que utilizaba un contenedor marítimo de segunda mano como base. La orientación principal del estudio era el análisis de cargas térmicas en módulos de servicios sobre contenedores reciclados por lo que la principal línea de posibles estudios complementarios se abre en esta dirección.

Para un informe completo que esclarezca la posibilidad de compra de estos contenedores, sería necesario realizar un estudio económico que abarcara la inversión inicial de compra de contenedores, la adquisición de equipos de climatización, precio de combustibles de dichos equipos según la ubicación del módulo, materiales necesarios, mano de obra, etc. También sería conveniente realizar un estudio de la capacidad de la Armada para utilizar medios propios para la modelización de los contenedores, así como medios para el almacenamiento, y coste del transporte de los mismos, desde el punto de almacenamiento al buque que los va a transportar a su destino. Podría ser interesante analizar con más detalle los buques que van a poder transportar los contenedores, bajo qué tipo de misiones qué unidades tendrían cuánto espacio para ellos, y que medios del propio buque serían necesarios para el transporte del módulo hasta su emplazamiento final.

Análogamente, podría estudiarse de forma más detallada la composición de un contingente de emergencia. En el presente proyecto se han estudiado 3 módulos que pretendían ser los más energéticamente independientes posible pero en el caso de un despliegue compuesto íntegramente por medios nacionales es lógico pensar que el “campamento” ofrecerá muchos más servicios que estarán conectados entre sí. Un estudio acerca de qué servicios serían necesarios en dicho campamento, organización de los mismos, o abastecimiento del despliegue, podrían ofrecer una perspectiva diferente de la ayuda que se puede prestar en las situaciones para las cuales están pensados los módulos de servicios del proyecto.

En resumen, un análisis de todos los factores expuestos, especialmente los de ámbito económico, llevarán a una conclusión adecuada acerca de si la mejor opción para utilización de módulos de servicios para situaciones de emergencia, pasa por utilizar contenedores marítimos reutilizados, o por adquirirlos a empresas que los diseñen en dimensiones similares.

5.3 Adquisición de módulos de servicios a empresas especializadas

Existen multitud de empresas que tienen experiencia en la venta de módulos de servicios a otros cuerpos de las FAS para aplicaciones similares a las aquí planteadas. Como se ha explicado, la posibilidad de adquisición de estos productos, resultará de una comparación de los mismos con los posibles estudios expuestos en el anterior apartado.

En el caso de decantarse por la contratación de los servicios de estos proveedores, el presente proyecto supone una aproximación a la viabilidad y coste de operación de los módulos especificados según a las diferentes condiciones climáticas. Esto es así ya que, aunque las simulaciones térmicas se realizaron sobre modelos que suponían cerramientos característicos de un contenedor reutilizado modificado, los módulos ofrecidos por estas empresas son de dimensiones similares (idénticas en muchos casos para facilitar transporte), y de cerramientos muy parecidos. Resultaría interesante, por tanto, estudiar costes de operación de dichos módulos en base a los resultados obtenidos en el presente proyecto, o bien, costes asociados a los módulos integrados en un despliegue de mayores dimensiones.

Por otro lado, se podría llevar a cabo un estudio que analizara la variedad necesidades que surgen en diferentes situaciones de emergencia, para especificar una serie de productos que se habrían de adquirir para atender a las diferentes contingencias. Podría elaborarse un pliego de prescripciones técnicas que recogiera estas necesidades, para sacar a licitación pública el contrato de diseño de estos módulos en caso de no encontrar productos que satisficieran dichas necesidades.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. P. D. Frank P. Incropera, *Fundamentos de Transferencia de Calor*, Pearson, Prentice Hall, 2009.
- [2] A. L. González, *El contenedor, la terminal y métodos informáticos*, Barcelona, 2009.
- [3] «Ginebra, Convenio Aduanero de,» Ginebra, 1956.
- [4] «Ordenanza de Aduanas de España, artículo 138, apartado C».
- [5] «www.independent.com,» [En línea]. Available: http://media.independent.com/img/photos/2007/11/06/containers_2.jpg.
- [6] «www.sednacontainers.com,» [En línea].
- [7] «www.shippingcontainersuk.com,» [En línea].
- [8] «www.contraders.com,» [En línea].
- [9] «www.peveregroup.com,» [En línea].
- [10] «www.cnc-ebusiness.com,» [En línea].
- [11] «www.container.lv,» [En línea].
- [12] R. Devis, «www.rankia.com,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.rankia.com/blog/luz-y-gas/2552235-tipos-calefaccion-gas-electrica-radiante-bomba-calor>.
- [13] «www.nergiza.com,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.nergiza.com/calefaccion-electrica-por-efecto-joule-el-calor-mas-simple/>.
- [14] «www.dimplex.de,» [En línea].
- [15] «www.calderasgas.net,» [En línea]. Available: <http://www.calderasgas.net/calefaccion.htm>.
- [16] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «www.minietur.gob.es,» [En línea]. Available: <http://www.minetur.gob.es/energia/glp/Paginas/Index.aspx>.
- [17] J. B. D. y J. I. G. Bielsa, *Guía Básica de la Microcogeneración*, Madrid, 2012.
- [18] Y. A. Ç. y M. A. Boles, *Termodinámica*, Mc Graw Hill, 2012.

