

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN  
FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN  
SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO"

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio -2021

AUTOR: Pedro Mora Oliver

DIRECTOR/ES: Francisco Javier Aguilar Valero

Miguel Sánchez Lozano

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO



## DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto especialmente a mi toda mi familia, por todo el apoyo incondicional que me han prestado durante toda esta etapa de mi vida. A todos mis amigos y compañeros, que me han acompañado en este proceso y los cuales han pasado a formar parte de mi vida y también los considero parte de mi familia.



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimientos en primer lugar a Francisco Javier Aguilar Valero junto a Miguel Sánchez Lozano, por su predisposición e interés desde el momento en el que les planteé este proyecto, junto a toda la ayuda y conocimientos que me han prestado durante este proceso. Agradecimientos especialmente a todas las empresas que me han facilitado información necesaria para la realización del proyecto, a Vicente Gómez de la empresa Carrier Transicold junto a Toni, representante de SOR Ibérica, por su ayuda desinteresada. Por último agradecimientos a la empresa familiar Transelx S.L sin la cual este proyecto no hubiese sido posible, y a la Universidad Miguel Hernández de Elche por una increíble experiencia académica.



# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

## RESUMEN

En el presente trabajo final de grado se pretende diseñar una instalación fotovoltaica de apoyo para un sistema de refrigeración secundario en un semirremolque frigorífico de clase C, con el objetivo de reducir los consumos de gasóleo por parte del equipo principal, y a su vez fomentar el desarrollo de las energías renovables y la sostenibilidad energética. Se han realizado los estudios y cálculos pertinentes y se ha detallado con un grado de definición suficiente para servir de base a su construcción.

**Palabras Clave:** Transporte de mercancías, semirremolque frigorífico, energía solar fotovoltaica, equipos de refrigeración, eficiencia energética.



## ABSTRACT

The purpose of this final degree project is to design a photovoltaic system to support a secondary cooling system in a class C refrigerated semi-trailer, with the aim of reducing diesel consumption by the main unit, and at the same time promoting the development of renewable energies and energy sustainability. The relevant studies and calculations have been carried out and detailed with a sufficient degree of definition to serve as a basis for its construction.

**Keywords:** Transport of merchandise, refrigerated semi-trailer, photovoltaic solar energy, refrigeration units, energy efficiency



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
1.1 PREÁMBULO .....	1
1.2 GENERALIDADES .....	2
1.3 NORMATIVA DE APLICACIÓN .....	2
1.4 EL TRANSPORTE DE MERCANCIAS .....	3
1.5 MOTIVOS PARA LA REDACCIÓN DEL PRESENTE PROYECTO .....	4
1.6 LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PARA FRIO INDUSTRIAL.....	5
1.6.1 LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	5
1.6.2 PROCESOS REVERSIBLES E IRREVERSIBLES.....	7
1.6.3 EL CICLO DE CARNOT.....	7
1.6.4 EL CICLO INVERTIDO DE CARNOT.....	8
1.6.5 EL CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR .....	9
1.6.6 EL CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR .....	10
1.7 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	11
1.7.1 LA ENERGÍA SOLAR .....	11
1.7.2 LA ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA.....	12
1.7.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	15
1.7.3.1 SISTEMAS AISLADOS.....	16
1.7.3.2 SISTEMAS CONECTADOS A RED .....	17
1.7.3.3 SISTEMAS HÍBRIDOS.....	18
1.7.4 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO .....	18
1.7.4.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	18
1.7.4.2 MATERIALES SEMICONDUCTORES .....	20
1.7.4.3 UNIÓN “P-N” .....	21
1.7.4.4 ANCHO DE BANDA PROHÍBIDA .....	23
1.7.5 EL PANEL FOTOVOLTAICO, TIPOLOGÍAS Y CARACTERÍSTICAS .....	23
1.7.5.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO .....	24
1.8 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN CON ENERGÍA SOLAR .....	25
1.9 OBJETIVOS .....	27
1.9.1 OBJETIVO GENERAL.....	27
1.9.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL</b> .....	<b>29</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	29
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL OBJETO DE ESTUDIO .....	31

2.2.1	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....	34
2.3	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE .....	36
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>38</b>
3.1	PANELES FOTOVOLTAICOS JUNTO A BATERÍAS .....	38
3.2	PANELES FOTOVOLTAICOS AUTOSUFICIENTES .....	39
3.3	PANELES FOTOVOLTAICOS JUNTO A BATERÍAS Y EQUIPO DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO .....	40
3.4	SOLUCIÓN ADOPTADA.....	40
3.5	UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS .....	41
<b>4.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....</b>	<b>43</b>
4.1	ESTUDIO TÉRMICO.....	43
4.1.1	LA TRANSMISIÓN DE CALOR.....	43
4.1.2	LA CONDUCCIÓN.....	44
4.1.3	LA CONVECCIÓN.....	45
4.1.4	LA RADIACIÓN.....	46
4.1.5	RESISTENCIA TÉRMICA EN UNA PARED PLANA .....	49
4.1.6	RESISTENCIA TÉRMICA EN UNA PARED COMPUESTA .....	51
4.1.7	MECANISMOS SIMULTÁNEOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	53
4.1.8	NUMEROS ADIMENSIONALES .....	54
4.1.9	PROCESO DE CÁLCULO.....	56
4.1.9.1	ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA ZONA PRINCIPAL DE OPERACIÓN .....	56
4.1.9.2	CÁLCULO DEL COEFICIENTE CONVECTIVO EXTERNO .....	57
4.1.9.3	CÁLCULO DEL COEFICIENTE CONVECTIVO INTERNO .....	59
4.1.9.4	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN .....	60
4.1.9.5	CÁLCULO DE RESISTENCIAS EN PAREDES COMPUESTAS .....	62
4.1.9.6	CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL .....	65
4.1.10	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	66
4.2	DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO .....	67
4.2.1	EQUIPO DE REFRIGERACIÓN INTARSPLIT MSH-NY-22 053 .....	68
4.2.2	EQUIPO DE REFRIGERACIÓN XARIOS 350-05 / MXS 1100 .....	70
4.2.3	EQUIPO ELEGIDO Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO .....	72
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>76</b>
5.1	ÁMBITO DE ACTUACIÓN Y USO DE LA INSTALACIÓN.....	76
5.2	ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS .....	77
5.3	PRESELECCIÓN DE COMPONENTES .....	78
5.3.1	ACUMULADOR .....	79

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

5.3.2 INVERSOR.....	81
5.3.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	83
5.4 DIMENSIONADO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO .....	87
5.5 ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS EQUIPOS .....	92
<b>6. UBICACIÓN, SOLUCIÓN ESTRUCTURAL E INSTRUCCIONES DE MONTAJE DEL CONJUNTO DE LOS EQUIPOS .....</b>	<b>99</b>
6.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	99
6.2 EVAPORADOR MXS 1100 .....	101
6.3 COMPRESOR-CONDENSADOR, ACUMULADORES E INVERSOR-REGULADOR .....	103
<b>7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN FINAL.....</b>	<b>113</b>
7.1 PRESUPUESTO .....	113
7.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD Y AMORTIZACIÓN .....	115
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>118</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>120</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

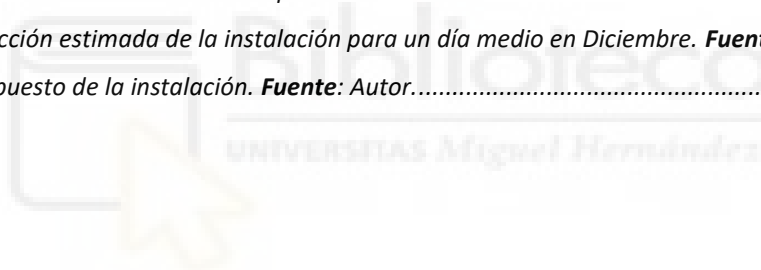
<b>Figura 1:</b> Componentes básicos de un sistema de refrigeración y sus condiciones de operación características [16].	6
<b>Figura 2:</b> Diagrama P-V de un ciclo de Carnot [16].	8
<b>Figura 3 :</b> Diagrama P-V de un ciclo invertido de Carnot [16].	8
<b>Figura 4:</b> Esquema y diagrama T-S para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor [16].	9
<b>Figura 5:</b> Esquema y diagrama T-S para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor [16].	11
<b>Figura 6 :</b> Promedio del potencial eléctrico fotovoltaico en España [12].	13
<b>Figura 7:</b> Promedio del potencial eléctrico fotovoltaico en Europa [12].	13
<b>Figura 8:</b> Escenario anual del mercado solar fotovoltaico [13].	14
<b>Figura 9:</b> Esquema de un posible sistema fotovoltaico [10].	16
<b>Figura 10 :</b> Estructura de los átomos. <b>Fuente:</b> Autor.	19
<b>Figura 11:</b> Estructura semiconductora [10].	19
<b>Figura 12 :</b> Efecto fotoeléctrico. <b>Fuente:</b> Autor.	20
<b>Figura 13 :</b> Átomo de silicio. <b>Fuente:</b> Autor.	21
<b>Figura 14:</b> Representación esquemática de una estructura de silicio tipo “n” [10].	21
<b>Figura 15 :</b> Representación esquemática de una estructura de silicio tipo “p” [10].	22
<b>Figura 16 :</b> Representación esquemática de la unión “p-n” en un semiconductor. <b>Fuente:</b> Autor.	22
<b>Figura 17:</b> Panel fotovoltaico. <b>Fuente:</b> Autor.	24
<b>Figura 18 :</b> Cámara frigorífica solar. <b>Fuente:</b> Freecold.	26
<b>Figura 19 :</b> Transporte de mercancías por carretera (toneladas y toneladas-kilómetro) por ámbito. 2018-2019 [1].	29
<b>Figura 20 :</b> Transporte intrarregional de mercancías por carretera de transportistas españoles (toneladas). Peso en el total por comunidades autónomas peninsulares. 2019 [1].	30
<b>Figura 21:</b> Semirremolque frigorífico para el estudio. <b>Fuente:</b> Autor	31
<b>Figura 22 :</b> Equipo frigorífico del semirremolque. <b>Fuente:</b> Autor.	32
<b>Figura 23:</b> Evaporador del equipo principal, interior del semirremolque. <b>Fuente:</b> Autor.	32
<b>Figura 24:</b> Unidad exterior del equipo frigorífico. <b>Fuente:</b> Autor.	33
<b>Figura 25:</b> Emisiones de GEI procedentes del transporte en relación con otros sectores. España y Unión Europea (UE-28). 2018 [1].	37
<b>Figura 26 :</b> Porta-palets del semirremolque frigorífico. <b>Fuente:</b> Autor	41
<b>Figura 27:</b> Conducción de calor a través de una pared plana de espesor $\Delta x$ y área $A$ [8].	44
<b>Figura 28 :</b> Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor en una pared plana de dos capas [8].	52
<b>Figura 29 :</b> Red de resistencias térmicas para dos capas paralelas [8].	53

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

<i>Figura 30: Mecanismos simultáneos de transferencia de calor [8].</i>	54
<i>Figura 31: Estructura de aislamiento. Fuente: Autor.</i>	56
<i>Figura 32 : Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior ( m<sup>2</sup>·K/W) [20].</i>	58
<i>Figura 33: Análisis de resistencia en paralelo [2].</i>	62
<i>Figura 34 : Diferentes modelos de equipos de refrigeración Intarsplit. Fuente: Autor.</i>	69
<i>Figura 35: Carrier Xarios 350-05 Fuente: Autor.</i>	71
<i>Figura 36 : Evaporador Carrier MXS 1100 Fuente: Autor.</i>	71
<i>Figura 37: Ejemplo de semirremolque frigorífico con equipo multi temperatura Fuente: Autor.</i>	74
<i>Figura 38: Ámbito de actuación de la instalación solar fotovoltaica. Fuente: Autor.</i>	77
<i>Figura 39 : Batería de litio BYD LVS 8 kwh. Fuente: Autor.</i>	80
<i>Figura 40 : Inversor Voltronic Axpert MKS III. Fuente: Autor.</i>	82
<i>Figura 41: Panel Solar Flexible 180W, 12V. Fuente: Autor.</i>	85
<i>Figura 42 : Valores para diferentes parámetros [18].</i>	90
<i>Figura 43 : Disposición de los módulos fotovoltaicos en la cubierta del semirremolque. Fuente: Autor.</i>	99
<i>Figura 44 : Conducción del cableado desde la cubierta del semirremolque hasta el inversor y acumulador. Fuente: Autor.</i>	101
<i>Figura 45: Ejemplo de evaporadores multi temperatura en semirremolques frigoríficos. Fuente: Autor.</i>	103
<i>Figura 46: Método de fijación del porta-palets al chasis del semirremolque . Fuente: Autor.</i>	104
<i>Figura 47 : Estructura para la ubicación de los componentes al semirremolque . Fuente: Autor.</i>	105
<i>Figura 48: Estructura para la ubicación de los componentes al semirremolque . Fuente: Autor.</i>	105
<i>Figura 49: Puntos de fijación para el sistema de acumulación . Fuente: Autor</i>	106
<i>Figura 50: Cargas en la estructura . Fuente: Autor</i>	107
<i>Figura 51 : Tensiones de Von Mises en la estructura . Fuente: Autor</i>	108
<i>Figura 52: Tensiones de Von Mises en la estructura . Fuente: Autor</i>	108
<i>Figura 53: Tensiones de Von Mises en la estructura . Fuente: Autor</i>	109
<i>Figura 54: Coeficiente de seguridad de la estructura . Fuente: Autor</i>	109
<i>Figura 55: Diseño final de la estructura . Fuente: Autor</i>	110
<i>Figura 56 : Varias cotas del evaporador MXS1100 y distancias mínimas para la evacuación del aire. Fuente: Carrier Transicold.</i>	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Dimensiones internas del semirremolque frigorífico. <b>Fuente:</b> Autor.....	32
<b>Tabla 2 :</b> Características de los materiales de construcción. <b>Fuente:</b> Autor.....	35
<b>Tabla 3:</b> Elementos que constituyen cada pared del semirremolque. <b>Fuente:</b> Autor.....	36
<b>Tabla 4 :</b> Conductividades térmicas de los elementos característicos a temperatura ambiente [8]. .....	45
<b>Tabla 5:</b> Valores característicos del coeficiente de calor por convección [8]. .....	46
<b>Tabla 6 :</b> Valores de emisividad de algunos materiales a 300 K [8]. .....	48
<b>Tabla 7 :</b> Condiciones del aire analizado en el interior del semirremolque. <b>Fuente:</b> Autor.....	59
<b>Tabla 8 :</b> Condiciones del análisis para resistividad térmica por radiación. <b>Fuente:</b> Autor.....	61
<b>Tabla 9 :</b> Consumo del equipo de refrigeración secundario <b>Fuente:</b> Autor. ....	78
<b>Tabla 10 :</b> Características técnicas del acumulador. <b>Fuente:</b> Autor. ....	81
<b>Tabla 11:</b> Características técnicas del inversor/regulador. <b>Fuente:</b> Autor. ....	83
<b>Tabla 12 :</b> Características técnicas del panel fotovoltaico. <b>Fuente:</b> Autor. ....	86
<b>Tabla 13 :</b> Datos de irradiación mensuales para una inclinación de 0°. <b>Fuente:</b> PVGIS.....	88
<b>Tabla 14 :</b> Producción estimada de la instalación para un día medio en Diciembre. <b>Fuente:</b> Autor.....	92
<b>Tabla 15 :</b> Presupuesto de la instalación. <b>Fuente:</b> Autor.....	114



### Nomenclatura Principal

Simbología	Descripción	Unidades
$L$	Espesor de la lámina	m
$L_c$	Longitud característica	m
$h$	Coefficiente convectivo	W/m <sup>2</sup> ·K
$R$	Resistencia térmica	°C/W
$V_\infty$	Velocidad del viento promedio	m/s
$\rho$	Densidad	kg/m <sup>3</sup>
$\mu_d$	Viscosidad dinámica	kg/m·s
$\mu_c$	Viscosidad cinemática	kg/m·s
$C_p$	Calor específico	KJ/Kg·K
$Pr$	Número de Prandtl	Adimensional
$Un$	Número de Nusselt	Adimensional
$Re$	Número de Reynolds	Adimensional
$\varepsilon$	Emisividad	Adimensional
$h_i$	Cof. de convección interior	W/m <sup>2</sup> ·K
$h_e$	Cof. de convección exterior	W/m <sup>2</sup> ·K
$h_{rad}$	Cof. de convección por radiación	W/m <sup>2</sup> ·K
$K$	Conductividad térmica	W/m·K
$A$	Área	m <sup>2</sup>
$T_s$	Temperatura superficial	°C
$T_{alr}$	Temperatura interna de los alrededores	°C
$T_{\infty 1}$	Temperatura externa media	°C
$T_{\infty 2}$	Temperatura interna media	°C
$Q$	Transferencia de calor	W
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup>
$P_o$	Potencia nominal	W
$P_p$	Potencia pico	W
$N$	Número de paneles fotovoltaicos	Adimensional
$P_{cc,fov}$	Potencia de CC a la salida de los paneles FV	W
$g$	Coefficiente de temperatura de la potencia	1/°C
$T_c$	Temperatura de las células solares	°C
$T_{amb}$	Temperatura ambiente en la sombra	°C

<b>E</b>	Irradiancia solar medida con la CTE calibrada	W/m <sup>2</sup>
<b>V<sub>t</sub></b>	Voltaje total	V
<b>V<sub>mppt</sub></b>	Tensión en punto de máxima potencia	V
<b>V<sub>co</sub></b>	Tensión en circuito abierto	V
<b>I<sub>mppt</sub></b>	Intensidad en punto de máxima potencia	A
<b>β</b>	Coef. de temperatura del módulo en circuito abierto	1/°C
<b>S</b>	Sección de los conductores	mm <sup>2</sup>
<b>ρ'</b>	Resistividad del cobre	Ω mm <sup>2</sup> /m



## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

### **1.1 PREÁMBULO**

Hoy en día hay una gran sensibilización y responsabilidad por los factores que afectan a la vida de nuestro planeta y a la de nuestro entorno natural, como consecuencia de nuestra actividad humana se están generando cambios en el planeta.

El principal cambio del que podemos dejar constancia es el cambio climático, debido a diversos factores estamos creando variaciones en el sistema climático terrestre, lo cual deriva directamente en que cada vez más y con mayor frecuencia, se generan una serie de fenómenos atípicos como por ejemplo sequías, olas de calor, aumento del nivel del mar e inundaciones, desaparición de especies animales, cambios en los ecosistemas y propagación de enfermedades.

Cada día se demandan nuevas alternativas para poder afrontar estos hechos ya que repercuten directamente en la sociedad, en la vida de las personas, y en el hábitat en el que vivimos, ya sea un entorno rural o urbano, este último ha crecido notablemente en los últimos años.

De cara al futuro se está dando una gran importancia a sectores como el aprovechamiento de los recursos y sistemas de eficiencia energética, no solo es importante centrarse en buscar nuevas fuentes de recursos o energía, así como nuevos entornos habitables, sino también de realizar una adecuada gestión y aprovechamiento de los recursos de los que ya disponemos, para que estos no sean desperdiciados, centrándonos principalmente en recursos como el agua o los alimentos, imprescindibles para la vida, y así poder ser más generosos con el entorno en el que vivimos.

En la ciudad de Elche, que es donde nos encontramos, la población ya supera los doscientos treinta mil habitantes, siendo la segunda ciudad más poblada en la provincia de Alicante, y la tercera en la Comunidad Valenciana, este aumento poblacional se vincula al dinamismo económico que junto al tirón de la industria, la agricultura el

comercio y el transporte, llevan a Elche a liderar un crecimiento de población en la Comunidad.

## 1.2 GENERALIDADES

Los datos del Observatorio del Transporte y Logística de España del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana en relación con el transporte total de mercancías por carretera de vehículos españoles medido por miles de toneladas y clasificado por comunidades autónomas, sitúan a fecha de 2018 a la Comunidad Valenciana como la segunda comunidad autónoma que más toneladas de mercancía por carretera ha transportado solo por detrás de Cataluña [1].

Esto nos indica la importancia del sector, que a pesar de haber sufrido caídas por la crisis del COVID-19, es uno de los pocos que ha podido mantener la actividad.

Como consecuencia de la pandemia, muchos fabricantes de vehículos industriales, semirremolques, equipos y componentes se han visto afectados por el desabastecimiento de piezas y material técnico, que junto a la bajada de la demanda provocada la incertidumbre económica ha generado un escenario plagado de dudas para este mercado, según los más optimistas se espera que durante la etapa de recuperación económica el sector siga manteniendo una tendencia al alza, como venía acentuando en los últimos años, algo cuanto menos complejo, si añadimos a los factores anteriores, la cada vez mayor necesidad de renovación del sector, en relación al consumo de combustibles fósiles, emisiones de gases y la necesidad de una economía verde [2].