- [19] G. Guanípa, *Sistemas de Refrigeración*, 2010.
- [20] «www.armada.mde.es,» [En línea].
- [21] «www.wisc.edu,» [En línea]. Available: sel.me.wisc.edu/trnsys.
- [22] «www.koeppen-geiger.vu-wien.ac.at,» [En línea]. Available: koeppen-geiger.vu-wien.ac.at.
- [23] «www.meteo.navarra.es,» [En línea]. Available: <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>.
- [24] A. y. O. C. J. Gil Olcina, *Climatología básica*, Barcelona: Ariel , 1999.
- [25] «www.arpaemc.com,» [En línea]. Available: www.arpaemc.com.
- [26] *Pliego de prescripciones técnicas para contenedor de 20 pies (especial)*, Madrid: Ministerio de Defensa, 2003.
- [27] ARPA, S.A.U., *Catálogo de productos*, 2012.
- [28] «www.un.org,» [En línea]. Available: <http://www.un.org/es/globalissues/climatechange/>.
- [29] G. REY GONZÁLEZ, C. ULLOA SANDE, J. L. MIGUEL TABARÉS y A. CACABELOS RYES, «Diseño y estudio de cargas térmicas de una vivienda-contenedor utilizando Trnsys,» *IX Congreso Navional de Ingeniería Termodinámica*.
- [30] S. Containerhandel, *Technical specification for stell dry cargo container*, Waldheim, 2012.
- [31] AENOR, *UNE-EN ISO 13790 Eficiencia energética de los edificios. Cálculo de consumos de energía para caefacción y refrigeración de espacios*, 2011.
- [32] International Organization for Standardization, *ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment*, 2005.
- [33] J. P. P. E. y J. M. P. C. Carlos Ulloa, «Application Model for a Stirling Engine Micro-Generation System in Caravans in Different European Locations,» *Energies*, 2013.
- [34] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., *ASHRAE® Handbook, Fundamentals*, 2009.
- [35] INTERNATIONAL CODE COUNCIL, INC. , *International Mechanical Code*, 2006.
- [36] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Consumos del Sector Residencial en España».
- [37] INSHT-Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (CNCT), «confort térmico,» *ERGA*, nº 99, 2007.
- [38] AENOR, *UNE 100030 Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones*, 2005.
- [39] H. N. S. Michael J. Moran, *Fundamentos de Termodinámica Técnica*, Editorial Reverte, 2004.
- [40] «www.ehu.es,» [En línea]. Available: http://www.ehu.es/rperez/Fisicabio/docs/densidad_visco.pdf.
- [41] Ministerio de Fomento, «Documento básico HS Salubridad,» de *Código Técnico de*

Edificación.

- [42] J. M. Hogin, *Thermodynamics, principles characterizing physical and chemical processes*, Elsevier, 2014.
- [43] J. Marfona, «A finite element model of EDM based on the Joule effect,» *International Journal of Machine Tool and Manufacture*, vol. 46, 206.
- [44] «www.e-educativa.catedu.es,» [En línea]. Available: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1159/html/11_energa_disipada_en_un_conductor_ley_de_joule.html.
- [45] D. E. R. Kenneth Wark, *Termodinámica*, McGraw Hill, 2000.
- [46] «www.gitam.edu,» [En línea].
- [47] «www.seabreezes.co.im,» [En línea].

ANEXO I: CÁLCULOS DE LA CAPACITANCIA TÉRMICA

I.I Capacitancia térmica del mobiliario interior del módulo de primeros auxilios

Para hacer una estimación de un valor de capacitancia térmica asociada al mobiliario del módulo coherente, se va suponer que se utiliza el mobiliario que viene reflejado en el catálogo de ARPA, S.A.U utilizado como referencia. En el caso del contenedor de primeros auxilios el mobiliario está compuesto por:

- 1 Mesa grande (aluminio)
- 1 Camilla (aluminio)
- 1 Lavabo (acero inoxidable)
- 5 Armarios (acero inoxidable)
- 1 Taquilla (acero inoxidable)
- 2 Sillas (aluminio)
- 1 Mueble auxiliar (aluminio)
- 1 Caja para el extintor (aluminio)

Para los cálculos se consideran los dos materiales con mayor presencia (acero inoxidable y aluminio) no teniendo en cuenta el resto.

Se realiza la estimación inicial de que del volumen total del contenedor (35.008 m³), un 0.4% corresponde al volumen de aluminio, un 0.1% al volumen de acero inoxidable y el restante 95.5% es aire. Finalmente queda:

- $V_{aire} = 35.828 \text{ m}^3$
- $V_{al} = 0.144 \text{ m}^3$
- $V_{ac.inox} = 0.036 \text{ m}^3$

El calor específico de un elemento se define como la cantidad de energía que hay que aportar a una unidad de masa de dicho elemento para que este eleve su temperatura en un grado.

Se supone una masa de aire en el interior del módulo a una presión de 1 atm y temperatura de 300 K. El calor específico de aire para esas condiciones equivale a:

- $c_{p,aire} = 1.003 \text{ KJ}/\text{kg} \times K$

Para hallar la capacidad térmica del volumen de aire presente en el módulo se ha de calcular la masa de aire que hay en ese volumen. Se conoce la densidad de aire para las condiciones dadas:

- $\rho_{aire} = 1.223 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$m_{aire} = V_{aire} \times \rho_{aire} = 35.828 \text{ m}^3 \times 1.223 \text{ kg}/\text{m}^3 = 44.18 \text{ kg de aire}$$

Ecuación I-1 Masa de aire en el interior del módulo

El producto de esta masa por el calor específico del aire resulta la capacidad térmica del aire del interior del módulo

$$C_{aire} = m_{aire} \times c_{p,aire} = 44.18 \text{ kg} \times 1.003 \text{ KJ}/\text{kg} \times K = 44.31 \text{ KJ}/K$$

Ecuación I-2 Capacitancia térmica del aire interior del módulo

Se sigue el mismo procedimiento para calcular la capacidad térmica de la masa de aluminio del mobiliario interior:

- $\rho_{al} = 2800 \text{ kg/m}^3$

$$m_{al} = V_{al} \times \rho_{al} = 0.144 \text{ m}^3 \times 2800 \text{ kg/m}^3 = 403.2 \text{ kg de aluminio}$$

Ecuación I-3 Masa de aluminio en el interior del módulo

- $c_{p,al} = 0.896 \text{ KJ/kg} \times K$

$$C_{al} = m_{al} \times c_{p,al} = 403.2 \text{ kg} \times 0.896 \text{ KJ/kg} \times K = 361.27 \text{ KJ/K}$$

Ecuación I-4 Capacitancia térmica del aluminio interior del módulo

De forma análoga para el acero inoxidable:

- $\rho_{ac.inox} = 7800 \text{ kg/m}^3$

$$m_{ac.inox} = V_{ac.inox} \times \rho_{ac.inox} = 0.036 \text{ m}^3 \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 280.8 \text{ kg de acero inoxidable}$$