## 1.3 NORMATIVA DE APLICACIÓN

Además de las especificaciones del presente proyecto, serán de aplicación junto con las siguientes disposiciones, normas y reglamentos cuyas preinscripciones puedan afectar a las obras u operaciones que estén formando parte de él.

- Ley 31/1.995 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/2.003 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL).
- Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo RID 555/86.
- Normas UNE de los materiales utilizados.
- Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones reglamentarias.
- Pliego de condiciones técnicas del IDEA, Instalaciones Aisladas.
- Código Técnico de la Edificación CTE.
- Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía, DA DB-HE / 1
- Real Decreto 2822/1998 Reglamento General de Vehículos
- Reglamento nº10 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos en lo que concierne a su compatibilidad electromagnética.

#### 1.4 EL TRANSPORTE DE MERCANCIAS

El transporte terrestre con vehículos refrigerados es el modo más común de transporte de alimentos, y representa un eslabón importante en la cadena de frío [3]. El propósito de un sistema de transporte refrigerado es mantener una temperatura uniforme en toda la carga, es esencial para preservar la calidad, seguridad y la vida útil de los alimentos perecederos [4].

La refrigeración, la seguridad alimentaria y el desperdicio de alimentos están íntimamente relacionados. Los alimentos perecederos deben mantenerse refrigerados o congelados a lo largo de toda la cadena de suministro. Los pasos de refrigeración que se aplican para mantener los alimentos en el rango de temperatura deseado se denomina cadena de frío. La producción de alimentos, pre-enfriamiento, transporte, almacenamiento y distribución de productos, y la refrigeración doméstica son los principales pasos dentro de la cadena de frío [3].



Los sistemas de transporte pueden considerarse simplemente almacenes frigoríficos refrigerados móviles y comparten la mayoría de los mismos procesos y mecanismos que ocurren en las instalaciones estáticas. Estos sistemas atraviesan una amplia gama de condiciones climáticas, radiación solar, transferencia de calor entre el aire exterior y las paredes del recipiente de transporte, son particularmente importantes, una condición extrema es la infiltración de aire desde el ambiente hacia la cavidad del vehículo [4].

El transporte de alimentos tiene como objetivo principal, que los productos transportados lleguen desde las distintas zonas de producción en las condiciones adecuadas de calidad y cantidad exigidas por los consumidores. El concepto de que el transporte solo es un medio que facilita la movilización está cambiando debido a las exigencias de calidad y control.

### 1.5 MOTIVOS PARA LA REDACCIÓN DEL PRESENTE PROYECTO

Con el motivo de cumplir con la responsabilidad social que se espera en una sociedad moderna y vanguardista, buscando mejorar la sostenibilidad y el cuidado del entorno natural que nos rodea, “TRANSELX S.L.”, empresa dedicada al transporte de alimentos y mercancías ubicada en el Parque Agroalimentario “La Alcudia – Elche”, de la cual formo parte, propone la idea de la inclusión de una instalación solar fotovoltaica en la cubierta de un semirremolque frigorífico con el objetivo de abastecer el equipo de refrigeración con energía renovable.

El objeto del presente estudio no es otro, que buscar una solución más eficiente, desde el punto de vista ambiental, con respecto a los equipos frigoríficos utilizados para el transporte de alimentos por carretera, los cuales funcionan actualmente mediante un motor diésel.

Como consecuencia del incremento cada vez mayor de la emisión de gases de efecto invernadero, junto a otros derivados de la combustión, por parte de nuestra actividad, muchas empresas del sector están buscando alternativas a la utilización del gasóleo como

método de alimentación de los equipos frigoríficos, centrándose principalmente la electrificación de los equipos.

Para llevar a cabo el presente diseño es necesario el conocimiento del equipo actual, a partir de la información obtenida, se ha realizado un estudio térmico para obtener la razón de transferencia de calor, donde a partir del cual se escogerá un equipo de frío secundario, y posteriormente, se realizará un estudio fotovoltaico con el fin de obtener la energía necesaria para alimentar dicho equipo.

En conclusión, se van a gestionar y analizar una serie de datos procedentes de los diferentes estudios, los cuales abalarán, o no, la viabilidad de la solución adoptada.

## 1.6 LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PARA FRIO INDUSTRIAL

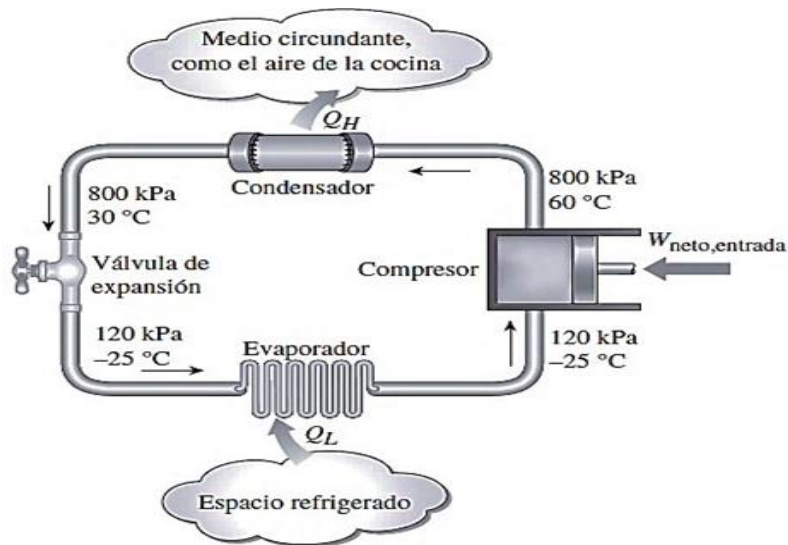
En el presente apartado se van a tratar los conceptos básicos en relación a los sistemas de refrigeración actuales, sus características y sus principios de funcionamiento.

### 1.6.1 LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Un refrigerador es una máquina térmica, cíclica, que convierte el calor en trabajo, utilizando algunos dispositivos especiales, y es posible caracterizarla de la siguiente forma:

1. Recibe calor de una foco de alta temperatura
2. Convierte parte de ese calor en trabajo
3. Rechaza el calor de desecho hacia un foco de calor de baja temperatura
4. Opera en un ciclo

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor se utiliza con mayor frecuencia, en este ciclo intervienen cuatro componentes principales: un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador [16].



**Figura 1:** Componentes básicos de un sistema de refrigeración y sus condiciones de operación características [16].

En el esquema de la figura 1 se representa a “ $Q_L$ ” como la magnitud del calor eliminado del espacio refrigerado a temperatura “ $T_L$ ”, “ $Q_H$ ” es la magnitud de calor rechazado hacia el medio caliente a temperatura “ $T_H$ ” y “ $W_{\text{neto, entrada}}$ ” es la entrada de trabajo neto al refrigerador. Recalcando que “ $Q_L$ ” y “ $Q_H$ ” son magnitudes, por lo tanto, son cantidades positivas [16].

El refrigerante entra al compresor como vapor y se comprime hasta la presión del condensador, posteriormente sale del compresor a una temperatura relativamente alta y se enfría y condensa a medida que fluye por los serpentines del condensador rechazando calor al medio circundante. Después entra al tubo capilar donde su presión y temperatura caen en forma drástica debido al efecto de estrangulamiento. Luego, el refrigerante a temperatura baja entra al evaporador, donde se evapora absorbiendo calor del espacio refrigerado. El ciclo se completa cuando el refrigerante sale del evaporador y vuelve a entrar al compresor [16].

### 1.6.2 PROCESOS REVERSIBLES E IRREVERSIBLES

Un proceso reversible se define como un proceso que se puede invertir, es decir, tanto el sistema como los alrededores vuelven a sus estados iniciales una vez finalizado el proceso inverso. Esto es posible si el intercambio de calor y trabajo netos entre el sistema y los alrededores es cero para proceso combinado. Los procesos que no son reversibles se denominan irreversibles [16].

Las irreversibilidades son los factores que causan que un proceso sea irreversible, como la fricción, la expansión libre, el mezclado de dos fluidos, la transferencia de calor a través de una diferencia de temperatura finita, la resistencia eléctrica. La presencia de cualquiera de estos efectos hace que un proceso sea irreversible [16].

### 1.6.3 EL CICLO DE CARNOT

La eficiencia de un ciclo se puede maximizar mediante procesos reversibles, pero en la práctica no es posible lograr ciclos reversibles porque no se puede eliminar las irreversibilidades relacionadas con cada proceso. Es probable que sea el ciclo reversible más conocido sea el ciclo de Carnot, cuyo ciclo se compone de cuatro procesos reversibles, dos isotérmicos y dos adiabáticos, y que es posible llevar a cabo en un sistema cerrado o de flujo estacionario. Los cuatro procesos reversibles que conforman el ciclo de Carnot son los siguientes: [16].

**Proceso 1-2.** Expansión isotérmica reversible ( $TH = constante$ ).

**Proceso 2-3.** Expansión adiabática reversible (*Temperatura disminuye de TH a TL*).

**Proceso 3-4.** Compresión isotérmica reversible ( $TL = constante$ ).

**Proceso 4-1.** Compresión adiabática reversible (*Temperatura sube de TL a TH*).

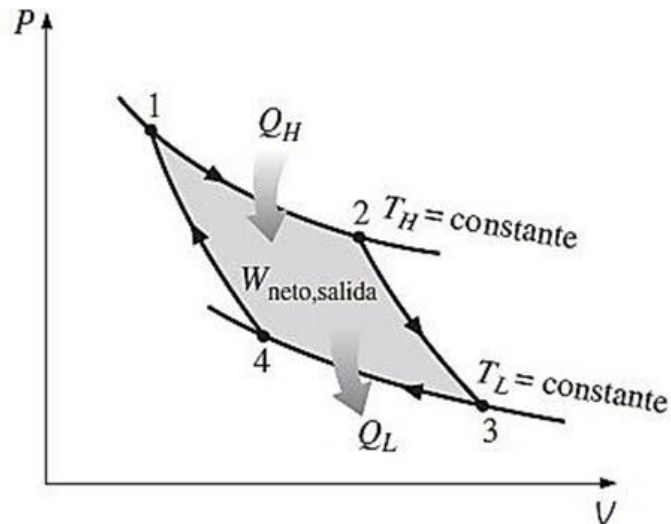


Figura 2: Diagrama P-V de un ciclo de Carnot [16].

#### 1.6.4 EL CICLO INVERTIDO DE CARNOT

El ciclo de Carnot es un ciclo totalmente reversible, por lo tanto, todos los procesos que abarca se pueden invertir, cuyo caso se convierte en el ciclo de refrigeración de Carnot. El diagrama Presión-Volumen del ciclo de Carnot invertido es el mismo que corresponde al ciclo de Carnot, excepto que se invirtieren las direcciones de los procesos como se observa en la figura 3 [16].

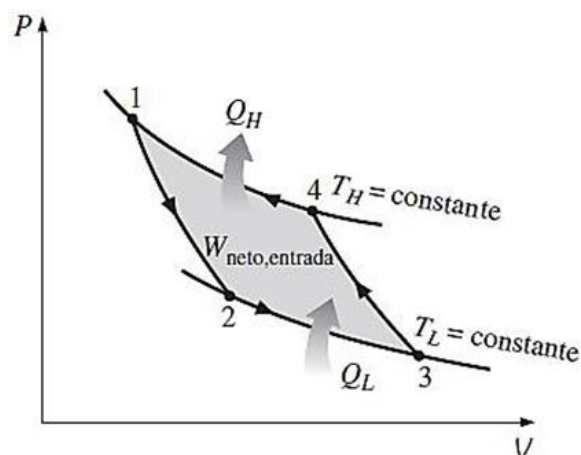


Figura 3 : Diagrama P-V de un ciclo invertido de Carnot [16].

### 1.6.5 EL CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Las dificultades que presenta el ciclo invertido de Carnot para mantener condiciones isotérmicas durante los procesos de absorción y rechazo de calor pueden ser eliminadas al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima, y al sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, tal como una válvula de expansión. El ciclo que resulta se denomina ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, se compone de cuatro procesos y se muestra de manera esquemática y en un diagrama T-s en la figura 4 [16].

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se utiliza en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor.

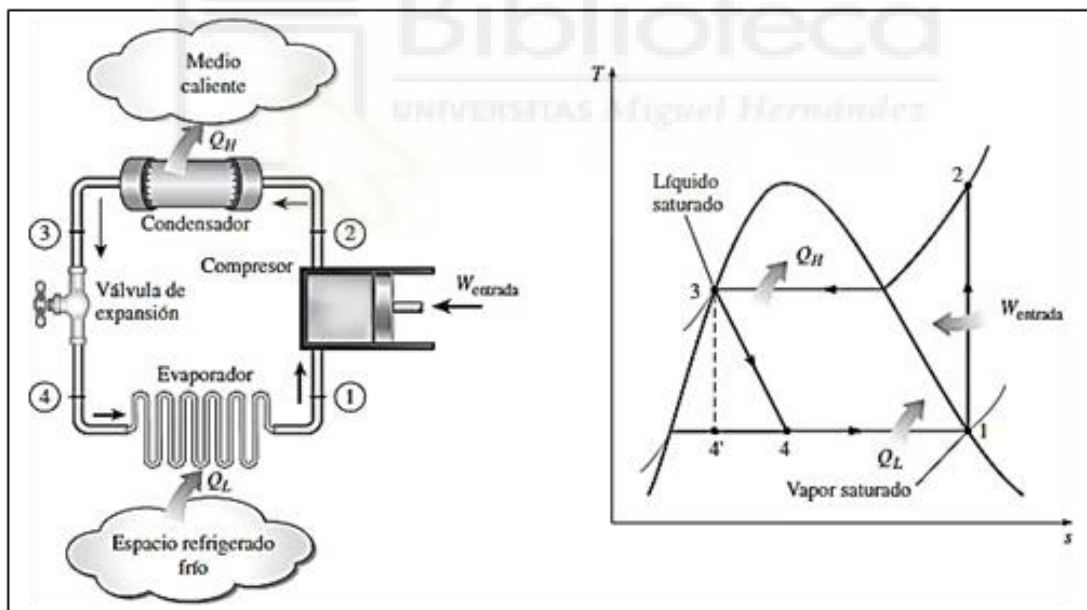


Figura 4: Esquema y diagrama T-S para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor [16].

**Proceso 1-2. Compresión isentrópica en un compresor:** El refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado y se comprime isoentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante aumenta durante el proceso de

compresión isentrópica, hasta un valor bastante superior al de la temperatura del medio circundante

**Proceso 2-3. Rechazo de calor a presión constante en un condensador:** Después el refrigerante entra en el condensador vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido saturado en el estado 3, como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores. La temperatura del refrigerante en este estado se mantendrá por encima de la temperatura de los alrededores.

**Proceso 3-4. Estrangulamiento en dispositivo de expansión:** El refrigerante líquido saturado en el estado 3 se estrangula hasta la presión del evaporador al pasarlo por una válvula de expansión o por un tubo capilar. La temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante este proceso. El refrigerante entra al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio refrigerado.

**Proceso 4-1. Absorción de calor a presión constante en un evaporador:** El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando el ciclo .

#### 1.6.6 EL CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor difiere de uno ideal, debido a las irreversibilidades que ocurren en varios componentes; las más comunes son la fricción del fluido debido a caídas de presión y la transferencia de calor hacia los alrededores. En la figura 5 podemos observar el diagrama T-s de un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor [16].

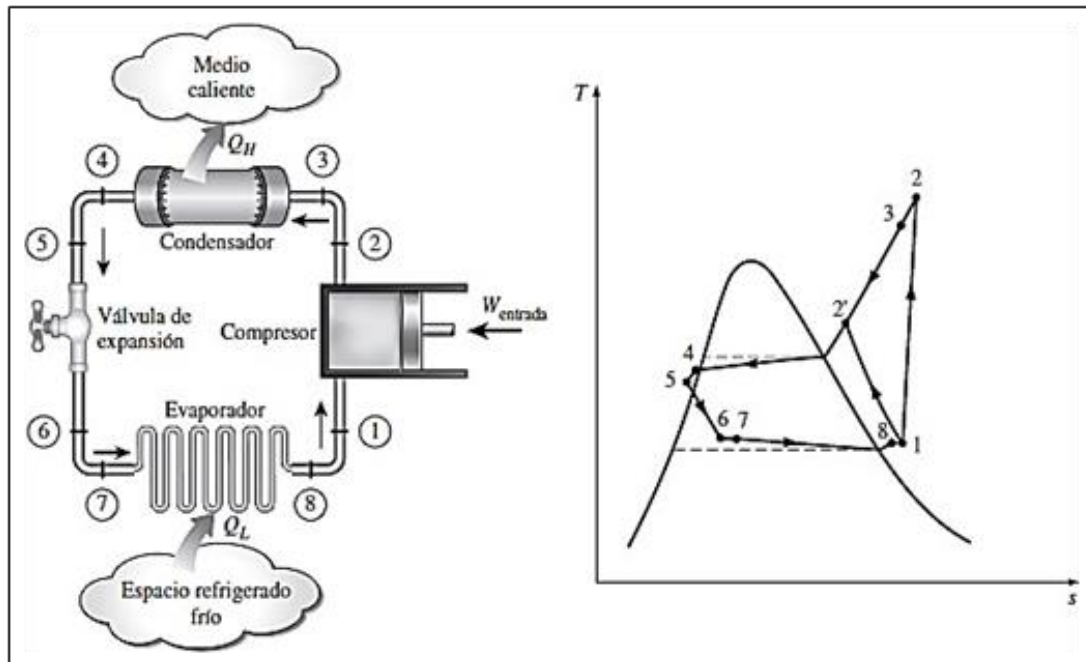


Figura 5: Esquema y diagrama T-S para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor [16].

Comparando con el ciclo ideal donde el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado. Es algo que, en la práctica, no es posible controlar el estado en el que se encuentra el refrigerante con tanta precisión. Otro problema es que la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga, por lo tanto, la caída de presión ocasionada por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante pueden ser muy significativas.

## 1.7 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

### 1.7.1 LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina. Necesita sistemas de captación y de almacenamiento y aprovecha la radiación del Sol de varias maneras diferentes [10]:



- Utilización directa: Mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva
- Transformación en calor: Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a sistemas de calefacción etc.
- Transformación en electricidad: Es la llamada energía solar fotovoltaica, que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes en los módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

Es una de las energías renovables con mayores posibilidades, presenta a su vez una serie de ventajas e inconvenientes [10].

Se trata de una energía con escaso impacto ambiental, no produce residuos perjudiciales para el medio ambiente, distribuida por todo el mundo, no tiene más costes una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo, es una fuente inagotable de energía. Como inconvenientes se presentan que se necesitan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos, puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en el caso de grandes instalaciones, tiene un impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno [10].

### 1.7.2 LA ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA

Actualmente, en nuestro país nos encontramos ante un sistema avanzado de desarrollo, instalación y aprovechamiento en cuanto a la energía solar se refiere. España, debido a la

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

localización que tiene, es uno de los países con mayor horas solares frente a sus homólogos de la zona Euro [11].

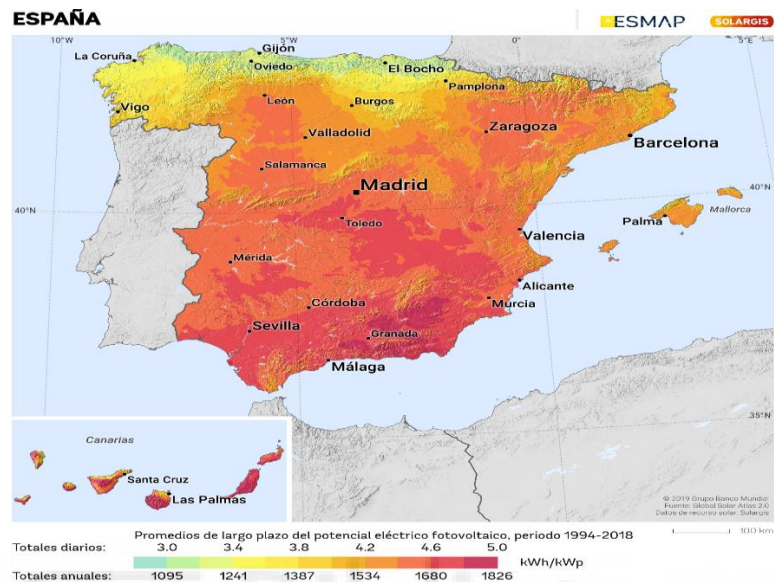


Figura 6 : Promedio del potencial eléctrico fotovoltaico en España [12].

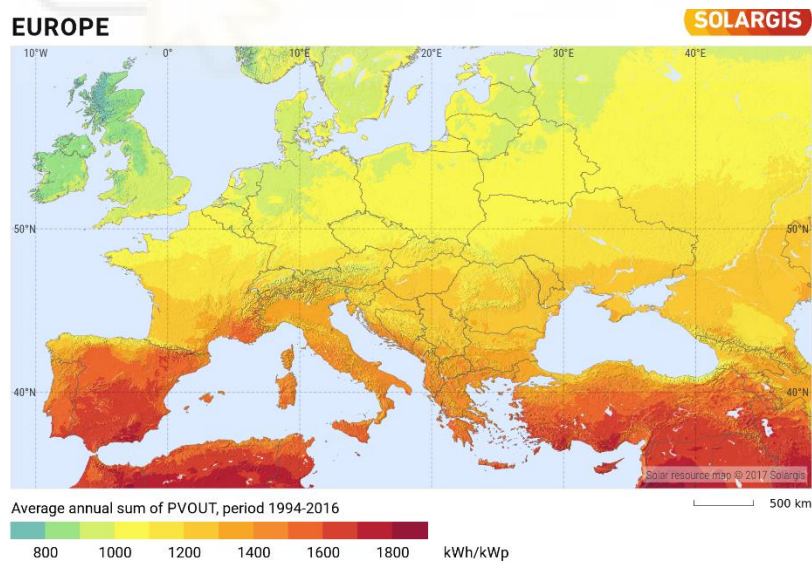


Figura 7 : Promedio del potencial eléctrico fotovoltaico en Europa [12].

En las figuras 6 y 7 podemos comprar el promedio del potencial eléctrico fotovoltaico entre Europa y España.

Todo esto, sumado a los compromisos europeos en instalación de energías renovables hace que se pueda provocar la disminución de la dependencia energética exterior y aumentar la autosuficiencia energética. Estas características hicieron que España fuera inicialmente uno de los pioneros a nivel mundial en I+D+I en energía solar. Más tarde, tras la aparición de regulaciones legislativas se redujeron las evoluciones de esta tecnología [11].

A día de hoy, si analizamos la situación del mercado de la energía solar fotovoltaico y el impacto que está teniendo en ella la pandemia, encontramos dos temas destacados, el indiscutible liderazgo de España en el crecimiento del mercado solar y el carácter transitorio de la crisis provocada por el Coronavirus. La bajada del mercado solar en Europa ha sido más reducida o casi inexistente en España, donde el sector se ha mantenido activo gracias al reciente cambio legislativo a pesar de la pandemia. Esto dará una base más consistente para cuando el mercado a nivel mundial se recupere la velocidad que alcance España se espera que sea incluso mayor [13].

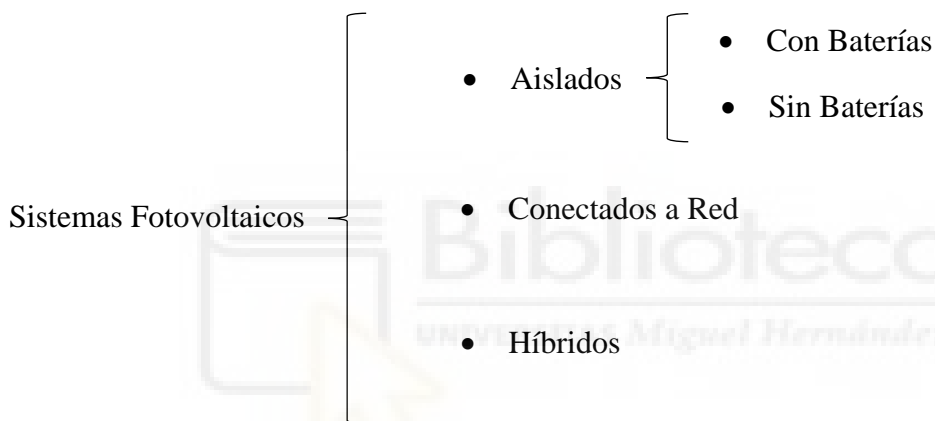


*Figura 8: Escenario anual del mercado solar fotovoltaico [13].*

### 1.7.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica [10].

Estos sistemas, independientemente de su utilización y de su potencia, se pueden clasificar de la siguiente forma:



Hay diferentes opciones para construir un sistema fotovoltaico, pero esencialmente poseen los siguientes componentes.

- **Generador fotovoltaico:** Es el encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.
- **Baterías o acumuladores:** Almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en períodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.
- **Regulador de Carga:** Encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla.

- Inversor: Es el encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para introducir la energía producida en la red de distribución eléctrica.
- Elementos de protección del circuito: Como interruptores de desconexión, diodos de bloqueo, etc. Están dispuestos en diferentes elementos del sistema, para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.

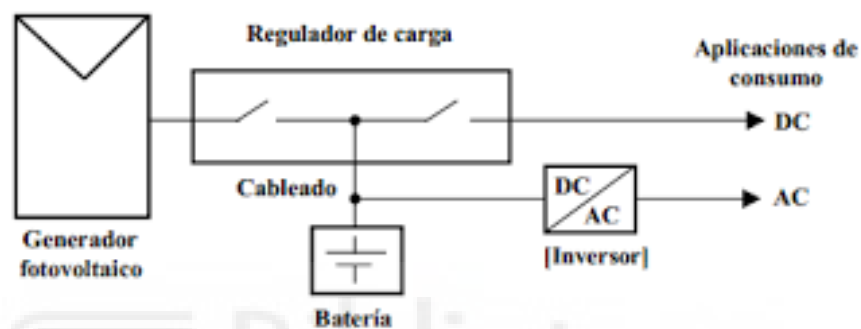


Figura 9: Esquema de un posible sistema fotovoltaico [10].

### 1.7.3.1 SISTEMAS AISLADOS

Tienen como objetivo principal satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución, o esta tiene un difícil acceso [10].

Los sistemas aislados normalmente están equipados con sistemas de acumulación de energía, ya que solo pueden proporcionar energía durante el día y la demanda se puede producir a lo largo del día y de la noche. Esto implica que el campo fotovoltaico ha de estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y la recarga de las baterías de acumulación.

También existen aplicaciones aisladas que no requieren la utilización de acumuladores, y por tanto funcionan siempre que haya sol, como por ejemplo un sistema de bombeo de agua.

### 1.7.3.2 SISTEMAS CONECTADOS A RED

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica, el caso más común son las grandes instalaciones para venta de energía [10].

Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento de las mismas en lo referente a la forma de entregar la energía, tanto en modo como en tiempo, evitando situaciones de riesgo.

Por otra parte, se eliminan las baterías, que son la parte más cara y compleja de una instalación ( ciclos de carga, vida útil, mantenimiento, etc.).

A su vez existen dentro de este caso instalaciones solares fotovoltaicas de autoconsumo las cuales también pueden estar conectadas a la red eléctrica, su principal ventaja es que pueden disponer de la energía de la red eléctrica cuando la demanda es superior a la que puede suministrar el conjunto módulos-baterías. En la opción sin excedentes, es necesaria la instalación de un sistema anti-vertido homologado que evita verter a la red el excedente, por otra parte, la opción con excedentes, donde la instalación solar fotovoltaica cubrirá nuestras necesidades en determinados momentos y en otros verterá la energía a la red, de esta forma mediante el sistema de compensación de consumos, la energía vertida a la red puede ser compensada en nuestra factura eléctrica, todo ello se encuentra regulado por el RD 244/2019.

### 1.7.3.3 SISTEMAS HÍBRIDOS

En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad [10].

Cuando un sistema fotovoltaico además del generador incorpora otro generador de energía se denomina sistema híbrido, y en general se utiliza la energía eólica o grupos electrógenos.

Estas combinaciones se dan para aprovechar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía, normalmente la generación fotovoltaica es compatible con cualquier otra generación eléctrica.

La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable y depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

### 1.7.4 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

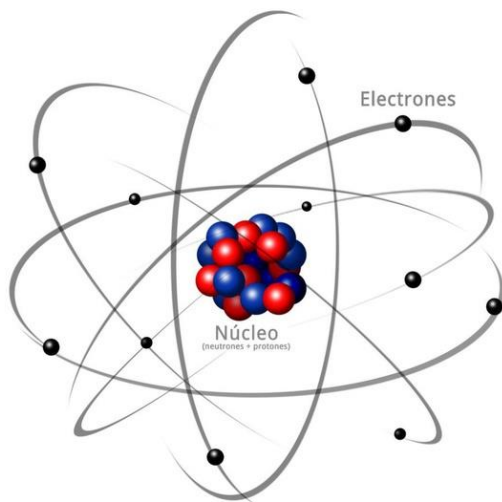
El efecto fotoeléctrico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue mediante algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad [10].

#### 1.7.4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La materia está constituida por átomos, que tienen dos partes bien diferenciadas [10]:

- **Núcleo:** Carga eléctrica positiva.
- **Electrones:** Carga eléctrica negativa.





Los electrones giran alrededor del núcleo en distintas bandas de energía y compensan la carga positiva de éste, formando un conjunto estable y eléctricamente neutro.

Figura 10 : Estructura de los átomos. Fuente: Autor.

Los electrones de la última capa se llaman electrones de valencia, y se interrelacionan con otros similares formando una red cristalina.

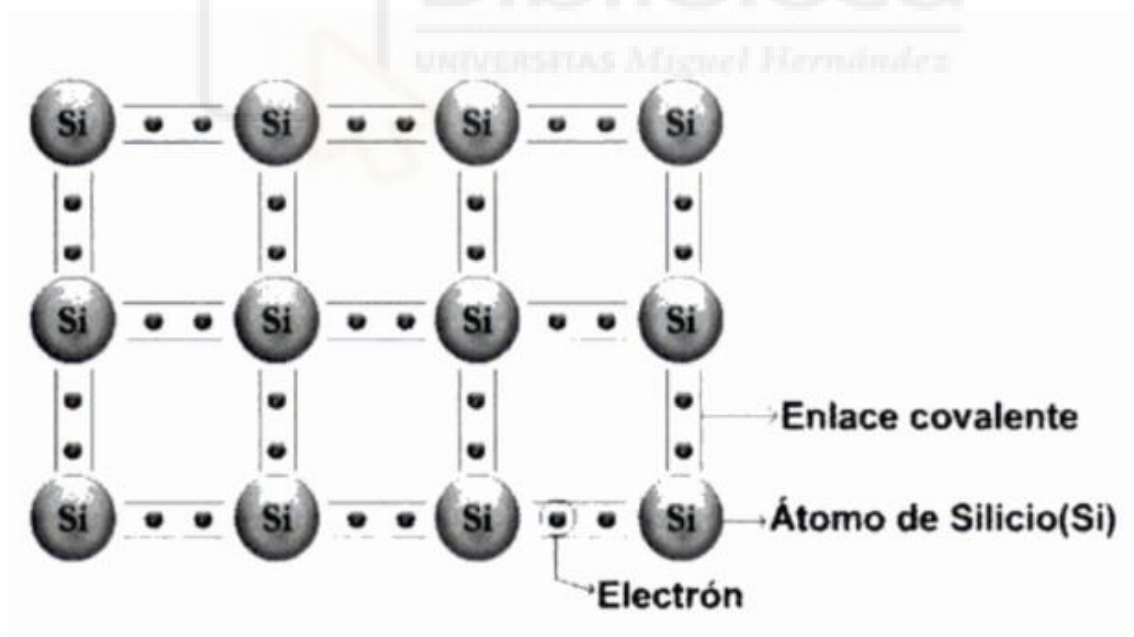


Figura 11: Estructura semiconductor [10].

Eléctricamente hablando, existen tres tipos de materiales:



- **Conductores:** Los electrones de valencia están poco ligados al núcleo y pueden moverse con facilidad dentro de la red cristalina con un pequeño agente externo.
- **Semiconductores:** Los electrones de valencia están más ligados al núcleo pero basta una pequeña cantidad de energía para que se comporten como conductores.
- **Aislantes:** Tienen una configuración muy estable, con los electrones de valencia muy ligados al núcleo, la energía necesaria para separarlos de éste es muy grande

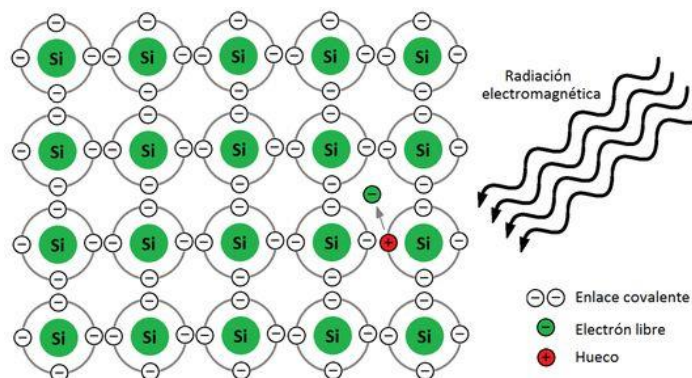
Los materiales usados en las células fotovoltaicas son los semiconductores.

#### 1.7.4.2 MATERIALES SEMICONDUCTORES

La energía que liga los electrones de valencia con su núcleo es similar a la energía de los fotones, partículas que forman los rayos solares [10].

Cuando la luz solar incide sobre el material semiconductor, se rompen los enlaces entre núcleo y electrones de valencia, que quedan libres para circular por el semiconductor.

Al lugar que deja el electrón al desplazarse se le llama hueco y tiene carga eléctrica positiva, de igual valor que la del electrón pero de signo contrario.

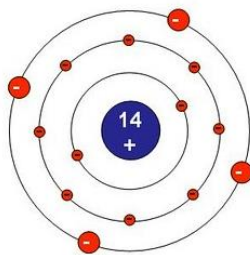


*Figura 12 : Efecto fotoeléctrico. Fuente: Autor.*

Los electrones libres y los huecos creados por la radiación tienden a recombinarse perdiendo su actividad. Para que esto no ocurra, y poder aprovechar esta libertad de los electrones, hay que crear en el interior del semiconductor un campo eléctrico.

El material más utilizado en la fabricación de células solares es el silicio, que tiene cuatro electrones de valencia.

### Átomo de Silicio (Si)

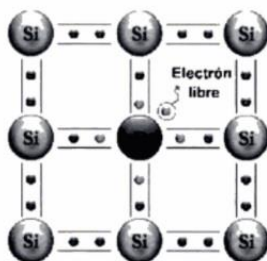


Para crear un campo eléctrico en este tipo de semiconductor se unen dos regiones de silicio tratadas químicamente, es la denominada “**unión p-n**”.

**4 Electrones en la última capa**  
~ SEMICONDUCTOR ~

Figura 13 : Átomo de silicio. Fuente: Autor.

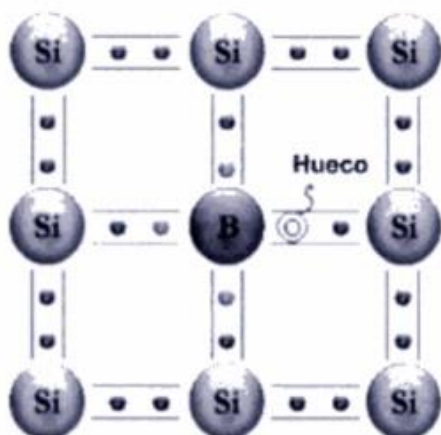
#### 1.7.4.3 UNIÓN “P-N”



Para conseguir un semiconductor de silicio tipo “n” se sustituyen algunos átomos de silicio por átomos de fósforo, que tiene cinco electrones de valencia.

Como se necesitan cuatro electrones para formar los enlaces con los átomos contiguos, queda un electrón libre.

Figura 14: Representación esquemática de una estructura de silicio tipo “n” [10].



De forma análoga si se sustituyen los átomos de silicio por átomos de boro que tiene tres electrones de valencia, se consigue un semiconductor tipo “p”.

Al igual que en el caso anterior, al formar los enlaces falta un electrón, o dicho de otra forma, hay un hueco disponible.

Figura 15 : Representación esquemática de una estructura de silicio tipo “p” [10].

Para conseguir una unión “p-n” se pone en contacto una superficie de semiconductor tipo “n” con la de un semiconductor tipo “p”.

Los electrones libres del material tipo “n” tienden a ocupar los huecos del material tipo “p” y viceversa, creándose así un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los electrones y los huecos continúan difundándose hacia lados opuestos.

El proceso continua hasta que ya no se pueden intercambiar más electrones y huecos, consiguiéndose un campo eléctrico permanente sin la ayuda de campos eléctricos externos.

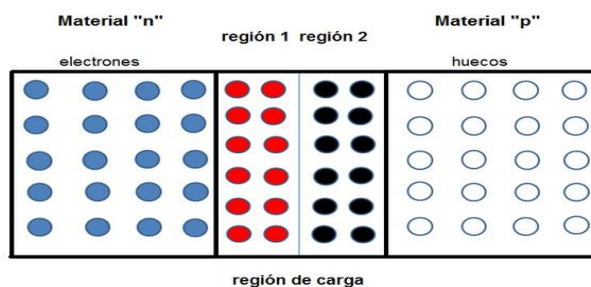


Figura 16 : Representación esquemática de la unión “p-n” en un semiconductor. Fuente: Autor.

#### 1.7.4.4 ANCHO DE BANDA PROHÍBIDA

Para que se produzca el efecto fotovoltaico, es decir, para que se produzca una corriente eléctrica cuando incide energía sobre el material semiconductor, es necesario que los fotones tengan una energía mayor que un valor mínimo determinado, que se denomina ancho de banda prohibida  $E_g$  [10].

A este valor mínimo también se le denomina “gap” de energía y se suele expresar en electrón-voltios.

$$1eV \text{ (electrón – voltio)} = 1,602 \cdot 10^{-19} J$$

- La energía que se aprovecha de cada fotón es la  $E_g$ . Si los materiales utilizados en la fabricación de las células fotovoltaicas tienen un  $E_g$  muy pequeña, se desaprovecharía mucha energía.
- Si la  $E_g$  es muy grande, las células se mostrarían transparentes a la mayoría de los fotones incidentes ya que el espectro de la luz solar se distribuye sobre un rango de longitudes de onda que va desde  $0,35 \mu m$  hasta algo más de  $3 \mu m$ .
- El valor óptimo de  $E_g$  está en torno a 1,5 eV.

#### 1.7.5 EL PANEL FOTOVOLTAICO, TIPOLOGÍAS Y CARACTERÍSTICAS

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son [14]:

- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>

- Temperatura de célula de 25 °C

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- Monocristalinas: Se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los cuatro lados cortos, si se observa se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada), estas proporcionan el rendimiento más elevado.
- Policristalinas: Cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, se diferencian de las monocristalinas en que son de forma cuadrada, esto permite aprovechar mejor el espacio.
- Amorfas: Cuando el silicio no ha cristalizado.



*Figura 17: Panel fotovoltaico. Fuente: Autor.*

#### 1.7.5.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se ilumina una célula solar que se encuentra conectada a una carga externa, se produce una diferencia de potencial en dicha carga y una circulación de corriente que sale al circuito exterior por el terminal positivo y vuelve a la célula por el negativo. En estas

condiciones la célula se comporta como un generador de energía y los fenómenos que tienen lugar en el interior del dispositivo pueden describirse de la siguiente forma [17]:

Los fotones que inciden sobre la célula con energía igual o mayor que el ancho de banda prohibida se absorben en el volumen del semiconductor y generan pares electrón hueco que pueden actuar como portadores de corriente.

El campo eléctrico producido por la unión “p-n” es la causa de la separación de los portadores antes de que puedan recombinarse de nuevo y por tanto la causa de la circulación de la corriente eléctrica por la diferencia de potencial externa, suministrando así energía a la carga.

## 1.8 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN CON ENERGÍA SOLAR

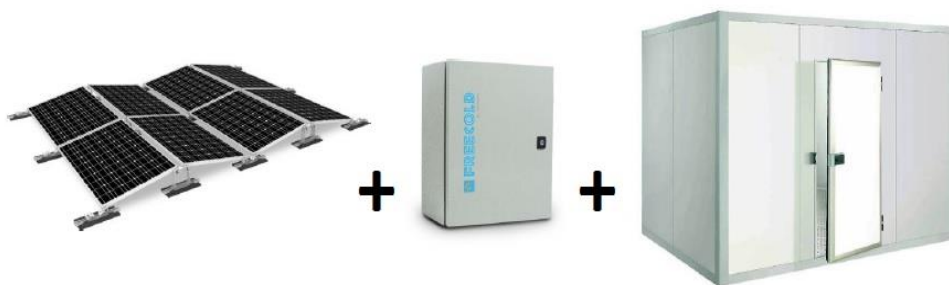
La tecnología de la refrigeración solar parte de una idea aparentemente contradictoria, el uso del calor para la generación de frío. Hay que tener en cuenta que el consumo de los equipos de climatización o refrigeración aumenta durante los meses de verano y durante las horas centrales del día que es cuando se genera más calor, a su vez en esta franja horaria es cuando los sistemas solares ( solares fotovoltaicos o solares térmicos) alcanzan su pico de producción de energía, por lo que la generalización de esta tecnología puede suponer un desarrollo muy positivo en la implantación de nuevas aplicaciones de las energías renovables y en la reducción de dichas puntas de consumo eléctrico.