Ecuación I-5 Masa de acero inoxidable en el interior del módulo

- $c_{p,ac.inox} = 0.512 \text{ KJ/kg} \times K$

$$C_{ac.inox} = m_{ac.inox} \times c_{p,ac.inox} = 280.8 \text{ kg} \times 0.512 \text{ KJ/kg} \times K = 143.77 \text{ KJ/K}$$

Ecuación I-6 Capacitancia térmica del acero inoxidable interior del módulo

La capacitancia térmica del mobiliario del contenedor es la suma de las capacitancias de cada uno de los materiales que componen lo componen

$$C_{mob} = \sum (C_{aire}, C_{al}, C_{ac.inox}) = 549.35 \text{ KJ/K}$$

Ecuación I-7 Capacitancia térmica del mobiliario

I.II Capacitancia térmica del mobiliario interior del módulo de duchas

Del mismo modo que para el cálculo anterior, se considera el mobiliario del módulo de duchas de ARPA, S.A.U que se utiliza como referencia. En este caso se compone en su mayor parte por:

- 8 cabinas de duchas (aluminio en su mayor parte, acero inoxidable en ciertos elementos)
- Colgadores (acero inoxidable)

Como estimación inicial se considera que del volumen total del contenedor (35.008 m^3), un 0.45% corresponde al volumen de aluminio, un 0.05% al volumen de acero inoxidable y el restante 95.5% es aire. Finalmente queda:

- $V_{aire} = 35.828 \text{ m}^3$
- $V_{al} = 0.162 \text{ m}^3$
- $V_{ac.inox} = 0.018 \text{ m}^3$

Puesto que se supone la misma masa de aire en el interior del módulo bajo las mismas condiciones que en el anterior supuesto, el calor específico de aire es el mismo:

$$C_{aire} = 44.31 \text{ KJ}/K$$

Ecuación I-8 Capacitancia térmica del aire interior del módulo

Con respecto al aluminio:

- $\rho_{al} = 2800 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$m_{al} = V_{al} \times \rho_{al} = 0.162 \text{ m}^3 \times 2800 \text{ kg}/\text{m}^3 = 453.6 \text{ kg de aluminio}$$

Ecuación I-9 Masa de aluminio en el interior del módulo

- $c_{p,al} = 0.896 \text{ KJ}/\text{kg} \times K$

$$C_{al} = m_{al} \times c_{p,al} = 453.6 \text{ kg} \times 0.896 \text{ KJ}/\text{kg} \times K = 406.43 \text{ KJ}/K$$

Ecuación I-10 Capacitancia térmica del aluminio interior del módulo

Para los componentes de acero inoxidable:

- $\rho_{ac.inox} = 7800 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$m_{ac.inox} = V_{ac.inox} \times \rho_{ac.inox} = 0.018 \text{ m}^3 \times 7800 \text{ kg}/\text{m}^3 = 140.4 \text{ kg de acero inoxidable}$$

Ecuación I-11 Masa de acero inoxidable en el interior del módulo

- $c_{p,ac.inox} = 0.512 \text{ KJ}/\text{kg} \times K$

$$C_{ac.inox} = m_{ac.inox} \times c_{p,ac.inox} = 140.4 \text{ kg} \times 0.512 \text{ KJ}/\text{kg} \times K = 71.88 \text{ KJ}/K$$

Ecuación I-12 Capacitancia térmica del acero inoxidable interior del módulo

La suma de las capacitancias de cada uno de los materiales resulta:

$$C_{mob} = \sum (C_{aire}, C_{al}, C_{ac.inox}) = 522.62 \text{ KJ}/K$$

Ecuación I-13 Capacitancia térmica del mobiliario

I.III Capacitancia térmica del mobiliario interior del módulo de refrigeración

En el caso del módulo refrigerador una gran parte del valor de la capacitancia térmica vendrá dada por los alimentos que se introducen en el contenedor, a una temperatura normalmente mayor que la del aire interior, para ser refrigerados y congelados. Aunque este dato es muy variable y difícil de estimar, no puede obviarse ya que la capacitancia resultante sería notablemente menor a la real. No obstante, esta corrección se realiza en el apartado 3.9.3 sobre el dato que se obtiene en esta sección del cálculo de capacitancia térmica de mobiliario interior. Una vez expuesto esto, se procede a dicho cálculo teniendo en cuenta que los componentes de mayor presencia en el módulo refrigerador del catálogo de referencia son:

- Estantes (acero inoxidable)
- Ganchos (acero inoxidable)

En este supuesto se estima que del volumen total del contenedor (35.008 m^3), el 99.9% es aire y el 0.1% es acero inoxidable. Los volúmenes parciales resultan:

- $V_{aire} = 35.972 \text{ m}^3$

- $V_{ac.inox} = 0.036 \text{ m}^3$

Se supone que masa de aire en el interior del módulo se encuentra a una presión de 1 atm y temperatura de 250 K. El calor específico de aire para esas condiciones equivale a:

- $c_{p,aire} = 1.063 \text{ KJ/kg} \times K$

Conociendo la densidad de aire para las condiciones dadas:

- $\rho_{aire} = 1.300 \text{ kg/m}^3$

$$m_{aire} = V_{aire} \times \rho_{aire} = 35.972 \text{ m}^3 \times 1.300 \text{ kg/m}^3 = 46.76 \text{ kg de aire}$$

Ecuación I-14 Masa de aire en el interior del módulo

$$C_{aire} = m_{aire} \times c_{p,aire} = 46.76 \text{ kg} \times 1.063 \text{ KJ/kg} \times K = 49.71 \text{ KJ/K}$$

Ecuación I-15 Capacitancia térmica del aire interior del módulo

Puesto que se tiene el mismo volumen de acero inoxidable que en el módulo de primeros auxilios, el valor de la capacitancia será el mismo:

$$C_{ac.inox} = 143.77 \text{ KJ/K}$$

Ecuación I-16 Capacitancia térmica del acero inoxidable interior del módulo

La capacitancia total del mobiliario interior del módulo de refrigeración queda por tanto:

$$C_{mob} = \sum (C_{aire}, C_{al}, C_{ac.inox}) = 549.75 \text{ KJ/K}$$

Ecuación I-17 Capacitancia térmica del mobiliario

[39] [40]