Dentro de esta tecnología podemos diferenciar dos tipologías:

- **Sistemas basados en fotovoltaica:** Cualquier aparato eléctrico de aire acondicionado podría funcionar a partir de la energía generada por módulos solares fotovoltaicos. Existen varios fabricantes que venden combinaciones entre las dos tecnologías. La ventaja es que no se necesitan aparatos especiales y los dos elementos están disponibles en el mercado. La desventaja es el bajo rendimiento, comparados con los sistemas de energía solar térmica.

Actualmente los sistemas fotovoltaicos en el ámbito industrial están implementados principalmente en grandes instalaciones frigoríficas para la conservación de productos ( cámaras frigoríficas ), utilizan la energía producida por la instalación fotovoltaica para alimentar los equipos de refrigeración, estos equipos también operan con la energía de la red eléctrica, ya que por un lado no pueden depender de la energía solar a determinadas horas o bien porque la superficie disponible para la instalación de los módulos no es capaz de satisfacer toda la demanda de los equipos, aun así la implementación de la energía solar fotovoltaica en este ámbito supone un gran ahorro económico para este sector.

Sin embargo se da el caso de algunos sistemas de refrigeración con energía solar fotovoltaica que pueden funcionar aisladas de la red, aunque no son mayoritarios. Se trata de quipos de climatización para viviendas, o en el ámbito industrial, sistemas pensados para la conservación de alimentos o productos farmacéuticos en zonas complejas, de difícil acceso o para labores humanitarias, podemos ver un ejemplo en la figura 18, se trata de una cámara de refrigeración con una capacidad de hasta 50m<sup>2</sup> con una autonomía de 60 horas y capacidad frigorífica de 4,5 Kw, la cual es completamente autosuficiente y puede funcionar con independencia de la red eléctrica.



*Figura 18 : Cámara frigorífica solar. Fuente: Freecold.*

- **Sistemas basados en energía solar térmica:** Los sistemas basados en la energía solar térmica extraen mayor rendimiento de las instalaciones a menudo infraaprovechadas o en riesgo de sobrecalentamiento durante el verano. Es una de las aplicaciones con energía solar en la que mejor se adapta la oferta con la demanda.



La tecnología utilizada en estos sistemas, la refrigeración por absorción, se basa en la capacidad de absorber calor de ciertos pares de sustancias, como el agua y el bromuro de litio o el agua y el amoníaco. Su funcionamiento se basa en las reacciones físico-químicas entre un refrigerante y un absorbente, accionadas por una energía térmica -que en el caso de la energía solar es agua caliente. Instalaciones solares de este tipo requieren equipos e instalaciones especiales en las que cada vez hay más experiencia pero que conviene tener un importante respaldo tanto en el diseño como en la ejecución, puesta en marcha y explotación de la instalación. Su aplicación más frecuente suele ser para instalaciones residenciales o de viviendas, agua caliente sanitaria etc.

## 1.9 OBJETIVOS

### 1.9.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el diseño de una instalación solar fotovoltaica de apoyo, en un semirremolque frigorífico de la empresa “TRANSELX S.L.”, destinado principalmente al transporte de alimentos, cuyo objetivo es la reducción del consumo de gasóleo por parte del equipo frigorífico primario.

### 1.9.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir datos e información de las condiciones de funcionamiento del equipo frigorífico actual.
- Analizar el comportamiento térmico del sistema.
- Elección de un posible sistema de refrigeración secundario en base a los cálculos térmicos.
- Realizar un estudio fotovoltaico con el fin de satisfacer los requisitos de potencia eléctrica del nuevo equipo de refrigeración seleccionado.



- Ubicación, solución estructural e instrucciones de montaje del conjunto de los nuevos equipos.
- Estudio de costes y viabilidad.



## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

### 2.1 ANTECEDENTES

Los vehículos refrigerados habitualmente están hechos de paneles aislantes, con una estructura de acero para proporcionar rigidez y resistencia, el espesor del aislamiento suele variar entre 50 y 150 mm [6].

En todo el mundo, existen alrededor de 4 millones de vehículos refrigerados para carretera, de los cuales aproximadamente el 30% son remolques, 30% camiones grandes y 40% camiones pequeños y furgonetas. Se pronostica que para 2030, el transporte mundial de mercancías por carretera habrá crecido un 2,5% anual [5].

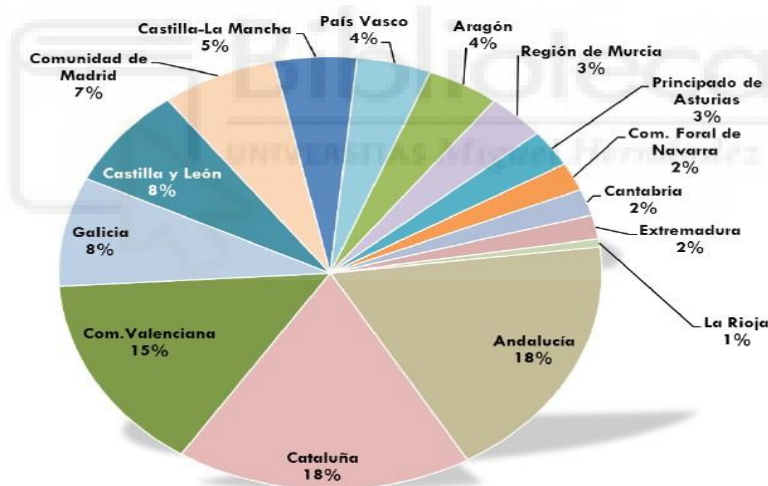
Dando paso al ámbito nacional, el transporte de mercancías por carretera registró en 2019 su sexto año de crecimiento ininterrumpido, al superar los 1.576 millones de toneladas (+4,5%) y los 295 mil millones de toneladas-kilómetro (+4,1%). Este buen desempeño ha tenido lugar en todos los ámbitos (nacional e internacional) y todas las magnitudes (toneladas y toneladas-kilómetro) analizadas. En particular, en 2019 las cifras registradas por el transporte de mercancías en el ámbito nacional han sido más positivas (+4,7% en toneladas y +4,9% en toneladas-kilómetro) que en el internacional (+2,8% en toneladas y +2,9% en toneladas-kilómetro). Adicionalmente, estas mejores cifras en el ámbito nacional contribuyen a incrementar su preponderancia, dado que en 2019 era el responsable del 92,7% del total de las toneladas transportadas y del 56,9% de las toneladas-kilómetro [1].

Ámbito	Miles de toneladas			Millones de toneladas-kilómetro		
	2018	2019	Var. 2019-18	2018	2019	Var. 2019-18
Nacional	1.396.292	1.461.425	+4,7%	160.118	168.026	+4,9%
Internacional	111.948	115.038	+2,8%	123.831	127.470	+2,9%
<b>TOTAL</b>	<b>1.508.240</b>	<b>1.576.463</b>	<b>+4,5%</b>	<b>283.949</b>	<b>295.496</b>	<b>+4,1%</b>

*Figura 19 : Transporte de mercancías por carretera (toneladas y toneladas-kilómetro) por ámbito. 2018-2019 [1].*

En el ámbito interregional, se observa el diferente comportamiento de los distintos territorios, en términos absolutos, el transporte intrarregional registró un crecimiento del +5,2% en 2019, consolidando la tendencia al alza observada en los últimos seis años[1].

La contribución de las distintas comunidades autónomas al transporte intrarregional se encuentra fuertemente vinculado al PIB regional, así como, en menor medida, a otros factores relacionados con la dispersión de la actividad en sus territorios o el peso de los servicios. Bajo este contexto, se observa cómo las comunidades con mayor volumen de transporte (Andalucía, Cataluña y la Comunidad Valenciana) aglutinan más de la mitad de las toneladas transportadas en el ámbito intrarregional, como se resume en el siguiente gráfico [1].



*Figura 20 : Transporte intrarregional de mercancías por carretera de transportistas españoles (toneladas). Peso en el total por comunidades autónomas peninsulares. 2019 [1].*

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio corresponde a un semirremolque frigorífico, propiedad de la empresa “TRANSELX S.L.” destinado al transporte de mercancías por carretera, construido por la empresa “SOR Ibérica”, especialistas en la fabricación de chasis y vehículos frigoríficos a medida.

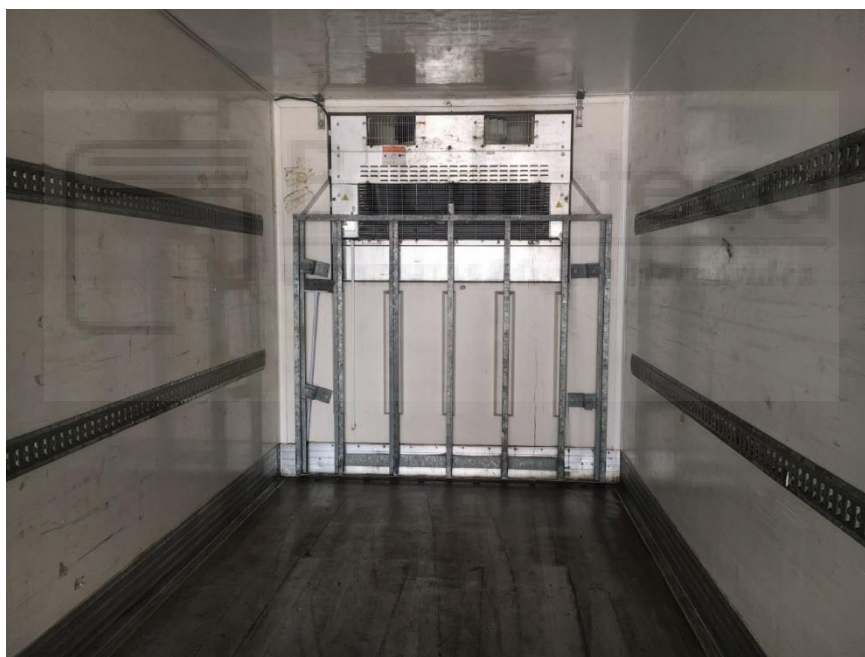
Procedemos a analizar una cabeza tractora, de la marca “MAN”, modelo “TGX.480”, en la cual se encuentra acoplado el semirremolque citado, el cual cuenta con una capacidad de carga de 24 toneladas, donde se encuentra el sistema de refrigeración, a continuación se muestran una serie de figuras donde se observa el semirremolque frigorífico y sus diferentes componentes. Sus dimensiones interiores se representan en la tabla 1.



*Figura 21: Semirremolque frigorífico para el estudio. Fuente: Autor*



*Figura 22 : Equipo frigorífico del semirremolque. Fuente: Autor*



*Figura 23: Evaporador del equipo principal, interior del semirremolque. Fuente: Autor*

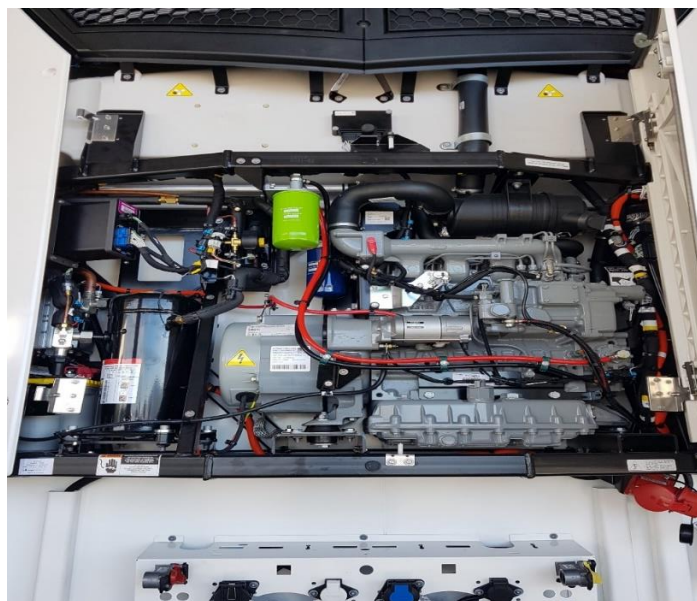
<b>Dimensión</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
<b>Altura</b>	2,7	m
<b>Anchura</b>	2,5	m
<b>Profundidad</b>	13,2	m

*Tabla 1: Dimensiones internas del semirremolque frigorífico. Fuente: Autor*

Actualmente, los semirremolques refrigerados por parte de la empresa citada anteriormente, vienen equipados con la unidad “Carrier Vector 1550”, fabricados por la empresa “CARRIER TRANSICOLD”. Los equipos de refrigeración utilizados desde una perspectiva aerodinámica priman la entrega de aire y el retorno del mismo sobre la misma superficie, esta configuración es universalmente utilizada, puesto que es más práctico colocar todo el equipo de refrigeración en un extremo de la unidad [7].

Se trata de un equipo que posee un motor diésel de 1,5 litros de capacidad con un depósito de combustible adyacente situado en la parte inferior del chasis con una capacidad de 300 litros. Acoplado a dicho motor se encuentra un generador de 16 kW, el cual se encarga de proporcionar la corriente a todo el circuito, desde el generador salen dos ramales, uno de los cuales va directamente al equipo de turbinas, y el restante va al circuito de refrigeración, pasando antes por un compresor hermético y un economizador.

Se utiliza un sistema de refrigeración “Split” donde el condensador se encuentra en la parte exterior y el evaporador está en la parte interior, y se encuentran interconectados con tubos de cobre para el intercambio de aire. La serie Vector 1550 son unidades de refrigeración para grandes camiones, cuando se necesita transportar productos a largas distancias, bajo una apertura controlada, y con una apertura frecuente de puertas.



**Figura 24:** Unidad exterior del equipo frigorífico. **Fuente:** Autor



Dicho equipo cuenta con una capacidad de refrigeración de 14995 Watios, posee a su vez la capacidad de trabajar en varios modos de funcionamiento, nos encontramos el modo diésel, siendo este el más habitual, con una media de gasto de combustible de entre 3,34 l/hora y 3,37 l/hora para una temperatura exterior de la caja de +30°C, no obstante este valor dependerá de numerosos factores. En el modo diésel el motor gira a un rango de revoluciones constante y no es capaz de variar la potencia entregada en función de la temperatura interna de la caja, por tanto funcionará siempre a la misma potencia y con los mismos consumos, variando únicamente el tiempo de funcionamiento según la temperatura interior y la temperatura deseada.

Se ofrece a su vez la capacidad de trabajar en modo 100% eléctrico mediante una toma de corriente trifásica situada en la parte inferior del equipo, con una tensión de alimentación de 400 voltios y 32 Amperios, útil para cuando el equipo se encuentre estacionado durante un largo espacio de tiempo y con mercancía refrigerada a muy baja temperatura.

El consumo de la máquina eléctrica es de 6779W para un set point de -25°C y de 8115W para un set point de 0°C. La ficha del equipo Vector 1550 se encuentra en el Anexo A.2.

## 2.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

La estructura de la pared del semirremolque está conformada por un panel tipo sándwich junto con un conglomerado de resinas y aditivos, todo ello construido como una única pieza por medio de una plancha hidráulica y térmica.

El espesor del panel es de 60mm. Si analizamos el panel desde el exterior hacia el interior, como primer material nos encontramos un gel coat aditivado por unos componentes propios de la empresa constructora, seguido de una capa de resina. Como elemento central y principal nos encontramos una serie de tabiques de poliuretano de medidas 2,70 x 40 cm, los cuales son unidos por “zetas”, son trozos de fibra de vidrio con forma de zeta como su nombre indica, los cuales unen los tabiques de poliuretano y conforman la siguiente capa. Posteriormente se vuelve a aplicar una capa de resina, y como elemento

final se encuentra una lámina de acero inoxidable acabada en blanco, la cual añade rigidez a la parte interna, y protege el panel de los posibles golpes en las cargas y descargas de mercancía. Las características principales de cada material se encuentran detalladas en la tabla 2.

<b>Material</b>	<b>Características</b>
<b>Gel Coat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente resistencia a la radiación ultravioleta</li> <li>- Bajo índice de emisividad térmica</li> <li>- Lámina exterior de la estructura, color blanco característico de la marca</li> <li>- Elimina en gran porcentaje la incidencia de la radiación solar</li> </ul>
<b>Resina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes propiedades térmicas y eléctricas.</li> <li>- Estabilidad dimensional y resistencia a filtración</li> </ul>
<b>Poliuretano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja capacidad de conductividad térmica</li> <li>- Lámina intermedia de la estructura</li> </ul>
<b>Fibra de Vidrio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta versatilidad</li> <li>- Excelente aislante térmico</li> <li>- Gran ligereza y resistencia química</li> </ul>
<b>Lámina Acero Inoxidable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lámina interna de la estructura</li> </ul>

*Tabla 2 : Características de los materiales de construcción. Fuente: Autor*

La tabla 3 representa los materiales con los cuales está formada cada pared del semirremolque, el piso del mismo está construido con los mismos materiales que las paredes a diferencia de que posteriormente se le añaden unos travesaños de madera de pino tratada para darle mayor rigidez y resistencia, ya que la carga de la mercancía recae



sobre esta superficie , a su vez la lámina de acero inoxidable que conforma la última capa interna consta de un espesor mayor y un acabado antideslizante, con esto se consigue una mayor seguridad en el proceso de carga de la mercancía.

Tipo de pared	Elementos constructivos	Espesor
- Techo	- Gel Coat	1 mm
- Paredes laterales	- Resina	2 mm
- Pared frontal y posterior	- Poliuretano	55 mm
	- Fibra de Vidrio	1mm
	-Lámina Acero Inoxidable	1 mm
- Piso	- Gel Coat	1 mm
	- Resina	2 mm
	- Poliuretano	55 mm
	- Fibra de Vidrio	1 mm
	- Lámina Acero Inoxidable	3 mm
	- Madera de Pino	40 mm

*Tabla 3: Elementos que constituyen cada pared del semirremolque. Fuente: Autor*

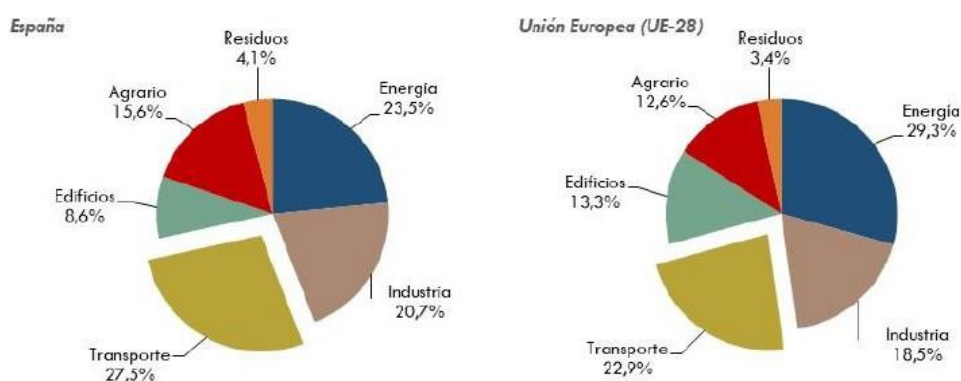
### 2.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE

Para el caso que nos ocupa no existe un problema como tal, pero si consideramos relevante la emisión de gases a la atmósfera por parte de estos equipos, por lo que si

conseguimos reducir en buena parte estas emisiones, obtendremos una mayor eficiencia energética y mejor sostenibilidad ambiental.

El transporte, al ser una actividad intensiva en el uso de energía como se ha comentado anteriormente, contribuye de manera relevante a las emisiones a la atmósfera. Las emisiones producidas en el transporte pueden clasificarse en dos grandes grupos, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y las sustancias contaminantes. Los primeros, dependiendo de la definición empleada, pueden no considerarse contaminantes, ya que no tienen un efecto directo sobre los seres vivos a corto o medio plazo, sino que el efecto principal de su presencia en la atmósfera en elevadas concentraciones es el calentamiento global, y consecuente cambio climático. Las sustancias contaminantes se agrupan en acidificantes, precursores del ozono troposférico y material particulado, y su presencia en la atmósfera tiene efectos negativos directos sobre la salud humana, los animales y la vegetación [1].

En el siguiente gráfico se puede observar que, al igual que ocurría con el consumo energético, las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte tienen en España un mayor peso relativo que la media de la Unión Europea (un 27,5% frente a un 22,9%). La media europea indica que las emisiones por el transporte están aproximadamente 6,5 puntos porcentuales por debajo de las emisiones de la industria energética, mientras que en España la cuota del transporte es 4 puntos superior a la de la industria energética. Desde 2009 se empieza a observar que, algunos años, las emisiones de GEI del transporte en España son superiores a las del sector energético, hecho que no se ha dado en el conjunto de la UE-28 desde que se contabilizan las emisiones [1].