ANEXO II: HOJA DE CÁLCULO DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente anexo pretende explicar el proceso de diseño de una hoja de cálculo en *Excel*® para la correcta interpretación de resultados de las simulaciones en *Trnsys*®. A partir del documento de texto “.txt” que devuelve el programa por cada simulación se obtendrán como datos de salida:

- Datos mínimos de temperaturas mensuales
- Datos máximos de temperaturas mensuales
- Picos de demanda de potencia térmica calorífica mensuales
- Picos de demanda de potencia térmica frigorífica mensuales
- Datos de consumo de energía térmica calorífica
- Datos de consumo de energía térmica frigorífica
- Día y hora correspondiente a los picos de demanda de frío y calor

CARGAS TÉRMICAS										Mes	Min Temp ext (°C)	Máx Calor (KW)	Demanda Calor (KW-hr)	Día de máx demanda de calor	Hora del día de demanda máxima
1	FECHA	Mes	Día	Hora del día	Hora	Q(KJ/hr)	Text(°C)	Tint(°C)	Q (KW)	1	2.4	-0.47	-155.63	13-ene.	8:00
2	01/01/2009	1	1	0:00	0:00	0.00	9.80	20.00	0.000	2	2.35	-0.50	-122.59	15-feb.	8:00
3	01/01/2009	1	1	1:00	1:00	-339.08	11.25	20.00	-0.094	3	4.2	-0.43	-91.56	9-mar.	7:00
4	01/01/2009	1	1	2:00	2:00	-537.28	12.60	20.00	-0.149	4	4.85	-0.40	-65.11	30-abr.	6:00
5	01/01/2009	1	1	3:00	3:00	-630.80	12.45	20.00	-0.175	5	7.1	-0.32	-34.58	10-may.	6:00
6	01/01/2009	1	1	4:00	4:00	-686.73	12.35	20.00	-0.191	6	10.95	-0.20	-6.15	9-jun.	6:00
7	01/01/2009	1	1	5:00	5:00	-727.05	12.25	20.00	-0.202	7	11.75	-0.13	-1.10	16-jul.	6:00
8	01/01/2009	1	1	6:00	6:00	-757.75	12.20	20.00	-0.210	8	13.05	-0.09	-0.54	8-ago.	6:00
9	01/01/2009	1	1	7:00	7:00	-782.63	12.15	20.00	-0.217	9	11.25	-0.17	-3.33	12-sep.	7:00
10	01/01/2009	1	1	8:00	8:00	-804.09	12.10	20.00	-0.223	10	8.5	-0.30	-34.84	28-oct.	8:00
11	01/01/2009	1	1	9:00	9:00	-791.99	12.35	20.00	-0.220	11	5.15	-0.39	-110.68	2-nov.	7:00
12	01/01/2009	1	1	10:00	10:00	-451.70	13.20	20.00	-0.125	12	3.5	-0.47	-163.20	6-dic.	8:00
13	01/01/2009	1	1	11:00	11:00	-7.59	14.40	20.00	-0.002						
14	01/01/2009	1	1	12:00	12:00	0.00	15.55	20.74	0.000	Mes	Máx Temp ext (°C)	Máx Frío (KW)	Demanda Frío (KW-hr)	Día de máx demanda de frío	Hora del día de demanda máxima
15	01/01/2009	1	1	13:00	13:00	0.00	16.65	21.86	0.000	1	17.65	0.00	0.00	no hay demanda	no hay demanda
16	01/01/2009	1	1	14:00	14:00	0.00	17.45	22.56	0.000	2	18.95	0.00	0.00	no hay demanda	no hay demanda
17	01/01/2009	1	1	15:00	15:00	0.00	17.65	22.55	0.000	3	22.65	0.00	0.00	no hay demanda	no hay demanda
18	01/01/2009	1	1	16:00	16:00	0.00	17.35	22.11	0.000	4	24.55	0.00	0.00	no hay demanda	no hay demanda
19	01/01/2009	1	1	17:00	17:00	0.00	16.75	21.51	0.000	5	29.85	0.19	2.03	28-may.	16:00
20	01/01/2009	1	1	18:00	18:00	0.00	16.05	20.89	0.000	6	31.7	0.31	10.29	20-jun.	15:00
21	01/01/2009	1	1	19:00	19:00	0.00	15.50	20.47	0.000	7	34.35	0.37	15.98	22-jul.	15:00
22	01/01/2009	1	1	20:00	20:00	-11.01	15.10	20.08	-0.003	8	31.5	0.39	19.83	19-ago.	15:00
23	01/01/2009	1	1	21:00	21:00	-140.84	14.75	20.00	-0.039	9	29.7	0.29	6.47	4-sep.	16:00
24	01/01/2009	1	1	22:00	22:00	-261.48	14.40	20.00	-0.073	10	24.75	0.05	0.17	15-oct.	16:00
25	01/01/2009	1	1	23:00	23:00	-356.92	14.00	20.00	-0.099	11	21.3	0.00	0.00	no hay demanda	no hay demanda

Ilustración II-1 Página principal de la hoja de cálculo

Antes de empezar a analizar los datos de entrada hay que asegurarse que estos se exportan de forma correcta a la tabla de *Excel*®. Uno de los problemas que surgen en este aspecto, es que *Trnsys*® separa los números enteros de los decimales con un punto, mientras que, por defecto, los ordenadores en España entienden que esta función la realiza la coma. Por lo tanto, los datos que en el documento de salida se presentaban con 16 decimales, en la hoja de cálculo aparecían como elevados a la decimosexta potencia. Esto se resolvía fácilmente operándolos, sin embargo los datos nulos se presentaban en *Excel*® como una indeterminación del tipo 0⁰ que daba problemas. Al final, a pesar de poder emplear algunas fórmulas para solucionar esto, para no añadir mayor complejidad se decide utilizar el punto como separador de decimales a pesar de que la entidad de este trabajo no es internacional.