**Figura 25:** Emisiones de GEI procedentes del transporte en relación con otros sectores. España y Unión Europea (UE-28). 2018 [1].

### 3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Tras un análisis del problema mostrado, hemos procedido a realizar un estudio de las diferentes alternativas para su adecuada solución, a nuestro saber y entender vamos a exponer las que consideramos más relevantes y que mejor se adaptan a las características de este caso particular.

A continuación, y con los datos del equipo ya citados anteriormente, proponemos una serie de posibles soluciones para dicha cuestión con sus respectivas variantes.

#### 3.1 PANELES FOTOVOLTAICOS JUNTO A BATERÍAS

La primera posible solución que consideramos relevante en el presente estudio es la sustitución del motor diésel del equipo frigorífico del semirremolque, junto a su depósito de combustible, situado en la parte inferior del chasis, por una serie de baterías conectadas a paneles fotovoltaicos instalados en la cubierta del remolque, dichos paneles se encargarían de cargar las baterías y estas a su vez alimentarían al equipo cuando se requiera su funcionamiento.

Esta opción es una de las más prometedoras de cara a la electrificación en el futuro, siempre que las marcas de semirremolques traigan este sistema incorporado de fábrica, evitando así tener que hacer futuras transformaciones en los equipos.

Actualmente no consideramos esta posibilidad debido a las grandes modificaciones que se han de realizar en el semirremolque, como es la eliminación del depósito de combustible junto al motor del equipo frigorífico, lo que conlleva una modificación del chasis del vehículo, la construcción de una nueva estructura donde ubicar las baterías y su correspondiente anclaje al chasis, junto a sus correspondientes homologaciones.

### 3.2 PANELES FOTOVOLTAICOS AUTOSUFICIENTES

La segunda solución ofrece una alternativa mucho más plausible, ya que el equipo actual cuenta con una toma trifásica, y la capacidad de operar en modo eléctrico. Esta idea propone únicamente la instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta del semirremolque, y que estos se encarguen de alimentar el equipo frigorífico a través de la toma eléctrica.

El problema que se nos presenta en este caso, es que con la superficie de cubierta disponible, no somos capaces de alcanzar la potencia pico necesaria para el funcionamiento del equipo por medio de los paneles fotovoltaicos.

Si tenemos en cuenta que el equipo frigorífico actual tiene una potencia eléctrica de 8115W para refrigerar a 0°C, que la cubierta del semirremolque cuenta con una superficie de 35,1m<sup>2</sup> y que con la tecnología de paneles actuales la media de producción de energía es de unos 200w/m<sup>2</sup> aproximadamente, tenemos que podríamos llegar a una potencia máxima aproximada de 7000w, esto sin tener en cuenta los espacios entre paneles por lo que su valor real sería menor.

Con esta alternativa también destacamos que el equipo frigorífico solo podrá operar con la energía fotovoltaica durante las horas diurnas, por lo que su franja de operación quedaría limitada.

Se espera que de cara al futuro y con el aumento de la eficiencia junto al abaratamiento de los paneles fotovoltaicos, acompañado a su vez por la mejora de la eficiencia de todos los equipos, esta solución pueda llegar a implementarse para vehículos de transporte de menor tamaño, los cuales cuenten con equipos de refrigeración moderados y a su vez operen principalmente durante el día.

### 3.3 PANELES FOTOVOLTAICOS JUNTO A BATERÍAS Y EQUIPO DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO

Por último, se propone mantener el equipo frigorífico actual, y añadir a su vez un equipo de refrigeración secundario, de menor potencia, en el interior del semirremolque, estaría alimentado por una serie de baterías las cuales se cargarían mediante paneles fotovoltaicos situados en la cubierta del mismo.

Al contrario que en el caso anterior, contar con acumuladores de energía nos permite que el equipo frigorífico pueda operar en cualquier franja horaria siempre que estos estén cargados.

Para este caso, se debe tener en cuenta el grado de mantenimiento de los nuevos equipos, así como la inversión inicial.

### 3.4 SOLUCIÓN ADOPTADA

La alternativa elegida es la inclusión de paneles fotovoltaicos junto a un equipo de frío secundario.

El equipo funcionaría de manera que el motor diésel se encargue de realizar un primer arranque, para bajar la temperatura interna hasta la consigna deseada por medio del sistema actual, y a partir de entonces se activaría el equipo de frío secundario, alimentado por los paneles fotovoltaicos y baterías, el cual se encargaría de mantener la temperatura.

Lo que se consigue con este sistema es una reducción del consumo de gasóleo, debido a que el equipo principal no ha de volver a activarse para mantener la temperatura salvo casos puntuales. Esto se conseguiría por medio del equipo secundario, el cual puede operar con una menor potencia debido a la disminución del salto térmico proporcionado por parte del equipo principal.

Debido a que el equipo de refrigeración secundario opera con una menor potencia, su consumo eléctrico es menor, por tanto si somos capaces de alimentarlo mediante una instalación solar fotovoltaica de menor tamaño en la cubierta del semirremolque

### 3.5 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Según la solución escogida se presentan los siguientes componentes necesarios para esta instalación de apoyo: paneles fotovoltaicos, inversor/regulador, baterías, evaporador, compresor y condensador.

La ubicación de todos estos componentes se ha distribuido de la siguiente forma:

- Los paneles fotovoltaicos se situarán en la cubierta del semirremolque.
- El evaporador estará ubicado en el interior del semirremolque.
- Para el caso del compresor-condensador, acumuladores e inversor, se ha decidido la sustitución del cajón porta-palets del semirremolque, el cual podemos ver en la figura 26, por una estructura diseñada para albergar estos componentes, ya que algunos como el compresor-condensador necesitan un flujo de aire y no pueden estar en el interior de un cajón.



*Figura 26 : Porta-palets del semirremolque frigorífico. Fuente: Autor*

Todos estos aspectos se detallan más concretamente en el apartado “6. UBICACIÓN, SOLUCIÓN ESTRUCTURAL E INSTRUCCIONES DE MONTAJE DEL CONJUNTO DE LOS EQUIPOS”



## **4. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

### **4.1 ESTUDIO TÉRMICO**

En el presente estudio térmico se ha procedido a analizar el comportamiento del flujo de calor del semirremolque a partir de las características de los materiales de construcción junto con la toma de una serie de datos. Se detallan los conceptos básicos de la transmisión de calor así como el posterior cálculo y análisis de resultados.

#### **4.1.1 LA TRANSMISIÓN DE CALOR**

La transferencia de calor es la energía de tránsito de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Es la ciencia que estudia la determinación de las razones de transferencia de calor, debido a que la termodinámica se interesa en la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro, y no indica en cuanto tiempo transcurrirá. Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura [8,9].

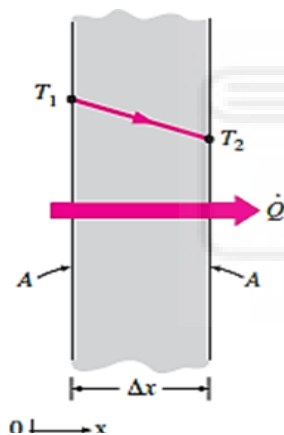
El calor se puede transferir de tres formas: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja [8,9].



#### 4.1.2 LA CONDUCCIÓN

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas [9]. La rapidez de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como la diferencia de temperatura a través de él [8].

Se define que la razón de la conducción de calor a través de una pared plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de la pared, esto se observa en la ecuación (1).



**Figura 27:** Conducción de calor a través de una pared plana de espesor  $\Delta x$  y área  $A$  [8].

$$(1) \quad Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (w)$$

**k:** Constante de conductividad térmica ( $W/m \cdot K$ ).

**T1:** Temperatura en la superficie externa ( $^{\circ}C$ ).

**T2:** Temperatura de la superficie interna ( $^{\circ}C$ ).

**$\Delta x$ :** Espesor ( $m$ ).

**A:** Área ( $m^2$ ).

La constante de conductividad térmica “**k**” se expresa como una medida de la capacidad de un material para conducir calor. La conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante. En la tabla 4 podemos observar las diferentes conductividades térmicas de los materiales referentes a este estudio.

<b>Material</b>	<b><math>k, W/m \cdot ^\circ C</math></b>
<b>Gel Coat</b>	0,2
<b>Resina</b>	0,2
<b>Poliuretano</b>	0,025
<b>Fibra de Vidrio</b>	0,04
<b>Acero Inoxidable</b>	16,3

*Tabla 4 : Conductividades térmicas de los elementos característicos a temperatura ambiente [8].*

#### 4.1.3 LA CONVECCIÓN

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento en un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo [8].

Hablamos de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador. La convección es natural si el movimiento del fluido es causado por fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura en ese fluido. Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, el modelo apropiado se describe en la ecuación (2). [8,9].

$$(2) \quad Q_{conv} = kA_s (T_s - T_\infty) (w)$$

**h**: Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

**As**: Área Superficial ( $m^2$ )

**Ts**: Temperatura en la superficie ( $^\circ C$ )

**T $\infty$** : Temperatura del fluido alejado de la superficie ( $^\circ C$ )

El parámetro “**h**” no es una propiedad del fluido, se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección: la configuración geométrica de la superficie, la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como sus propiedades térmicas [8]. En la tabla 5 hemos representado los valores típicos de “**h**” para los dos casos principales de nuestro estudio.

<b>Tipo de Convección</b>	<b>h, <math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math></b>
<b>Convección natural de gases</b>	2-5
<b>Convección forzada de gases</b>	25-250

*Tabla 5: Valores característicos del coeficiente de calor por convección [8].*

#### 4.1.4 LA RADIACIÓN

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor, puesto que es la transferencia por radiación es la más rápida y no sufre atenuación en un vacío. Es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados [8].

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica “ $T_s$ ”, es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$(3) \quad Q_{emitida, \text{ máx}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (w)$$

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann :  $5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

$A_s$ : Área superficial ( $\text{m}^2$ ).

$T_s$ : Temperatura superficial ( $^\circ\text{K}$ ).

La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$(4) \quad Q_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (w)$$

La emisividad “ $\varepsilon$ ” de la superficie, cuyo valor está en el intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual  $\varepsilon = 1$ . En la tabla 6 se dan las emisividades de algunas superficies [8].

Material	Emisividad ( $\varepsilon$ )
Hoja de aluminio	0.07
Oro pulido	0.03

<b>Plata pulida</b>	0.02
<b>Latón galvanizado</b>	0.05
<b>Acero inoxidable</b>	0.17
<b>Pintura negra</b>	0.98
<b>Pintura blanca</b>	0.90
<b>Agua</b>	0.96

*Tabla 6 : Valores de emisividad de algunos materiales a 300 K [8].*

Cuando una superficie de emisividad “ $s$ ” y área superficial “ $A_s$ ”, a una temperatura termodinámica “ $T_s$ ”, está por completo encerrada por una superficie mucho más grande, a una temperatura termodinámica “ $T_{alrededor}$ ”, y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación [8], la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por:

$$(5) \quad Q_{radiación} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alr}^4) \quad (w)$$

La transferencia de calor por radiación a una superficie, o desde ésta, rodeada por un gas como el aire, ocurre paralela a la conducción entre esa superficie y el gas. Por lo tanto, la transferencia total de calor se determina al sumar las contribuciones de los dos mecanismos de transferencia. De este modo se define un coeficiente combinado de transferencia de calor, “***hcombiando***”, que incluye los efectos de convección y radiación. Entonces, la razón total de transferencia de calor hacia una superficie, o desde ésta, por convección y radiación se expresa como: [8].

$$Q_{total} = Q_{conv} + Q_{rad} = h_{rad} A_s (T_s - T_{alr}) + \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alr}^4)$$

$$(6) \quad Q_{total} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{alr}) \quad (w)$$

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_{rad}$$

La radiación suele ser significativa con relación a la conducción o a la convección natural, pero despreciable con relación a la convección forzada. Por lo tanto, en las aplicaciones de convección forzada se suele descartar la radiación, en especial cuando las superficies que intervienen tienen emisividades bajas y temperaturas de bajas a moderadas [8]. El coeficiente de transferencia de calor por radiación se expresa en la ecuación 7.

$$(7) \quad h_{radiación} = \epsilon \sigma (T_s + T_{atr})(T_s^2 + T_{atr}^2)$$

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann :  $5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

$\epsilon$ : Emisividad.

$T_s$ : Temperatura superficial ( $^{\circ}\text{K}$ ).

$T_{atr}$ : Temperatura interna de los alrededores ( $^{\circ}\text{K}$ ).

#### 4.1.5 RESISTENCIA TÉRMICA EN UNA PARED PLANA

Para la conducción unidimensional en una pared plana, la temperatura es una función sólo de la coordenada  $x$ , y el calor se transfiere exclusivamente en esta dirección (Figura 6), la ecuación (1) se puede recomodar para tener:

$$(8) \quad Q_{cond, pared} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{pared}} \quad (w)$$

$$(9) \quad R_{cond} = \frac{L}{k \cdot A} \quad (^\circ C/w)$$

**L:** Espesor de pared (mm).

**k:** Conductividad térmica ( $W/m \cdot ^\circ C$ ).

**As:** Área analizada (m<sup>2</sup>)

Ahora considerando la transferencia de calor por convección de una superficie sólida “**As**” y una temperatura “**Ts**” hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie “**T∞**”, con un coeficiente de transferencia de calor “**h**”, representada en la ecuación (2), se puede reacomodar para obtener:

$$(10) \quad Q_{conv} = \frac{T_s - T_{\infty}}{R_{conv}} \quad (w)$$

$$(11) \quad R_{conv} = \frac{1}{hA_s} \quad (^\circ C/w)$$

**Rconv:** Resistencia convectiva ( $^\circ C/W$ ).

**h:** Coeficiente convectivo ( $W/m \cdot ^\circ C$ ).

**As:** Área analizada (m<sup>2</sup>).

La razón de transferencia de calor por radiación entre una superficie de emisividad  $\epsilon$  y área “**As**”, que está a una temperatura “**Ts**”, y las superficies circundantes a alguna temperatura promedio “**Talr**”, la ecuación (5), se puede expresar como:

$$(12) \quad Q_{radiación} = \frac{T_s - T_{atr}}{R_{rad}} \quad (W)$$

$$(13) \quad R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} \cdot A} \quad (^\circ C/W)$$

***Rrad***: Resistencia por radiación ( $^\circ C/W$ ).

***hrad***: Coeficiente de radiación ( $W/m \cdot ^\circ C$ ).

***As***: Área analizada ( $m^2$ )

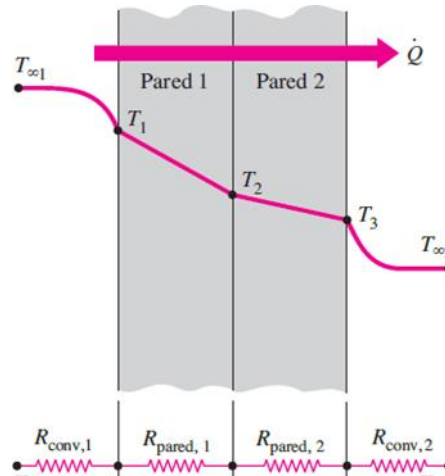
#### 4.1.6 RESISTENCIA TÉRMICA EN UNA PARED COMPUESTA

Los circuitos térmicos también sirven para sistemas más complejos, como las paredes compuestas. Estas paredes incluyen un número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a las capas de diferentes materiales [9]. Se puede usar el concepto de resistencia térmica con el fin de determinar la razón de la transferencia de calor estacionaria a través de paredes compuestas. La resistencia a la conducción de cada pared es  $L/kA$  conectada en serie y aplicando la analogía eléctrica. Es decir, al dividir la diferencia de temperatura que existe entre las dos superficies a las temperaturas conocidas entre la resistencia térmica total que presentan ambas, como se representa en la ecuación 14 [8].

$$(14) \quad Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (W)$$



En la figura 28, se observa la red de resistencias térmicas, las mismas están en serie y, por lo tanto, la resistencia térmica total es simplemente la suma aritmética de cada una de las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria de la transferencia de calor [8,9].



**Figura 28 :** Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor en una pared plana de dos capas [8].

$$(15) \quad R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_n$$

Las paredes compuestas también se caracterizan por configuraciones que comprenden capas en paralelo o configuraciones combinadas serie-paralelo. Se puede usar el concepto de resistencia térmica o analogía eléctrica, para resolver problemas de transferencia de calor, aun cuando ese tipo de problemas con frecuencia son bidimensionales, se puede considerar aproximaciones suponiendo la transferencia de calor unidimensional de calor y utilizando la red de resistencias térmicas [8, 9].

Se utiliza por tanto la ecuación (14) y se obtiene:

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \text{ (w)}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$
$$(16) \quad R_{total} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

En la figura 29, se considera una pared compuesta, la cual consta de dos capas paralelas, donde la resistencia total de calor es la suma de las transferencias a través de cada capa.

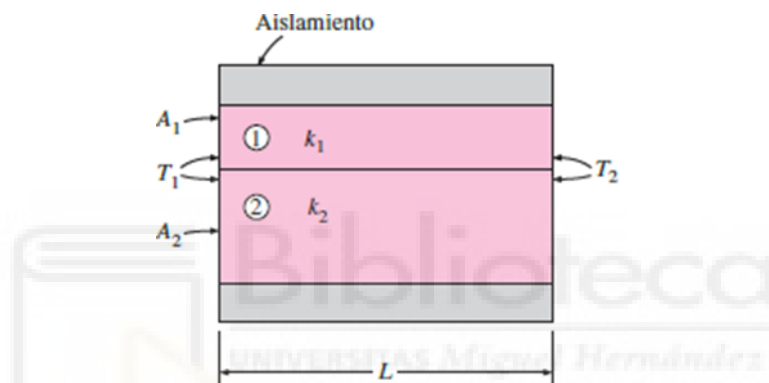


Figura 29 : Red de resistencias térmicas para dos capas paralelas [8].

#### 4.1.7 MECANISMOS SIMULTÁNEOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Existen tres mecanismos de transferencia de calor, pero no pueden existir los tres tipos de transferencia de calor simultáneamente en un medio. Aun cuando se tiene tres mecanismos de transferencia de calor, en un medio sólo se puede comprender dos de ellos simultáneamente, un sólido puede comprender conducción y radiación, pero no convección.

La transferencia de calor es por conducción y, posiblemente por radiación en un flujo estático y por convección y radiación en un fluido que fluye. Por último, la transferencia

de calor a través del vacío sólo se produce radiación, ya que la conducción o convección requieren de un medio material [8], como se muestra en la figura 30.

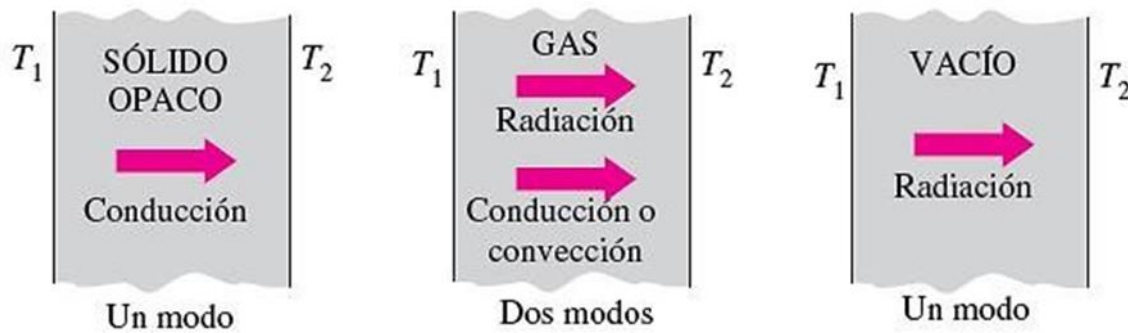


Figura 30: Mecanismos simultáneos de transferencia de calor [8].

#### 4.1.8 NUMEROS ADIMENSIONALES

En el presente apartado se va a redactar una serie de ecuaciones que incluyen diferentes números adimensionales que se han utilizado para realizar el estudio térmico, los cuales sirven entre otras muchas cosas para calcular los coeficientes de calor por convección de forma aproximada, dichos números son el número de Reynolds (Re), número de Nusselt (Nu) y el número de Prandtl (Pr), el cual se obtienen con mayor facilidad mediante la relación de tablas diseñadas para condiciones precisas de sustancias, como pueden ser aire o gases en general, como se indica en la tabla del Anexo A.3.

La transferencia de calor por convección depende con intensidad de las propiedades viscosidad dinámica  $\mu_d$ , conductividad térmica  $k$ , densidad  $\rho$  y calor específico  $C_p$  del fluido, así como de la velocidad del fluido  $V$ . También depende de la configuración de la superficie sólida, además del tipo de flujo del fluido (laminar o turbulento). Por lo tanto, se espera que las relaciones de la transferencia de calor por convección sean un tanto complejas debido a su dependencia de tantas variables [8].

$$(17) \quad R_e = \frac{\rho \cdot V_{\infty} \cdot L_c}{\mu_d} = \frac{V_{\infty} \cdot L_c}{\mu_c}$$

$V_{\infty}$ : Velocidad corriente superior.