Lo primero que se configura en la hora de cálculo son las columnas de entradas de datos. La simulación, como se ha mencionado anteriormente, se realiza con un intervalo de una hora. De este modo los *inputs* que se incluyen son hora de la simulación (Hora), energía demandada (Q(kJ/hr)), temperaturas interior (Tint(°C)) y temperatura ambiente (Text(°C)). La última columna (Q(kW)),

corresponde a los datos de energía demanda expresados en kW, unidad más adecuada para el estudio que se lleva a cabo. Como se puede observar en la Tabla II-1 a estos datos se les asigna a mayores, una fecha concreta, el mes, un día y la hora del día. El año 2009 reflejado en la columna de la fecha se eligió por ser el último año que se contempla en las bases de datos de *Meteonorm*®.

FECHA	Mes	Día	Hora del día	Hora	Q(kJ/h)	Text(°C)	Tint(°C)	Q (kW)
01/01/2009	1	1	0:00	0.00	0.00	9.80	20.00	0.000
01/01/2009	1	1	1:00	1.00	-339.08	11.25	20.00	-0.094
01/01/2009	1	1	2:00	2.00	-537.28	12.60	20.00	-0.149
01/01/2009	1	1	3:00	3.00	-630.80	12.45	20.00	-0.175

Tabla II-1 Datos de entrada en el Excel® ordenados temporalmente

Para asignar la fecha se toma como referencia la hora de la simulación. El cociente de este valor, que va de 0 a 8760 (1 año), entre 24, da un número que en su parte entera cambia al inmediatamente superior al cambiar de día. De este modo, teniendo en cuenta sólo la parte entera del resultado, pueden referenciarse todos los días dentro de ese año. La fórmula queda de la siguiente forma.

$$=+fecha(2009;1;(f2/24)+1)$$

Ejemplo de fórmula II-1

A partir de la columna de la fecha se referencian fácilmente el día y el mes.

6.1.1 Cálculo de resultados

Tomando como base los datos de entrada de la Tabla II-1 se procede al cálculo de las salidas que se consideran interesantes para su estudio e interpretación. La Tabla II-2 muestra los *outputs* relacionados con la demanda de calor. Existe una tabla análoga para los datos de la demanda de frío.

Mes	Mín Temp ext (°C)	Máx Calor (kW)	Demanda Calor (kWh)	Día de máx demanda de calor	Hora del día de demanda máxima
1	2.4	-0.47	-155.63	13-ene.	12-ene.
2	2.35	-0.50	-122.59	15-feb.	14-feb.
3	4.2	-0.43	-91.56	9-mar.	7-mar.
4	4.85	-0.40	-65.11	30-abr.	28-abr.
5	7.1	-0.32	-34.58	10-may.	8-may.
6	10.95	-0.20	-6.15	9-jun.	7-jun.
7	11.75	-0.13	-1.10	16-jul.	14-jul.
8	13.05	-0.09	-0.54	8-ago.	6-ago.
9	11.25	-0.17	-3.33	12-sep.	10-sep.
10	8.5	-0.30	-34.84	28-oct.	26-oct.
11	5.15	-0.39	-110.68	2-nov.	31-oct.
12	3.5	-0.47	-163.20	6-dic.	4-dic.

Tabla II-2 Datos de salida

Primeramente, se busca conocer los “datos pico” de temperatura ambiente de cada mes que, a su vez, nos permitan conocer la demanda máxima de ese período. Esto nos permitirá conocer las especificaciones mínimas que debe tener el equipo seleccionado. La función utilizada para ello es la siguiente:

$$=min(indirecto(concatenar("h";(buscarv(k2;b:c;2;falso));":h";redondear(buscarv(k2;b:c;2;verdadero);0))))$$

Ejemplo de fórmula II-2

Para obtener los datos de temperatura mínima de cada mes, lo primero que se ha de agrupar los datos en meses. Para esta agrupación debemos conocer la fila en la que empieza un mes y la fila en la

que acaba. La función “*buscarv*” permite encontrar estas líneas. El procedimiento consiste en introducir como referencia en el argumento de esta función el dato del número del mes de la columna de datos de salida. Se especifica la columna en dónde debe buscar ese valor (meses de la tabla de entradas) y la columna del valor que se quiere encontrar (Text). Los comandos “*verdadero*” y “*falso*” dan como resultado la fila fina e inicial respectivamente. De modo que “(concatenar(*h*”;(*buscarv*(*k2;b:c;2;falso*));”:*h*”;redondear(*buscarv*(*k2;b:c;2;verdadero*);0))” realmente equivale a “*h2:h745*”, que en este ejemplo, se corresponde con el primer mes. Una vez se tienen los datos de temperatura agrupados en un rango en función del mes se puede encontrar fácilmente el dato menor quedando la fórmula final como el Ejemplo de fórmula II-2.

Sin embargo, estos datos de temperatura no hacen más que acompañar al valor de demanda pico de frío o calor en kW, que es el que realmente se necesita para poder dimensionar adecuadamente el equipo que se va a utilizar. En esta ocasión se sigue el mismo procedimiento que antes con los mismos comandos ya que se busca encontrar un valor mínimo (o máximo) en una columna dentro de un rango establecido en base a los valores de otra columna. En esta ocasión, sin embargo, se añade una función condicional “*si*” para que no se dé el caso en el que la fórmula devuelva el mínimo valor de frío como valor de calor, por no existir ningún valor negativo durante ese mes. En estos casos, el valor que se presenta es simplemente cero. Queda de esta forma una función que aunque en apariencia es aparatosa, realmente no es más que la función del Ejemplo de fórmula II-2 incluida en una función condicional tal que devuelva o bien cero, o bien el resultado correspondiente. La función Ejemplo de fórmula II-3 corresponde a la demanda de calor, habiendo una análoga para la demanda de frío.

$$=si((min(indirecto(concatenar("j";(buscarv(k8;b:c;2;falso));":j";redondear(buscarv(k8;b:c;2;verdadero);0))))>0;0;(min(indirecto(concatenar("j";(buscarv(k8;b:c;2;falso));":j";redondear(buscarv(k8;b:c;2;verdadero);0))))))$$