$L_c$ : Longitud característica (m)

$\mu_c = \mu_d / \rho$ : Viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s)

$$(18) \quad Nu = \frac{h \cdot L_c}{k}$$

$h$ : Coeficiente de calor por convección en (W/m<sup>2</sup> · °C).

$L_c$ : Longitud característica (m)

$k$ : Conductividad térmica del fluido.

$$(19) \quad Nu = \left[ 0,037 * Re^{\frac{3}{4}} - 871 \right] * Pr^{1/3}$$

$Re$ : Número de Reynolds.

$Pr$ : Número de Prandtl.

#### 4.1.9 PROCESO DE CÁLCULO

La finalidad de realizar este análisis numérico es determinar la razón de transferencia de calor en las paredes del semirremolque frigorífico, así como determinar si la transferencia de calor en las paredes afecta o no, a la temperatura interna de refrigeración y su homogeneidad.

La estructura de aislamiento del semirremolque frigorífico de estudio se observa en la figura 31.

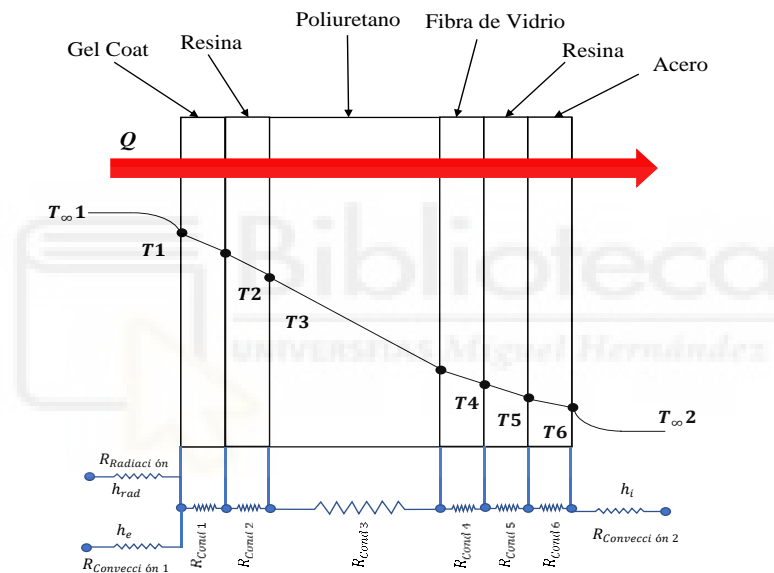


Figura 31: Estructura de aislamiento. Fuente: Autor

#### 4.1.9.1 ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA ZONA PRINCIPAL DE OPERACIÓN

Como se ha descrito anteriormente en el apartado “1.5” la empresa propietaria del objeto del estudio está ubicada en la Comunidad Valenciana, en la provincia de Alicante y más concretamente en la ciudad de Elche. Puesto que el semirremolque frigorífico objeto de estudio opera principalmente en esta zona durante las horas diurnas, las mediciones y datos han sido obtenidos para dicha zona.

En Elche los veranos son muy calurosos, húmedos y mayormente despejados, los inviernos suelen ser moderados y parcialmente nubosos. La temperatura generalmente varía de 6°C a 31°C, rara vez baja de 2°C y sube más de 34°C. La temperatura calurosa dura unos tres meses ( Junio – Septiembre ) mientras que la fría dura unos 4 meses (Noviembre - Marzo), el resto de los meses se suele mantener una temperatura cercana a los 20°C [15].

Las mediciones de datos para el cálculo del coeficiente de convección interior y el coeficiente de radiación, como son la temperatura ambiente, velocidades del viento promedio o temperaturas de superficies, fueron realizadas durante el mes de Mayo en un día cálido con condiciones ambientales propias de los meses de verano.

Como temperatura interna de consigna hemos considerado un valor medio de 5°C ya que la empresa propietaria del objeto de estudio se dedica principalmente al transporte de frutas y verduras las cuales se transportan refrigeradas una temperatura cercana a la elegida.

#### 4.1.9.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE CONVECTIVO EXTERNO

Se debe determinar el coeficiente convectivo externo del aire para el cual el vehículo se somete por acción de los flujos de viento ubicados alrededor del semirremolque frigorífico causados por acción natural o forzada dependiendo del movimiento del vehículo

Para este caso concreto nos remitimos al “ Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía, **DA DB-HE / 1**” donde se describen varios métodos simplificados que se pueden emplear para el cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica de un edificio, esto no impide el uso de otros métodos contrastados, sean simplificados o detallados [20].

Para el cálculo del coeficiente de conducción exterior o transmitancia térmica, se aplica el cálculo a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$(20) \quad U = \frac{1}{R_t}$$

Dónde  $R_t$  corresponde a la resistencia total del componente constructivo ( $m^2 \cdot K/W$ ), para el cálculo del coeficiente de convección exterior en nuestro caso concreto se considera  $R_t = R_e$ , que corresponde a la resistencia térmica superficial correspondiente al aire exterior respectivamente, cuyos valores se pueden observar en la figura 32 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación correspondiente.

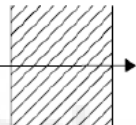
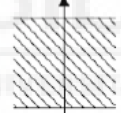
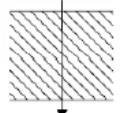
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos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

Figura 32 : Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior ( $m^2 \cdot K/W$ ) [20].

Para nuestro objeto de estudio y habiendo considerado el techo del semirremolque frigorífico se trata de un cerramiento vertical con un flujo de transferencia de calor descendente, por tanto si consideramos un  $R_e = 0,4$  y aplicamos la ecuación 20 cambiando el término “U” por “h” ya que así hemos denominado el coeficiente de calor por convección en el presente documento tenemos que:

$$h_{exterior} = \frac{1}{R_e} = \frac{1}{0,04} = 25 \frac{W}{m^2} \cdot K$$

#### 4.1.9.3 CÁLCULO DEL COEFICIENTE CONVECTIVO INTERNO

El coeficiente convectivo interno se realiza de manera forzada debido al equipo de refrigeración, ubicado en la parte interna del semirremolque. A su vez los datos referentes para realizar el cálculo del coeficiente convectivo se obtuvieron también por el uso de las tablas del Anexo A.3.

Para este cálculo se realizó la medición de una serie de datos en el techo interior del semirremolque como son la velocidad del aire y la temperatura media:

Definición	Simbología	Cantidad	Unidades
Velocidad del aire promedio	$V_{\infty}$	4,5	m/s
Temperatura ambiente	$T_{media}$	5	°C
Calor específico	$C_p$	1,006	m <sup>2</sup> /s
Número de Prandtl	$Pr$	0,735	-
Conductividad térmica	$k$	0,02401	W/m · K
Densidad	$\rho$	1,269	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica	$\mu_d$	$1,880 \cdot 10^{-5}$	kg/m · s
Viscosidad cinemática	$\mu_c$	$1,754 \cdot 10^{-5}$	m <sup>2</sup> /s

*Tabla 7 : Condiciones del aire analizado en el interior del semirremolque. Fuente: Autor.*

El primer análisis es el cálculo del número del Reynolds, el cual permite verificar si se trata de un flujo laminar o turbulento, para los cuales existen diferentes ecuaciones, dependiendo de su comportamiento, donde tenemos:

$$Re = \frac{V * L_c}{\mu_c}$$



$$Re = \frac{4,5 * 13,2}{1,754 * 10^{-5}} = 3386545,04$$

Por tanto se trata de un flujo turbulento.

Realizado el cálculo, el tipo de flujo es turbulento al cual está sometida la estructura externa del semirremolque, como siguiente paso se procede a calcular el valor del número de Nusselt para flujo turbulento, este factor nos indica el aumento de transmisión de calor desde la superficie por la cual el fluido discurre:

$$Nu = \left[ 0,037 * Re^{\frac{3}{4}} - 871 \right] * Pr^{1/3}$$

$$Nu = \left[ 0,037 * 3386545,04^{\frac{3}{4}} - 871 \right] * 0,7350^{\frac{1}{3}} = 4804,27$$

Usamos la ecuación (18), para poder calcular el coeficiente de convección interno generado por acción del evaporador:

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{k}$$

$$h_i = \frac{N * K}{L_c} = \frac{4804,2707 * 0,02401}{13,2} = 8,7386 \frac{W}{m^2 * K}$$

#### 4.1.9.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

Una superficie expuesta al aire circundante comprende convección y radiación de manera simultánea, y la transferencia de calor total en la superficie se determina al sumar (o restar si tienen direcciones opuestas) las componentes de radiación y convección [8].

El coeficiente de transferencia de calor por radiación permite expresar la radiación de manera análoga a la convección, en términos de una diferencia de temperatura. Por tal motivo el coeficiente de transferencia de calor por radiación depende de la intensidad de la temperatura en tanto que el coeficiente convectivo no depende de ella [8].

<b>Definición</b>	<b>Simbología</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
<b>Coeficiente convectivo externo</b>	he	25	W/m <sup>2</sup> · k
<b>Coeficiente convectivo interno</b>	hi	8,73	W/m <sup>2</sup> · k
<b>Emisividad Gel Coat</b>	ε	0,9	-
<b>Constante de Stefan-Boltzmann</b>	σ	5.67 · 10 <sup>-8</sup>	W/m <sup>2</sup> · k <sup>4</sup>
<b>Temperatura superficial (techo ext.)</b>	T <sub>s</sub>	36	°C
<b>Temperatura alrededores (techo int.)</b>	T <sub>alr</sub>	24	°C

*Tabla 8 : Condiciones del análisis para resistividad térmica por radiación. Fuente: Autor.*

Para la estimación más precisa se utilizó la ecuación (7), en la cual se analizan valores como emisividad del material incidente y la constante de Stephan Boltzmann:

$$h_{rad} = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_{alr})(T_s^2 + T_{alr}^2)$$

$$h_{rad} = 0,9 * 5,67 * 10^{-8} * (309,15 + 297,15)(309,15^2 + 297,15^2)$$

$$h_{rad} = 5,688 \frac{W}{m^2 * K}$$

#### 4.1.9.5 CÁLCULO DE RESISTENCIAS EN PAREDES COMPUESTAS

Como se puede observar en la figura 33, el mismo flujo de calor cruza por todas las capas de la pared, siendo el mismo en todas las capas. Debemos tener en cuenta, si una superficie está separada de los alrededores por un gas en particular, el intercambio de radiación entre la superficie y sus alrededores es importante, donde las resistencias de radiación y convección superficiales actúan en paralelo y si  $T_{\infty} \approx T_{alr}$  se combinan para obtener una sola resistencia combinada o efectiva de la superficie [9].

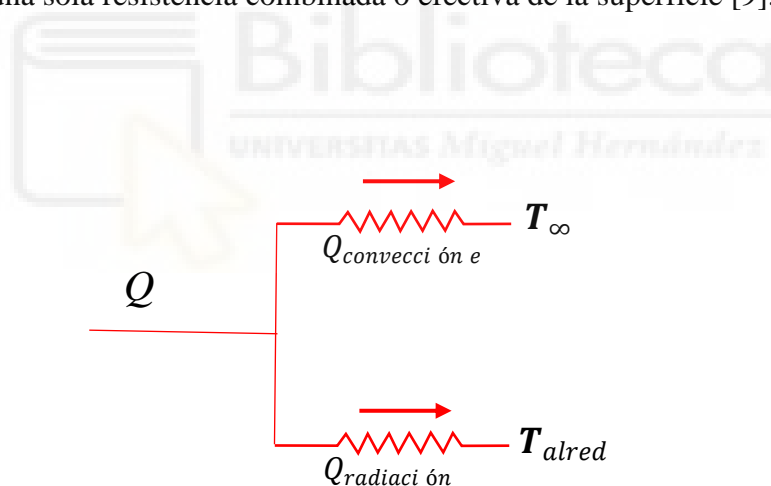


Figura 33: Análisis de resistencia en paralelo [2].

Entonces el cálculo de la resistencia de radiación se obtiene mediante:

$$R_{Radiación} = \frac{1}{h_r * A} = \frac{1}{5,6889 * (2,5 * 13,2)} = 0,005326 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Donde la resistencia convectiva representa los valores de oposición al paso de calor que se generan a lo largo de la pared, teniendo:

$$R_{Convección e} = \frac{1}{h_e * A} = \frac{1}{25 * (2,5 * 13,2)} = 0,0012121212 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Como las resistencias de radiación y convección superficiales actúan en paralelo, obtenemos una resistencia combinada, la misma que se expresa mediante la ecuación (16):

$$R_{Combinada} = \frac{(R_{Convección e}) * (R_{Radiación})}{R_{Convección e} + R_{Radiación}}$$
$$R_{Combinada} = \frac{(0,0012121212) * (0,005326)}{0,0012121212 + 0,005326} = 0,0009874025 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Una vez calculada la resistencia combinada generada al exterior del semirremolque, se procede a calcular las resistencias conductivas producidas en cada uno de los materiales que conforman la estructura de aislamiento; es decir la resistencia generada a causa de la lámina de gel coat, las resinas, el poliuretano, la fibra de vidrio y la lámina de acero inoxidable.

Los coeficientes de conducción de los respectivos materiales se han detallado en el apartado “4.1.2” y respectivamente en la tabla 4 “Conductividades térmicas de los elementos característicos a temperatura ambiente”.

Por tanto tenemos que:

$$R_{Conducción} = \frac{L}{K * A}$$
$$R_{Conducción 1} = \frac{0,001}{0,2 * (2,5 * 13,2)} = 0,00015151515 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{Conducción\ 2} = R_{Conducción\ 5} = \frac{0,001}{0,2 * (2,5 * 13,2)} = 0,00015151515\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{Conducción\ 3} = \frac{0,055}{0,025 * (2,5 * 13,2)} = 0,066666666\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{Conducción\ 4} = \frac{0,001}{0,04 * (2,5 * 13,2)} = 0,000757575\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{Conducción\ 6} = \frac{0,001}{16,3 * (2,5 * 13,2)} = 1,8590 * 10^{-6}\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{Conducción\ Total} = R_{Cond\ 1} + R_{Cond\ 2} + R_{Cond\ 3} + R_{Cond\ 4} + R_{Cond\ 5} + R_{Cond\ 6}$$

$$R_{Conducción\ Total} = 0,0678806\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Debemos calcular a su vez, la resistencia convectiva interna, que analiza el efecto producido en la parte interna del semirremolque a causa del flujo de aire que circula producida por acción del evaporador:

$$R_{Convección\ i} = \frac{1}{h_i * A} = \frac{1}{8,7386 * (2,5 * 13,2)} = 0,0034676\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La resistencia total, se calcula con la sumatoria aritmética de todas las resistencias calculadas, que inciden sobre el comportamiento térmico del semirremolque frigorífico:

$$R_{Total} = R_{Conducción} + R_{Convección\ i} + R_{Combinada}$$

$$R_{Total} = 0,0678806 + 0,0034676 + 0,0009874025 = 0,0723356\ ^\circ\text{C}/\text{W}$$

#### 4.1.9.6 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL

Para esta se considera únicamente la temperatura general al exterior del equipo y la temperatura media al interior del semirremolque, como se ha especificado en el apartado “4.1.9.1” como temperatura interna de consigna se han considerado un valor de 5°C y como temperatura exterior según el día que se realizaron las mediciones se obtuvo un valor de 30°C, esto con el fin de determinar la pérdida de calor total que se genera a lo largo de los componentes de aislamiento y control:

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$Q = \frac{30 - 5}{0,0723356} = 345,61 \text{ Watios}$$

Esta transferencia de calor es la que representa únicamente la pared correspondiente al techo del semirremolque refrigerado, es decir la pared más desfavorable ya que es la que recibe directamente la radiación solar y la que más está expuesta a las inclemencias del tiempo.

Por tanto si queremos calcular la transferencia de calor total considerando las 4 paredes del semirremolque:

$$Q_{total} = 4 \cdot 345,61127 = 1328,44 \text{ Watios}$$

#### 4.1.10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez realizados todos los cálculos en referencia al estudio térmico, se va a proceder a realizar un análisis y discusión de los datos obtenidos.

- En cuanto a las mediciones realizadas, como se indica en el apartado “4.1.9.1”, fueron realizadas en el mes de Mayo durante un día cálido propio de los meses de verano con el objetivo de realizar el estudio térmico ante las condiciones más desfavorables posibles, es decir, cuando la transferencia de calor desde el exterior del semirremolque refrigerado hacia el interior es mayor. Hemos querido ser lo más conservadores posibles en este aspecto, por lo tanto con los cálculos realizados para ese día y en la zona de operación, aproximamos que durante un gran porcentaje de los días del año, la transferencia de calor real será menor a la obtenida en el estudio térmico, mientras que en un menor porcentaje de días (incluyendo aquí días excesivamente cálidos de los meses de verano, olas de calor severas etc..) la transferencia de calor total será algo mayor a la obtenida.
- El valor total de transferencia de calor se ha calculado suponiendo que las dos paredes laterales del semirremolque y la pared inferior se encuentran en las mismas condiciones que la pared superior cuando realmente no es así. Las dos paredes laterales junto con la inferior están considerablemente menos expuestas tanto a la radiación solar como al resto de inclemencias climáticas, a su vez la pared inferior del semirremolque frigorífico cuenta con refuerzos adicionales para soportar la carga de la mercancía, con lo que constituiría una red de resistencias térmicas mayor al del resto de las paredes, lo que implicaría una transferencia térmica menor. Con todos estos aspectos justificamos el carácter conservador de los cálculos referentes al estudio térmico.
- A pesar de no haber realizado los cálculos para la pared frontal y posterior del semirremolque frigorífico, no creemos que la transferencia de calor en esas dos paredes sea excesivamente relevante, ya que si tenemos en cuenta que por la pared frontal se encuentra el equipo frigorífico principal y es la zona que alcanza una menor temperatura sumado a que esta lleva una serie de materiales y estructuras

añadidas donde se ubica el equipo frigorífico, al igual que sucede en la pared inferior del semirremolque, existe una mayor red de resistencias térmicas y se constituiría una menor transferencia de calor. No sería el caso de la pared posterior pero si tenemos en cuenta los aspectos descritos en los dos apartados anteriores junto con el modelo conservador en el cálculo de los datos, afirmamos que la transferencia de calor real se aproxima en gran medida a los resultados obtenidos.

- Como se ha indicado en el apartado “2.2” el motor frigorífico principal cuenta con una potencia térmica de 14955 W, esta potencia variará en función de la demanda térmica del equipo. Si consideramos dicha potencia térmica y tenemos en cuenta que la transferencia de calor total a través de las paredes es de 1328,44508W, observamos como esta no afecta de manera considerable al rendimiento del semirremolque frigorífico puesto que el calor transferido desde el exterior hacia el interior representa el 8,85% del total de energía necesaria por el equipo para mantener la estabilidad térmica interna. El equipo frigorífico principal esta dimensionado para enfriar la carga hasta la temperatura de consigna deseada, por nuestra parte se va a proponer la inclusión de un equipo de refrigeración secundario, el cual sea capaz de vencer únicamente las ganancias de calor según el estudio térmico.

#### 4.2 DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO

A continuación se pretende analizar y seleccionar un equipo de refrigeración, en base a los cálculos realizados en el estudio térmico. Se pretende que dicho equipo sea capaz satisfacer los requisitos térmicos del sistema, con el objetivo de mantener la temperatura en el interior del semirremolque para así no ser necesaria la puesta de nuevo en marcha del equipo de frío principal.

El objetivo principal de añadir un sistema de refrigeración secundario y totalmente aislado del que ya montan estas unidades es mantener constante la temperatura interna del semirremolque sin la necesidad de que el equipo de frío principal entre en funcionamiento



de nuevo. Con esto se consigue una reducción del consumo de gasóleo por parte del equipo principal, ya que únicamente entrará en funcionamiento al inicio del proceso de refrigeración, es decir, cuando partamos de una temperatura interior elevada y necesitemos realizar un rápido enfriamiento de la mercancía hasta la temperatura de consigna deseada, lo que se traduce en un gran salto térmico. Una vez el interior del semirremolque se encuentre a la temperatura óptima de transporte de la mercancía, el equipo secundario de refrigeración sería el encargado de mantener dicha temperatura para que no sea necesaria de nuevo la puesta en marcha del equipo primario, al estar este equipo alimentado por paneles fotovoltaicos situados en la cubierta del semirremolque, dicho equipo estaría funcionando con energía 100% renovable.

Se pretende la elección de un equipo frigorífico de uso industrial con capacidades térmicas moderadas y con unas dimensiones y pesos lo más reducidos posibles, teniendo en cuenta que no ha de interferir ni perjudicar en la capacidad y el proceso de carga de la mercancía y considerando que cualquier incremento del peso del semirremolque se traduce en una mayor fuerza a ejercer por el vehículo tractor lo que a su vez implica mayores consumos de combustible.

Se van a transportar productos y alimentos de consumo humano por lo que dicho equipo ha de cumplir con todas las normativas vigentes referentes a el reglamento de seguridad de instalaciones frigoríficas, salud y seguridad alimentaria y en ningún caso ha de suponer un riesgo o una posible contaminación para dichos productos.

A continuación se van a plantear una serie de posibles equipos de refrigeración con sus principales características, junto a sus respectivas ventajas y desventajas para su posterior análisis y discusión. Con todo esto se elegirá según nuestra consideración el equipo que mejor se adapte al sistema actual y a los objetivos planteados.

#### 4.2.1 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN INTARSPLIT MSH-NY-22 053

Se trata de un equipo de refrigeración industrial semi compacto, pensado para cámaras frigoríficas de pequeño y mediano tamaño formado por una unidad condensadora

horizontal, y una unidad evaporadora de bajo perfil, con posibilidad de ser de doble flujo o de tipo cúbico.



*Figura 34 : Diferentes modelos de equipos de refrigeración Intarsplit. Fuente: Autor.*

Entre las principales características técnicas del sistema encontramos una potencia de refrigeración a 0°C de 2363 Watios, una potencia nominal de 1,45 Kw y un peso de 63 kilogramos para el condensador junto al compresor y de 24 kilogramos para el evaporador, a su vez el evaporador cuenta con una altura de 200 milímetros, todas las características técnicas se encuentran detalladas en la ficha técnica del equipo, en el Anexo A.13.

Entre sus principales ventajas podemos destacar:

- Incorporación de un avanzado controlador electrónico, que incluye mando multifunción digital a distancia, control de temperatura con registro de máximas y mínimas, posibilidad de interconexión en red LAN.
- Control de condensación digital, protegiendo al equipo frente a bajas temperaturas exteriores ocasionales.

- Poseen una reducida carga de refrigerante y un compresor hermético alternativo, con aislamiento acústico en modelos trifásicos.
- Tienen una amplia gama de equipamiento opcional como puede ser, resistencia del cárter, separador de aceite, recubrimiento anticorrosión etc.
- Son equipos certificados en fábrica sin necesidad de ensayos in situ.
- Equipos exentos de control de fugas y con precarga de refrigerante incluida.<sup>7</sup>
- Equipos de refrigeración con una alta fiabilidad, ampliamente testados y con un gran abanico de posibilidades de montaje y de funcionamiento.

Centrándonos en el apartado de las desventajas, como aspecto general y de funcionamiento del equipo no podemos destacar ningún inconveniente ya que se trata de un equipo de refrigeración simple y eficiente, el cual puede ser utilizado en una amplia gama de instalaciones, sin embargo, para el caso concreto que nos ocupa, podemos destacar como aspectos negativos:

- Un mayor volumen de la unidad condensadora y el compresor lo cual supone algunas complicaciones a la hora de su ubicación e instalación.
- La necesidad de disponer de un sifón cada 3 metros en la línea de gas que conecta el evaporador con el condensador.
- El evaporador cuenta con una altura de 200 milímetros, lo que nos supondría encontrarnos en el límite de carga de la mercancía, siempre y cuando la unidad esté situada en el techo del semirremolque
- La no disposición de una estructura de anclaje para la unidad evaporadora, la cual deberá ir instalada previsiblemente, en el techo del semirremolque frigorífico.

#### 4.2.2 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN XARIOS 350-05 / MXS 1100

En este caso nos encontramos ante un equipo de refrigeración especialmente diseñado para la distribución de productos frescos y ultracongelados. Está caracterizado por una

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

estética aerodinámica y un evaporador extraplano que permite cargar hasta 200 milímetros del techo, garantiza altos rendimientos y fiabilidad en los vehículos de distribución y transporte de mercancías refrigeradas.



*Figura 35: Carrier Xarios 350-05 Fuente: Autor.*



*Figura 36 : Evaporador Carrier MXS 1100 Fuente: Autor.*

Entre las principales características técnicas del sistema encontramos una potencia de refrigeración en modo eléctrico a 0°C de 2508 Watios, junto a una potencia del motor eléctrico de 1,5 Kw y un peso de 84 kilogramos para el condensador junto con el compresor, y de 29 kilogramos para el evaporador. Todas las características técnicas y ensayos se encuentran especificados en sus Anexos correspondientes, A.4, A.5, A.6, A.7.

Entre sus principales ventajas podemos destacar:

- Rendimientos optimizados para una mejor protección de las mercancías.

- Un caudal de aire extremadamente elevado para mantener una calidad y una frescura constantes en toda la caja.
- Rápida bajada de temperatura (pulldown).
- Un sistema de mando por microprocesador con mando en cabina para un funcionamiento más sencillo y seguro.
- Rápida instalación y fácil mantenimiento lo cual contribuye a reducir los costes de explotación.
- Gran surtido de kits de montaje aprobados por los fabricantes de vehículos.

Si analizamos ahora las desventajas del equipo Carrier Xarios 350-05/MXS 1100, únicamente podemos destacar como desventaja o aspecto negativo para el caso concreto que nos ocupa, el caudal de aire del evaporador, el cual es de 1500m<sup>3</sup>/hora, con el cual no estamos seguros de ser capaces de refrigerar la totalidad del semirremolque. En lo referente al resto de aspectos, consideramos que se trata de un equipo eficiente y simple, ampliamente testado y que cumple sobradamente con los requisitos del transporte de mercancías refrigeradas por carretera.

#### 4.2.3 EQUIPO ELEGIDO Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

En conclusión y una vez analizados los dos equipos propuestos en los apartados anteriores, creemos que el que mejor se adapta a nuestro caso concreto de estudio es el equipo de refrigeración Xarios 350-05/MXS 1100.

A continuación procedemos a justificar la elección de dicho equipo.

La finalidad del equipo de refrigeración Xarios 350-05/MXS 1100 es la refrigeración de alimentos y mercancías transportadas por carretera, finalidad que coincide con la de nuestro objeto de estudio, con lo cual este aspecto es el más destacable y uno de los principales motivos de la elección de este equipo.

A su vez se trata de un equipo con posibilidad de operar en modo completamente eléctrico y en diferentes tensiones de alimentación, con lo que es perfectamente viable su conexión a la instalación solar fotovoltaica prevista en la cubierta del semirremolque.

Otro aspecto destacable es que dicho equipo está fabricado y testado por Carrier Transicold, empresa que durante más de 40 años ha sido líder en la industria de la refrigeración, ofreciendo a clientes de todo el mundo soluciones innovadoras y sistemas de refrigeración muy avanzados en remolques y semirremolques. Dicha empresa sería la encargada el montaje del equipo en su conjunto debido a su amplia experiencia en este sector y el conjunto de trabajos ya realizados, lo cual simplificaría costes y operaciones de montaje respecto al otro equipo de refrigeración planteado.

Ya existen semirremolques frigoríficos llamados multi temperatura, unidades idénticas a la que se está tratando en este estudio, que incorporan aparte del equipo frigorífico primario, otra unidad evaporadora como la MXS1100 en la parte trasera del semirremolque, esta unidad funciona a través del compresor del equipo principal, son equipos pensados para transportar dos mercancías diferentes que requieren distintas consignas de temperatura (productos congelados + frutas o verduras), las mercancías se separan mediante unas colchonetas aislantes y movibles y cada evaporador se encarga de refrigerar una zona concreta. Como podemos ver en la figura 37 ya existen evaporadores como el MXV 850, MXS 1100 o MXL 1100, instalados en semirremolques frigoríficos, por lo que comprobamos que la opción de instalar el evaporador MXS1100 en nuestro objeto de estudio es perfectamente viable, a su vez destacamos que estos equipos ya vienen con sus respectivos kits de montaje lo cual es un gran incentivo.





*Figura 37: Ejemplo de semirremolque frigorífico con equipo multi temperatura Fuente: Autor*

Todos estos aspectos justifican según nuestro criterio la elección del equipo Xarios 350-05/MXS 1100.

Si procedemos a detallar el principio de funcionamiento, la diferencia entre nuestro equipo de refrigeración y los multi temperatura ya existentes, es que nuestro evaporador no funcionará a través del compresor del equipo principal movido por el motor diésel, sino que funcionará mediante energía eléctrica producida por la instalación fotovoltaica de la cubierta del semirremolque, de ahí la necesidad de la inclusión del Xarios 350-05 (que contiene el compresor y el condensador), el cual alimentara el evaporador MXS1100, mediante dicha energía.

Como se ha argumentado en apartados anteriores, el equipo frigorífico principal del semirremolque será el encargado de realizar un primer enfriamiento del interior del semirremolque gracias a su elevada potencia, movido por su propio motor de combustión, y una vez alcanzada la temperatura de consigna, el equipo de refrigeración secundario

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO**

formado por el Xarios 350-05 y el evaporador MXS 1100 será el encargado de mantener la temperatura, alimentado por la instalación solar fotovoltaica, consiguiendo de esta forma la no necesaria puesta en marcha de nuevo del equipo, salvo en ocasiones muy puntuales, consiguiendo así una reducción del consumo de gasóleo por parte del equipo principal.

Todos los aspectos relativos a la ubicación y el montaje del equipo de refrigeración secundario Xarios 350-05/MXS1100 se detallan en el apartado “6. UBICACIÓN, SOLUCIÓN ESTRUCTURAL E INSTRUCCIONES DE MONTAJE DEL CONJUNTO DE LOS EQUIPOS.”





## 5. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Una vez ya detallados los conceptos básicos de la energía solar fotovoltaica el presente estudio tiene como objetivo calcular cual es la cantidad total de energía necesaria mediante la instalación de una serie de módulos solares a partir de la superficie disponible en la cubierta del semirremolque frigorífico, para su posterior almacenamiento en los respectivos acumuladores, los cuales se encargarán de alimentar el equipo de frio secundario escogido en los apartados anteriores.

### 5.1 ÁMBITO DE ACTUACIÓN Y USO DE LA INSTALACIÓN

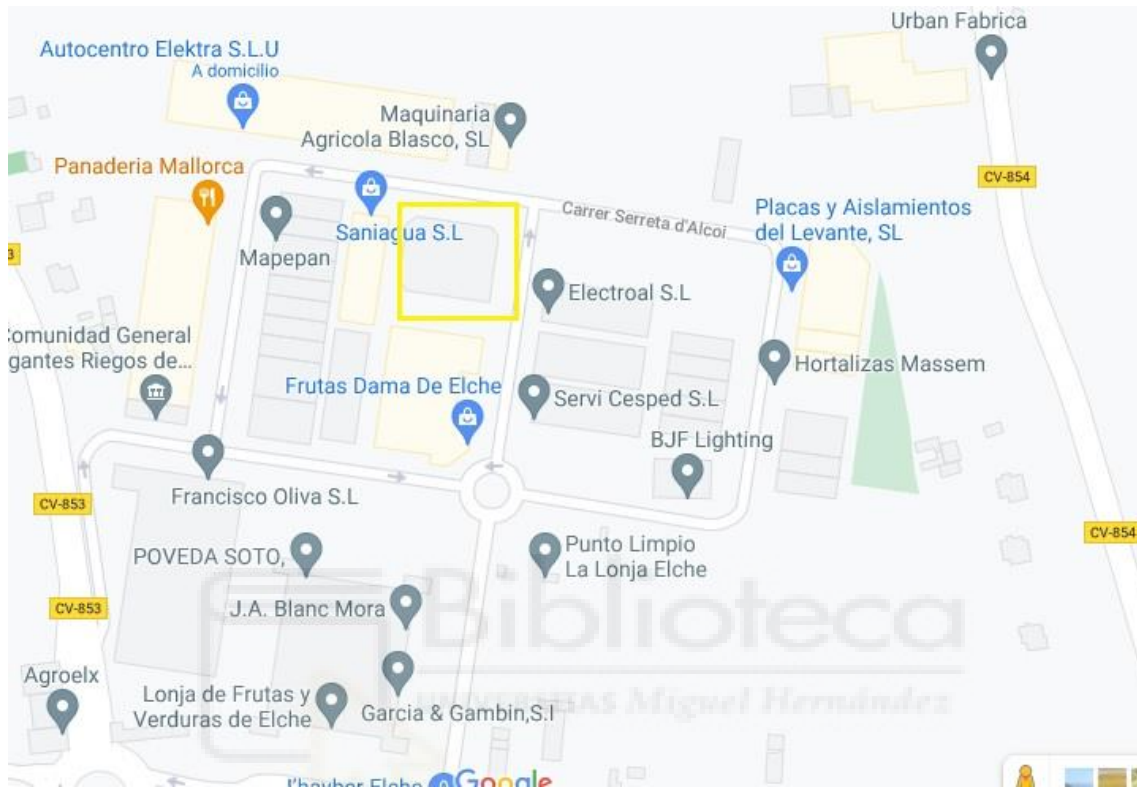
En el presente apartado se pretende tratar la localización en la cual operará la instalación solar fotovoltaica junto al uso de la misma.

En nuestro caso la instalación va a estar ubicada sobre un vehículo con capacidad de movimiento, lo cual indica que podría operar en cualquier zona a la que se desplace, sin embargo y al igual que en el apartado “4.1.9.1” vamos a considerar una única zona de operación.

La empresa propietaria del objeto de estudio centra su operación principalmente en los viajes internacionales con destino a Francia, de tal forma que su metodología de trabajo consiste en la carga de la mercancía a mediados de la tarde junto con un posterior viaje hacia la zona de destino durante la noche. Por tanto durante las principales horas de luz solar el camión junto con el semirremolque se encuentra estacionado, esto nos permite que los paneles fotovoltaicos puedan aprovechar la energía solar durante esas horas pico y almacenarla en las baterías, con posterioridad y una vez cargada la mercancía estas se encargarán de suministrarla al equipo de frio secundario el cual tendrá la función de mantener la temperatura en el interior del semirremolque frigorífico durante las últimas horas de la tarde y la noche, expuesto esto, se va a tomar como zona de actuación de la instalación solar fotovoltaica la sede de la empresa “TRANSELX S.L.” propietaria de

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

nuestro objeto de estudio, la cual se encuentra localizada en el Parque Agroalimentario La Alcudia- Elche, con coordenadas 38°14'38'' N, 0°41'00'' W.



*Figura 38: Ámbito de actuación de la instalación solar fotovoltaica. Fuente: Autor.*

## 5.2 ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Se va a proceder a el análisis de las necesidades energéticas por parte del nuevo equipo de refrigeración secundario.

En este caso particular no se va a seguir la metodología normal de cálculo de instalaciones aisladas, para nuestro objeto de estudio dimensionaremos a partir de la autonomía que consideramos suficiente para que el equipo funcione durante un trayecto, escogeremos una batería que sea capaz de cumplir dichos requisitos y posteriormente estudiaremos el número de paneles capaces de completar el proceso de carga de dicha batería. Una vez

escogidos todos los equipos se realizarán los cálculos para comprobar que cumplen los requisitos necesarios.

El motor del equipo Xarios 350-05 consta de una potencia eléctrica de 1,5Kw. Según nuestras estimaciones consideramos que con 4/5 horas de autonomía el equipo de refrigeración secundario será capaz de mantener la temperatura en el interior del semirremolque durante un trayecto, en la Tabla 9 observamos los datos de consumo del equipo.

Equipo	Tipo de Consumo	Cantidad	Potencia Eléctrica (Kw)	Tiempo de Uso (h)	Consumo (Kwh)
Xarios 350-05	AC	1	1,5	5	7,5

*Tabla 9 : Consumo del equipo de refrigeración secundario Fuente: Autor.*

La potencia eléctrica del equipo hace referencia a la potencia nominal, esta variará en función de las condiciones de temperatura exterior e interior y en algunos casos puede ser superior o inferior al valor mostrado. Para nuestro caso concreto debido a que el interior del semirremolque se encontrará pre-enfriado y que además va a permanecer cerrado en la medida de lo posible, se estima que el consumo eléctrico sea inferior al nominal.

### 5.3 PRESELECCIÓN DE COMPONENTES

Se va a realizar una preselección de los componentes que van a conformar el conjunto de la instalación fotovoltaica y posteriormente se van a efectuar los cálculos para comprobar que son compatibles entre sí.

### 5.3.1 ACUMULADOR

Se define el acumulador como una asociación eléctrica de baterías, y una batería como una fuente de tensión continua formada por un conjunto de vasos electroquímicos interconectados [18].

La capacidad de las baterías es la cantidad de energía que debe ser capaz de almacenar la batería para asegurar un correcto funcionamiento del sistema. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende en gran medida de la del sistema de acumulación.

Distinguimos los siguientes tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas:

- Plomo Ácido (Pb-ácido), Níquel-Cadmio (Ni-Cd), Níquel-Zinc (Ni-Zn), Zn-Cloro (Zn-Cl<sub>2</sub>)
- Litio

Hasta hace unos años los acumuladores que más habían sido instalados para aplicaciones fotovoltaicas aisladas correspondían a las baterías de plomo ácido, que en general y siempre que pueda realizarse un mantenimiento, se adaptan bastante bien a los sistemas de generación fotovoltaica, actualmente y desde hace unos años vienen instalándose también y cada vez más las baterías de litio, si exponemos sus principales características:

- **Plomo ácido (Pb-ácido):** Presentan una alta confiabilidad y estabilidad, con el mantenimiento adecuado es fácil mantener este tipo de baterías con un óptimo funcionamiento, suelen tener una relación coste-rendimiento bastante buena.
- **Litio:** Mejor eficiencia de descarga y carga, vida útil más larga, mayor número de ciclos (en torno a 5000-6000), capacidad de realizar ciclos profundos mientras se mantiene el nivel de energía, precio más elevado.

En el caso concreto que nos ocupa creemos que la mejor como opción por parte de los acumuladores se presenta en los de tipo Litio, algunos aspectos justifican su elección son:

- Pueden llegar a proporcionar hasta 5-8 veces más vida útil que las baterías de plomo ácido
- Mantienen y proporcionan el 80-90% de la capacidad nominal incluso después de 2000 ciclos
- La mayoría de las baterías de litio duran más de 5/6 años frente a las baterías promedio de plomo-ácido que suelen durar unos pocos años, algunos fabricantes incluso presentan una garantía de hasta 10 años
- Permiten velocidades de carga y descarga más altas
- A diferencia del plomo-ácido, las fluctuaciones de temperatura apenas afectan a la entrega de energía
- Presentan un peso menor que las de plomo-ácido y un mantenimiento muy reducido, dos aspectos fundamentales en nuestro objeto de estudio
- Es una muy buena opción cuando se requieren profundidades de descarga muy altas o instalaciones que trabajan en condiciones climáticas extremas

Se ha escogido como acumulador la Batería Litio 48V BYD B-Box Premium LVS 8kWh la cual se muestra en la figura 39.



*Figura 39 : Batería de litio BYD LVS 8 kwh. Fuente: Autor.*

Se trata de un acumulador de Ferrofosfato de Litio (LiFePo) libre de cobalto, cuenta con una capacidad de 8Kwh, protección IP55 y cableado oculto a la vista. Las

especificaciones principales se detallan en la tabla 10 y el resto se encuentran correspondientemente en el Anexo A.10.

<b>Acumulador Battery Box Premium LVS 8.0</b>	
<b>Número de módulos</b>	2
<b>Energía Utilizable</b>	8 Kwh
<b>Máxima corriente de salida</b>	130 A
<b>Máxima corriente de salida pico</b>	182 A, 5 segundos
<b>Dimensiones</b>	711x650x298 mm
<b>Peso</b>	109 kg
<b>Voltaje Nominal</b>	51,2 V
<b>Voltaje Operativo</b>	40 / 57,6 V
<b>Temperatura Operativa</b>	-10°C / 50°C
<b>Tecnología de Celda</b>	Litio Fosfato de Hierro
<b>Garantía</b>	10 Años

*Tabla 10 : Características técnicas del acumulador. Fuente: Autor.*

### 5.3.2 INVERSOR

Un inversor es un dispositivo electrónico capaz de transformar una corriente continua (DC) en una corriente alterna (AC) a un voltaje y frecuencia determinados, por tanto, es indispensable usarlo para alimentar a través de corriente continua, los dispositivos electrónicos que funcionan en corriente alterna [18]. Los inversores se utilizan en sistemas fotovoltaicos aislados para alimentar dispositivos eléctricos y también se utilizan en sistemas fotovoltaicos conectados a la red para introducir la corriente producida por la planta directamente en la red eléctrica de distribución.

En nuestro caso consideramos que lo más conveniente es utilizar un inversor/regulador/cargador, el cual incorpora las tres funciones en un solo dispositivo por lo que se optimiza al máximo el espacio disponible y a su vez se simplifican las conexiones necesarias.

Para nuestro caso se ha preseleccionado el inversor Inversor Voltronic Axpert MKS III 5000W 48V MPPT 80.