Ejemplo de fórmula II-3

Dimensionado el equipo en función de las demandas pico, el siguiente dato necesario es el la estimación del consumo en kW por hora del equipo. Para calcularlo se cambia la función condicional “*si*” por “*sumar.si*” que suma un conjunto de números dentro de un rango si cumplen cierta condición. Para establecer el rango utilizamos como base la misma fórmula que anteriormente y dependiendo de si se trata de demanda de frío o de calor se especifica la condición como mayor o menor que cero respectivamente. Por último, por tratarse de una suma en el tiempo de un dato puntual es necesario dividir el resultado entre los 3600 para que se pueda afirmar que el consumo está expresado por los KW consumidos en una hora. El Ejemplo de fórmula II-4 corresponde a la demanda de calor.

$$=+sumar.si(indirecto(((concatenar("g";(buscarv(k2;b:c;2;falso));":g";redondear((buscarv(k2;b:c;2;verdadero);0)))));"<0";indirecto(((concatenar("g";(buscarv(k2;b:c;2;falso));":g";redondear((buscarv(k2;b:c;2;verdadero);0)))))))/3600$$

Ejemplo de fórmula II-4

El día y la hora correspondiente a los valores pico de temperatura y demanda se obtienen devolviendo un valor de una columna en función del valor de otra, es decir, del mismo modo que antes. Sin embargo en este caso, al ser el valor referencia (máxima demanda de frío o calor) un valor concreto con varios decimales existe una muy escasa probabilidad de ser repetido, y por ello no es necesario establecer rangos y se simplifica el procedimiento. Como se aprecia en el Ejemplo de fórmula II-5, con el comando “*índice*” se especifica la columna dónde se debe buscar el valor de salida (*a:a*), el valor de referencia (*m2*), y en que columna se encuentra este último (*j:j*). En caso de que no haya demanda un mes en concreto se devuelve como valor “*no hay demanda*”

$$=si(m2=0;"no hay demanda";indice(a:a;coincidir(m2;j:j;0)))$$

Ejemplo de fórmula II-5

Por último se vuelcan los datos de demandas máximas en una gráfica para una presentación más visual tal y como se muestra en la siguiente imagen.

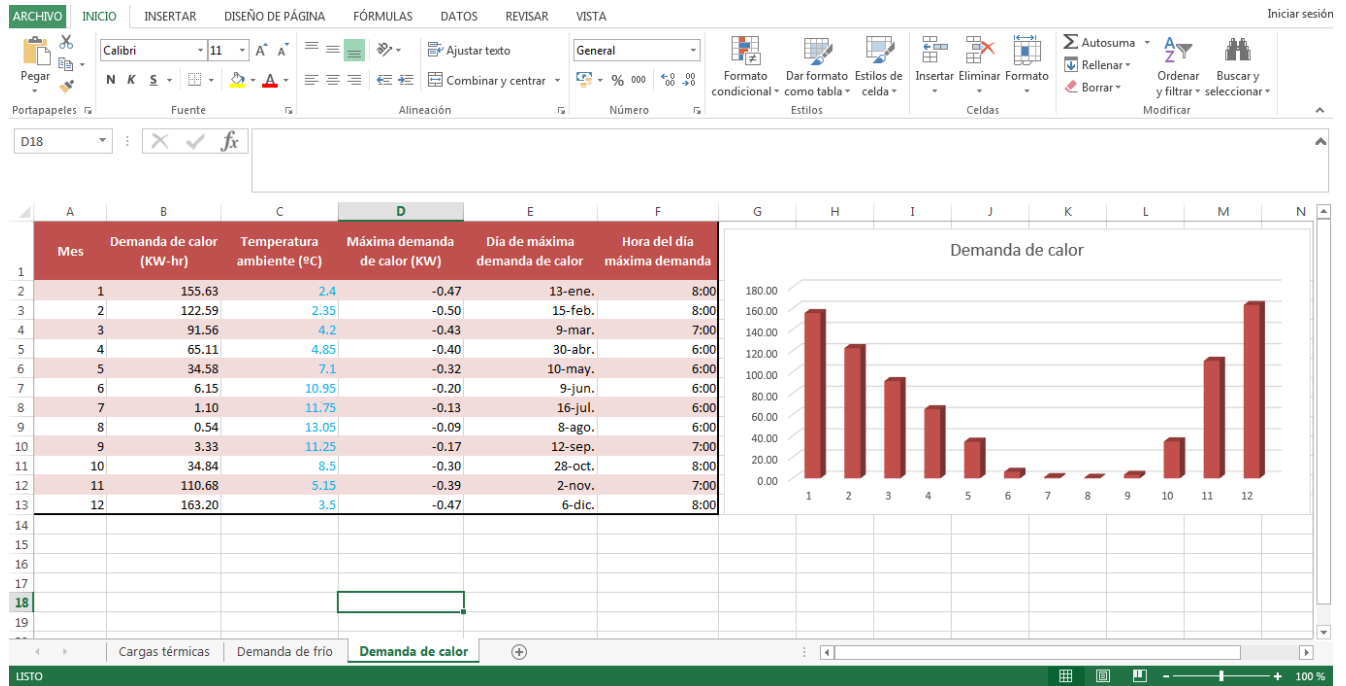


Ilustración II-2 Gráfica y tabla de resultados

ANEXO III: CÁLCULOS DE DEMANDA DE FRÍO Y CALOR PARA EL AGUA DEL MÓDULO DE DUCHAS

III.I Cálculos previos

Para el cálculo de la demanda de calor que se deriva de calentar agua para las duchas se supone que esta agua proveniente de un depósito exterior a una temperatura que se va a especificar más adelante. Se entiende que el agua fría proviene directamente de este tanque mientras que el ACS, pasa antes por un depósito menor instalado en el contenedor dónde se calienta hasta la temperatura adecuada (60°C la mayor parte del tiempo con picos puntuales de 70°C [38]). Se supone también el mismo horario de uso que se tuvo en cuenta para las ganancias térmicas. Se fija el tiempo medio de una ducha en 5 minutos, y el porcentaje de ocupación medio del módulo en el 50%, por tanto, con 3 horas de uso cada día y 8 duchas equivale a 144 usuarios al día, valor de utilización que se considera suficientemente elevado. Se reparten las 3 horas diarias de duchas en 3 tandas de 1 hora.

El caudal de ACS que se consume en cada ducha es de 0.1 l/s [41]. Para hallar el volumen de agua que se consume:

$$Q \times N \times t \times O = V$$

Ecuación III-1

Siendo Q el caudal de agua en cada caso, N el número de duchas, t el tiempo que está el módulo en uso y O el porcentaje de ocupación sobre la unidad. Queda por tanto:

$$V_{\text{agua}} = 0.1 \text{ l/s} \times 8 \text{ duchas} \times 3600 \text{ s} \times 0.5 = 1440 \text{ l} = 1.44 \text{ m}^3 \text{ de ACS}$$

Ecuación III-2 Volumen de ACS necesario para atender la demanda de 1 tanda de duchas

Para calcular los datos de demanda máximos se contemplará el caso en el que la temperatura del depósito de ACS corresponde al pico mayor (de 70°C) y la temperatura del agua a la especificada para el depósito exterior en función de la región.

No se calcularán consumos ya que requieren unos cálculos complejos y unas simulaciones específicas que no entran dentro del campo de estudio que este proyecto pretende abarcar. Del mismo modo no se entrará a estudiar si el depósito exterior necesita equipos de acondicionamiento para mantener la temperatura en el valor establecido, o que equipos serían los adecuados en tal caso.

Se está, por ello, calculando la potencia de calor necesaria para acondicionar el agua del depósito de ACS instalado en el módulo. Este tanque es, comparado con el tanque exterior de abastecimiento, un elemento de dimensiones reducidas (1.44 m³) que puede instalarse en el interior del módulo de duchas en un compartimento adyacente al habitáculo de las duchas. Se supone también que dicho depósito, junto con las tuberías que lo conectan con el tanque exterior, se encuentran correctamente aislados.

En base a que se trata, en resumen, de un volumen de agua relativamente reducido y un sistema eficazmente aislado instalado en su mayor parte en un compartimento cerrado dentro del módulo se realiza la suposición de que las temperaturas exteriores no van a afectar de forma significativa a la potencia necesaria para calentar la masa de agua del depósito interior. Donde sí se podría notar esta diferencia sería en este depósito exterior, en el cual, como se ha explicado, no se van a realizar estudios de demandas.

Aun así, para ajustarse lo más posible a la realidad, se va a suponer que el agua que proviene del tanque exterior en las zonas cálidas (A y B) se encuentra a 20°C, en las zonas templadas (C) a 15°C y a 10°C en las zonas más frías (D y E).

III.II Demanda de calor para el ACS en Puerto Príncipe (zona A)

La región A, tal y como se ha comprobado, es una región cálida en la que la temperatura mínima de todo el año no desciende más allá de los 18.65°C. Se supone por tanto que el agua proviene de un depósito exterior que la mantiene a 20°C. El calor específico del agua a esta temperatura es:

- $c_{p,agua} = 4.182 \text{ kJ/kg} \times K$

Se supone una masa de agua en un depósito incorporado al módulo de capacidad similar al volumen de ACS necesaria para proveer a las duchas del contenedor durante una tanda de 1 hora sin necesidad de recargar del depósito exterior. Para hallar la capacidad térmica del volumen de agua contenida en el depósito del contenedor se ha de calcular la masa de agua que hay en ese volumen. Se conoce la densidad de agua para la temperatura dada y una presión en el interior del depósito de 1 atm:

- $\rho_{agua} = 998.29 \text{ kg/m}^3$

$$m_{agua} = V_{agua} \times \rho_{agua} = 1.44 \text{ m}^3 \times 998.29 \text{ kg/m}^3 = 1437.54 \text{ kg de ACS}$$

Ecuación III-3 Masa de agua en el interior del depósito

El producto de esta masa por el calor específico del agua resulta la capacidad térmica del agua del interior del depósito

$$C_{agua} = m_{agua} \times c_{p,agua} = 1437.54 \text{ kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg} \times K = 6011.78 \text{ kJ/K}$$

Ecuación III-4 Capacitancia térmica del agua en el interior del depósito

Teniendo en cuenta que el salto térmico que se ha de superar son 50°C (y que el salto de 1 grado en la escala *Celsius* y en la escala *Kelvin* son equivalentes):

$$E = 6011.78 \text{ kJ/K} \times 50 \text{ K} = 300589.11 \text{ kJ} = 300.59 \text{ MJ}$$

Ecuación III-5 Energía necesaria para calentar el agua del interior del depósito

Por tanto se necesitan 300.59 MJ de energía para calentar 1440 l de agua de 20°C a 70°C. Se entiende que esta es la máxima energía que se va a necesitar para calentar una masa de agua ya que se ha supuesto el caso más extremo.

No obstante, para dimensionar el equipo de calefacción se necesitan datos de potencia. Las tandas de uso de 1 hora se encuentran 6 horas espaciadas entre sí (6:00-7:00, 13:00-14:00 y 20:00-21:00) por lo que si el equipo de calefacción de agua estuviera operando todo el tiempo dispondría de 6 horas durante el día y 9 durante la noche para calentar el agua del depósito instalado en el contenedor. Sin embargo, se contempla que el equipo no está diseñado para un funcionamiento continuo y se supone que se mantiene encendido desde 4 horas antes del comiendo de los períodos de duchas para calentar el agua. Con estas condiciones, para calcular la potencia que ha de tener el equipo:

$$P = E/t$$

Ecuación III-6

Siendo E la energía calculada en la Ecuación III-5, t el tiempo del que dispone el equipo para calentar el agua el equipo y P la potencia del equipo. Finalmente resulta:

$$P = \frac{300589.11 \text{ KJ}}{14400 \text{ s}} = 20.87 \text{ kW}$$

Ecuación III-7 Potencia requerida para calentar el agua del depósito

Se concluye que para cubrir la demanda en todos los casos posibles se necesita un equipo con como mínimo 20.87 kW de potencia térmica calorífica.

III.IV Demanda de calor para el ACS en Yibuti (zona B)

Las temperaturas en esta ubicación son también elevadas siendo la mínima registrada durante el año de 14.15°C. Entendiendo que esa temperatura es un mínimo puntual alcanzado en día en el que se registran también temperaturas superiores a 25°C, se deduce que el depósito exterior suministra agua fría al módulo y al depósito calentador también a 20°C. Puesto que el salto de temperaturas va a ser el mismo que en la región anterior y teniendo en cuenta las suposiciones que se especifican al comienzo de este apartado, la potencia necesaria para calentar el volumen de agua en esta situación es la misma que en el cálculo previo.

$$P = \frac{300589.11 \text{ KJ}}{14400 \text{ s}} = 20.87 \text{ kW}$$

Ecuación III-8 Potencia requerida para calentar el agua del depósito

La potencia térmica calorífica necesaria para cubrir las demandas de calor del depósito de ACS en el módulo situado en esta región resulta también un valor de 20.87 kW.

III.VI Demanda de calor para el ACS en Colonia (zona C)

La región C es una región templada con una temperatura media anual estimada de 18°C. Se va a suponer por tanto depósito externo mantiene el agua con la que se abastece el módulo a 15°C. El calor específico del agua a esta temperatura es:

- $c_{p,agua} = 4.186 \text{ kJ/kg} \times K$

Se supone un depósito interior con la misma capacidad que en las anteriores situaciones. Conocida la densidad de agua para la temperatura dada y 1 atm de presión en el interior del tanque:

- $\rho_{agua} = 999.19 \text{ kg/m}^3$

$$m_{agua} = V_{agua} \times \rho_{agua} = 1.44 \text{ m}^3 \times 999.19 \text{ kg/m}^3 = 1438.83 \text{ kg de ACS}$$

Ecuación III-9 Masa de agua en el interior del depósito

El producto de esta masa por el calor específico del agua resulta la capacidad térmica del agua del interior del depósito

$$C_{agua} = m_{agua} \times c_{p,agua} = 1438.83 \text{ kg} \times 4.186 \text{ kJ/kg} \times K = 6022.96 \text{ kJ/K}$$

Ecuación III-10 Capacitancia térmica del agua en el interior del depósito

Teniendo en cuenta que en este caso el salto térmico que se ha de superar es de 55°C:

$$E = 6022.96 \text{ kJ/K} \times 55 \text{ K} = 331262.8 \text{ kJ} = 331.26 \text{ MJ}$$

Ecuación III-11 Energía necesaria para calentar el agua del interior del depósito

Por tanto se necesitan 331.26 MJ de energía para calentar 1440 l de agua de 15°C a 70°C. Para calcular la potencia se utiliza el mismo procedimiento que en los cálculos para otras ubicaciones:

$$P = \frac{331262.8 \text{ kJ}}{14400 \text{ s}} = 23 \text{ kW}$$

Ecuación III-12 Potencia requerida para calentar el agua del depósito

Para cubrir la demanda en este caso se necesitará un equipo calentador de agua de al menos 20.87 kW de potencia térmica calorífica.

III.VIII Demanda de calor para el ACS en Yakutsk (zona D)

La región D es una región fría con una temperatura que alcanzan valores muy bajos especialmente en invierno, tal y como se ha comprobado. Aun así se va a suponer que el depósito externo cuenta con un equipo adecuado y es capaz de mantener el agua con la que se abastece el módulo a 10°C. El calor específico del agua a esta temperatura es:

- $c_{p,agua} = 4.192 \text{ kJ/kg} \times K$

La densidad de agua para la temperatura dada y 1 atm de presión en el interior del tanque es:

- $\rho_{agua} = 999.77 \text{ kg/m}^3$

$$m_{agua} = V_{agua} \times \rho_{agua} = 1.44 \text{ m}^3 \times 999.77 \text{ kg/m}^3 = 1439.67 \text{ kg de ACS}$$

Ecuación III-13 Masa de agua en el interior del depósito

El producto de esta masa por el calor específico del agua resulta la capacidad térmica del agua del interior del depósito

$$C_{agua} = m_{agua} \times c_{p,agua} = 1439.67 \text{ kg} \times 4.192 \text{ kJ/kg} \times K = 6035.09 \text{ kJ/K}$$

Ecuación III-14 Capacitancia térmica del aire interior del módulo

Teniendo en cuenta que en este caso el salto térmico que se ha de superar es de 60°C:

$$E = 6035.09 \text{ kJ/K} \times 60 \text{ K} = 362105.5 \text{ kJ} = 362.1 \text{ MJ}$$

Ecuación III-15 Energía necesaria para calentar el agua del interior del depósito

Por tanto se necesitan 362.1 MJ de energía para calentar 1440 l de agua de 10°C a 70°C. Para calcular la potencia se utiliza el mismo procedimiento que en los cálculos para otras ubicaciones:

$$P = \frac{362105.5 \text{ kJ}}{14400 \text{ s}} = 25.15 \text{ kW}$$

Ecuación III-16 Potencia requerida para calentar el agua del depósito

Para cubrir la demanda en este caso se necesitará un equipo calentador de agua de al menos 25.15 kW de potencia térmica calorífica.

III.X Demanda de calor para el ACS en Puerto Williams (zona E)

Las temperaturas en esta ubicación y la del apartado anterior (zona D y E) no son tan similares como lo eran en el caso de las regiones A y B. Aun así se entiende que esta diferencia repercute en demandas diferentes en el depósito externo que va a seguir siendo capaz de proveer agua a 10°C. El

salto de temperaturas va a ser por lo tanto el mismo que en el la región anterior y por tanto la potencia resultante del equipo calentador del depósito del módulo va a resultar la misma.

$$P = \frac{362105.5 \text{ kJ}}{14400 \text{ s}} = 25.15 \text{ kW}$$

Ecuación III-17 Potencia requerida para calentar el agua del depósito

Después de comparar los resultados de las potencias obtenidas en los diferentes apartados se deduce que la escasa diferencia de potencia obtenida se debe a las suposiciones que se realizan en el comienzo de esta sección (volumen de agua reducido en un depósito convenientemente aislado) sumadas a un salto de temperatura poco variable en las diferentes ubicaciones.