*Figura 40 : Inversor Voltronic Axpert MKS III. Fuente: Autor.*

Se trata de un inversor de onda senoidal pura capaz de trabajar con baterías de 48 voltios, compatible con baterías de tipo lito, a su vez incorpora un cargador de baterías de 80 amperios, supone una evolución ya que incorpora un regulador de carga MPPT de alto voltaje de 80 amperios que permite conectar hasta 4500W de potencia fotovoltaica con un amplio rango de tensión. Las especificaciones principales se detallan en la tabla 11 y el resto se encuentran correspondientemente en el Anexo A.9.

<b>Inversor Axpert MKS III</b>	
<b>Entrada</b>	
<b>Potencia Nominal</b>	5000 W
<b>Rango de Voltaje</b>	90-280 V (AC)
<b>Rango de Frecuencia</b>	50 Hz / 60 Hz
<b>Salida</b>	

<b>Eficiencia</b>	93%
<b>Cargador</b>	
<b>Voltaje Batería</b>	48
<b>Carga en flotación</b>	54
<b>Protección sobrecarga</b>	66
<b>Regulador</b>	
<b>Tipo</b>	MPPT
<b>Potencia Fotovoltaica Máxima</b>	5000 W
<b>Rango MPPT / Voltaje Operativo</b>	120 - 430 VDC
<b>Tensión Máxima en Circuito Abierto</b>	450 VDC
<b>Corriente máxima de carga solar</b>	80 A
<b>Físicas</b>	
<b>Dimensiones</b>	140x295x468 mm
<b>Peso</b>	12 Kg
<b>Temperatura de Operación</b>	-10°C / 50°C

*Tabla 11: Características técnicas del inversor/regulador. Fuente: Autor.*

### 5.3.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La elección del módulo fotovoltaico puede estar regida por varios criterios, de entre los cuales se ha seguido el siguiente razonamiento para su elección:

En primer lugar, el factor limitante que determina la selección del panel es el número de paneles máximo que es posible instalar en el solar en función de la superficie útil disponible. En nuestro caso la instalación pretende ser ubicada en la cubierta de un semirremolque frigorífico, que cuenta con una superficie disponible de 35,1m<sup>2</sup>, lo cual delimita en gran medida la instalación fotovoltaica.



A pesar de esto, nuestro objetivo no es una instalación de grandes dimensiones, sino una instalación que nos permita reabastecer el acumulador del equipo durante las horas principales del día, y que posteriormente este suministre la energía durante los trayectos nocturnos.

El segundo criterio para nuestro caso particular ha sido el tipo de panel, distinguiendo aquí dos tipos, los paneles fotovoltaicos rígidos y los paneles flexibles. Los paneles fotovoltaicos rígidos o tradicionales, los cuales están formados por células de silicio encapsuladas en un marco de aluminio y situadas entre una capa frontal de vidrio templado y una posterior que suele estar realizada con varios polímeros, el encapsulado del panel puede variar según el fabricante. Los paneles flexibles presentan una estructura semiflexible y prescinden de marco de aluminio y de cristal de seguridad, están formados por células fijadas en una estructura de plástico y con una capa protectora superior, son células de silicio monocristalino y ofrecen un alto rendimiento.

Realizando una simple comparación entre ellos tenemos:

- **Paneles Convencionales:** Presentan un comportamiento y una fiabilidad altamente testados, cuentan con potencias pico elevadas en los casos de silicio monocristalino, algunos fabricantes ya están patentando alternativas por encima de los 600W, gran variedad a la hora de escoger, diferentes tipos de medidas, mejor resistencia debido a su estructura encapsulada a costa de un mayor peso.
- **Paneles Flexibles:** Peso mucho menor en comparación a los paneles convencionales, gracias a su superficie plástica, se pueden flexionar para adaptarse a distintos tipos de superficie, por su bajo espesor se pueden integrar en mejor medida que los paneles tradicionales, su principal inconveniente es el mayor precio en comparación con el resto.

Una vez expuestas sus principales características consideramos que el tipo de panel que mejor se adapta a nuestro objeto de estudio son los paneles de tipo flexible. Su elección se puede justificar mediante los siguientes motivos:

- Presentan un peso significativamente reducido en comparación a sus homólogos, para nuestro caso particular y como se ha comentado en apartados anteriores

cualquier incremento de peso se va a traducir en incrementos en el consumo de gasóleo por parte del vehículo tractor, este es uno de los aspectos primordiales.

- Su espesor reducido nos permite no sobrepasar la altura máxima permitida para este tipo de vehículos.
- Al presentar una estructura inferior completamente plana junto a su bajo peso, se puede adaptar a nuestro semirremolque sin necesidad de estructura de soporte y con una mayor facilidad.
- Otro aspecto crítico para su elección es que debido a las imperfecciones en las vías de circulación, las partes frontal y posterior del semirremolque sufren variaciones de altura con respecto a ellas mismas, lo cual puede provocar agrietamientos o roturas en caso de los paneles convencionales al impedir esta capacidad de movimiento, los paneles flexibles con su estructura plástica semiflexible, no presentarían este inconveniente.
- Al no tener que satisfacer una demanda excesiva de energía, los paneles flexibles nos permiten alcanzar la potencia pico necesaria, a pesar de presentar menores niveles de potencia que los paneles tradicionales.

Una vez expuesto todo lo anterior, como panel solar flexible se ha escogido el Panel Solar SZ-180-36MFE 180W 12V, el cual combina la máxima eficiencia combinada con un cierto grado de flexibilidad, pensado para aplicaciones náuticas, de vehículos o cualquier otra comprometida para un dispositivo electrónico.



*Figura 41: Panel Solar Flexible 180W, 12V. Fuente: Autor.*

El módulo está ensamblado mediante la técnica de contacto posterior, donde básicamente el panel tiene las conexiones recubiertas de materiales flexibles para acabar formando el módulo en su conjunto.

Las especificaciones principales se detallan en la tabla 12 y el resto se encuentran correspondientemente en el Anexo A.8.

<b>Panel Solar Flexible SZ-180-36MFE</b>	
<b>Potencia Nominal</b>	180 W
<b>Tensión punto máxima potencia</b>	18,2 V
<b>Tensión en circuito abierto</b>	21,5 V
<b>Corriente en el punto máxima potencia</b>	9,89 A
<b>Corriente de cortocircuito</b>	10,41 A
<b>Tensión del sistema máxima admisible</b>	100 V
<b>Coefficiente de temperatura en MPPT</b>	-0,48 1/°C
<b>Coefficiente de temperatura en V<sub>co</sub></b>	-0,34 1/°C
<b>Tipo de Celda</b>	Monocristalino
<b>Número de celdas</b>	36
<b>Alto</b>	1,51 m
<b>Ancho</b>	0,67 m
<b>Profundidad</b>	0,003 m
<b>Peso</b>	6,2 Kg

*Tabla 12 : Características técnicas del panel fotovoltaico. Fuente: Autor.*

#### 5.4 DIMENSIONADO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Para el dimensionamiento del generador fotovoltaico se han utilizado una serie de datos recopilados por PVGIS, que se trata de un software que permite estimar la producción de energía de un sistema fotovoltaico, así como acceder a datos diarios o mensuales de irradiación, temperaturas medias etc. Presenta una amplia base de datos y permite cálculos para Europa, América, Asia y África.

Debido a que esta instalación va a ser de uso anual, se dimensionará según el criterio de “mes peor”, es decir, se considerará el mes con peor radiación, de forma que, si este mes cumple con las condiciones para la recarga diaria de los acumuladores, el resto de los meses en consecuencia también cumplirán. En nuestro caso particular el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos será fijo y al situarse en la cubierta del semirremolque refrigerado su inclinación ha de ser de  $0^\circ$  con respecto al plano horizontal, no tenemos posibilidad de variación alguna debido a que cualquier inclinación elevaría la altura total del semirremolque por encima de la permitida y a su vez causaría un gran defecto aerodinámico, a todo esto se sumaría la necesidad de diseño de una estructura que permita fijar los paneles fotovoltaicos al semirremolque y mantener una cierta inclinación por lo que esta opción ni si quiera se habría contemplado. Como la inclinación del panel va a ser de  $0^\circ$ , el ángulo acimut no tiene aplicación en este caso particular.

<b>Mes</b>	<b>Irradiación Global Horizontal (Kwh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Enero</b>	71,4
<b>Febrero</b>	89,86
<b>Marzo</b>	142,28
<b>Abril</b>	163,8
<b>Mayo</b>	205,28
<b>Junio</b>	235,33

<b>Julio</b>	236,04
<b>Agosto</b>	218,13
<b>Septiembre</b>	169,65
<b>Octubre</b>	116,64
<b>Noviembre</b>	77,91
<b>Diciembre</b>	63,46

*Tabla 13 : Datos de irradiación mensuales para una inclinación de 0°. Fuente: PVGIS.*

Como podemos ver en la tabla 13, el mes con peor irradiancia para la ubicación seleccionada es Diciembre, por tanto dimensionaremos a partir de este. Para el dimensionamiento se van a utilizar las siguientes ecuaciones según el pliego de condiciones técnicas del IDAE [19]:

$$(21) \quad P_o = N * P_p$$

$P_o$  = Potencia nominal del generador en CEM (W).

$P_p$  = Potencia pico del panel fotovoltaico (W).

$N$  = Número de paneles.

$$(22) \quad P_{cc,fov} = P_o \cdot R_{to,var} \cdot [1 - g(T_c - 25)] \cdot \left(\frac{E}{1000}\right)$$

$P_{cc,fov}$  = Potencia de CC inmediatamente a la salida de los paneles FV (W).

$R_{to,var}$  = Rendimiento que incluye los porcentajes de pérdidas debidas a que los módulos fotovoltaicos operan normalmente en condiciones diferentes de las CEM.

$g$  = Coeficiente de temperatura de la potencia en  $1/^{\circ}\text{C}$ .

$T_c$  = Temperatura de las células solares ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$E$  = Irradiancia solar medida con la CTE calibrada ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

$$(23) \quad T_c = T_{amb} + (TONC - 20) \cdot E/800$$

$T_{amb}$  = Temperatura ambiente en la sombra, medida con el termómetro ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$TONC$  = Temperatura nominal de operación del módulo.


$$(24) \quad R_{to,var} = (1 - L_{pol})(1 - L_{dis})(1 - L_{ref})$$

$L_{pol}$  = Pérdidas por potencia debidas al polvo sobre los módulos FV.

$L_{dis}$  = Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos.

$L_{ref}$  = Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral, cuando se utiliza un piranómetro como referencia de medidas. Si se utiliza una célula de tecnología equivalente (CTE), el término  $L_{ref}$  es cero.

$$(25) \quad P_{cc,inv} = P_{cc,fov} \cdot (1 - L_{cable})$$

$L_{cable}$  = Pérdidas de potencia en los cableados de CC entre los paneles FV y la entrada del inversor, incluyendo, además las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexiones, diodos etc.

En los casos en los cuales no se dispone de otra información más precisa, pueden utilizarse los valores indicados en la figura 42, para los cuales nosotros hemos tomado los valores medios anuales.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor estimado, media anual</i>	<i>Valor estimado, día despejado (*)</i>	<i>Ver observación</i>
$L_{cab}$	0,02	0,02	(1)
$g (1/^\circ\text{C})$	–	0,0035 (**)	–
$TONC (^\circ\text{C})$	–	45	–
$L_{tem}$	0,08	–	(2)
$L_{pol}$	0,03	–	(3)
$L_{dis}$	0,02	0,02	–
$L_{ref}$	0,03	0,01	(4)

*Figura 42 : Valores para diferentes parámetros [18].*

A partir de las fórmulas y datos expuestos anteriormente, se ha creado una tabla Excel mediante la cual, atendiendo a los criterios de diseño, nos proporciona las potencias producidas por nuestro campo fotovoltaico, a partir de la irradiancia media diaria para el mes de Diciembre, de esta forma podemos variar el número de paneles fotovoltaicos y observar los resultados obtenidos optimizando de esta forma los componentes de la instalación. Por tanto tenemos que para un total de 24 módulos fotovoltaicos con una potencia pico de 180W cada uno , preseleccionados en el apartado anterior y considerando un rendimiento del inversor del 93% (tabla 11) se tiene la tabla 14:

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO  
PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO**

**DICIEMBRE**

<b>HORA</b>	<b>E (W/m2)</b>	<b>Tambiente (°C)</b>	<b>Tcélula (°C)</b>	<b>Pcc, fov (W)</b>	<b>Pcc, inv (W)</b>	<b>Pca (W)</b>
<b>0:00</b>	0	2,54	2,54	0	0	0
<b>1:00</b>	0	2,13	2,13	0	0	0
<b>2:00</b>	0	1,68	1,68	0	0	0
<b>3:00</b>	0	1,22	1,22	0	0	0
<b>4:00</b>	0	0,76	0,76	0	0	0
<b>5:00</b>	0	0,43	0,43	0	0	0
<b>6:00</b>	0	0,09	0,09	0	0	0
<b>7:00</b>	0	-0,24	-0,24	0	0	0
<b>8:00</b>	0	1,67	1,67	0	0	0
<b>9:00</b>	91,52	3,58	6,6688	393,296396	385,430468	346,887421
<b>10:00</b>	215,06	5,49	12,748275	901,800147	883,764144	795,387729
<b>11:00</b>	317,76	8,37	19,0944	1297,90625	1271,94812	1144,75331
<b>12:00</b>	383,99	11,26	24,2196625	1534,716	1504,02168	1353,61951
<b>13:00</b>	407,53	14,15	27,9041375	1603,08057	1571,01895	1413,91706
<b>14:00</b>	379,85	14,44	27,2599375	1498,38848	1468,42071	1321,57864
<b>15:00</b>	296,34	14,74	24,741475	1181,75129	1158,11627	1042,30464
<b>16:00</b>	183,86	15,03	21,235275	744,242976	729,358117	656,422305
<b>17:00</b>	48,49	12,29	13,9265375	202,352024	198,304983	178,474485
<b>18:00</b>	0	9,55	9,55	0	0	0
<b>19:00</b>	0	6,81	6,81	0	0	0
<b>20:00</b>	0	5,68	5,68	0	0	0
<b>21:00</b>	0	4,56	4,56	0	0	0
<b>22:00</b>	0	3,43	3,43	0	0	0



<b>23:00</b>	0	2,98	2,98	0	0	0
<b>TOTAL</b>	2324,4			9357,53413	9170,38344	8253,34 Wh

*Tabla 14 : Producción estimada de la instalación para un día medio en Diciembre. Fuente: Autor.*

Como podemos observar, en el mes más desfavorable, la producción (AC) media diaria a la salida del inversor/regulador, para un total de 24 módulos es de 8,253Kwh, lo cual es perfectamente viable y nos permitiría abastecer durante el día la batería de 8Kwh escogida en el apartado anterior.

## 5.5 ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS EQUIPOS

En el presente apartado se pretende analizar la compatibilidad de los equipos preseleccionados los cuales formaran nuestra instalación solar fotovoltaica, se va a proceder a calcular si los paneles fotovoltaicos seleccionados son capaces de trabajar con el inversor propuesto y este a su vez con los acumuladores.

Tal y como se ha expuesto en el apartado anterior se ha estimado la producción de energía solar fotovoltaica para un total de 24 módulos de 180W cada uno, lo que eleva la potencia de la instalación hasta los 4320W. La configuración escogida para los paneles va a ser de 8 módulos conectados en serie y 3 en paralelo, lo cual nos proporcionará 3 columnas de 8 paneles cada una, no obstante, también cabe la posibilidad de conectar 3 módulos en serie y 8 en paralelo, dicha configuración sería perfectamente admisible por el conjunto de los equipos, si exponemos los cálculos para la configuración escogida según nuestro criterio:

Obtenemos el voltaje total de cada rama de la siguiente forma:

$$(26) \quad V_t = n * V_{mppt}$$

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

$V_t$  = Voltaje total (V).

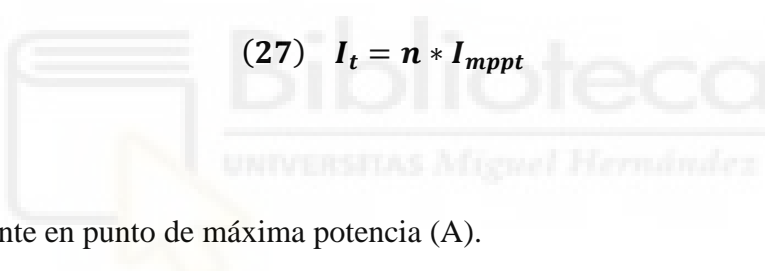
$n$  = Número de paneles conectados en serie.

$V_{mppt}$  = Tensión en punto de máxima potencia (V).

Tenemos por tanto que:

$$V_t = 8 * 18.2 = 145,6 \text{ Voltios}$$

Para calcular la intensidad máxima podemos utilizar la expresión:


$$(27) \quad I_t = n * I_{mppt}$$

$I_{mppt}$  = Corriente en punto de máxima potencia (A).

$n$  = Número de paneles conectados en paralelo.

Tenemos por tanto que:

$$I_t = 2 \cdot 9,89 = 29,67 \text{ Amperios}$$

Una vez se han calculado las tensiones e intensidades que nos ofrece la configuración de módulos escogida vamos a proceder a realizar los cálculos para el inversor/cargador.

Para una potencia total fotovoltaica de 4320W y una demanda por parte del equipo de frío de 1,5Kw se ha escogido un inversor/cargador/regulador de 4500W/48V.

Una vez expuestas las características técnicas del inversor en la tabla 11 podemos observar como la tensión total proporcionada por el generador fotovoltaico se encuentra dentro del rango de voltaje operativo. También se debe realizar la comprobación para el día más cálido y el día más frío y ver que la tensión se adapta a la admisible por el inversor. Siendo conservadores suponemos que la célula va a alcanzar una temperatura de 75°C en el día más cálido y de 0°C en el día más frío.

Para el cálculo de esa tensión en circuito abierto se hace uso de la expresión:

$$(28) \quad V_{co}(T) = n \cdot V_{co}(T_{amb}) + n \cdot V_{co}(T_{amb}) \cdot \beta \cdot \Delta T$$

$\beta$  = Coeficiente de temperatura del módulo en circuito abierto (1/°C).

$n$  = Número de paneles conectados en serie.

$V_{co}(T_{amb})$  = Tensión en circuito abierto medida en condiciones CTE (25°C).

Para el día más cálido considerando 75°C como temperatura de la célula tenemos por tanto:

$$\Delta T = 75 - 25 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{co}(50) = 8 \cdot 21,5(25^\circ\text{C}) + 8 \cdot 21,5(25^\circ\text{C}) \cdot \left(-\frac{0,34}{100}\right) \cdot 50 = 142,76 \text{ Voltios}$$

Para el día más frío considerando 0°C como temperatura de la célula tenemos por tanto:

$$\Delta T = 0 - 25 = -25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{co}(0) = 8 \cdot 21,5(0^{\circ}C) + 8 \cdot 21,5(0^{\circ}C) \cdot \left(-\frac{0,34}{100}\right) \cdot (-25) = 186,62 \text{ Voltios}$$

Por tanto como podemos observar para el día más cálido y el día más frío no se supera la tensión máxima en circuito abierto por parte del inversor que es de 450VDC, tampoco se tiene ningún problema por parte de la intensidad total del generador fotovoltaico por lo que el inversor y la configuración de paneles fotovoltaicos escogidos son perfectamente compatibles.

Como último componente, se ha de tener en cuenta la tabla 10, donde aparecen reflejadas las características técnicas principales del acumulador seleccionado.

Como podemos ver el inversor es perfectamente compatible con el acumulador ya que es capaz de operar dentro de los parámetros, tiene un voltaje en batería de 48 voltios y una carga en flotación de 56 voltios lo cual se encuentra dentro del voltaje operativo de la batería. Los rangos de temperatura de trabajo del inversor y del acumulador no suponen ningún inconveniente ya que se espera que no se sobrepasen los 50°C en ningún momento.

Como punto adicional se va a proceder a calcular la sección mínima de cableado para la instalación, esta sección se puede calcular mediante la ecuación:

$$(29) \quad S(mm^2) = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho'}{AV \cdot V}$$

Dónde:

**V**= Tensión nominal del sistema (V).

**I**= Corriente que circula por los conductores (A).

**AV**= Caída de tensión en los conductores, se considera 0,9.

**L**= Longitud de los conductores (m).

$S$ = Sección de los conductores (mm<sup>2</sup>).

$\rho'$ = Resistividad del conductor ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ), con un valor 0,01724138  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$  para el cobre.

Como corriente que circula por los conductores se ha de elegir la mayor de entre dos componentes, la corriente que produce el generador y la corriente que consume la carga, también denominada corriente de salida, se calculan mediante las expresiones:

$$(30) \quad I_{GF} = 1,25 \cdot I_{cc} \cdot n$$

Dónde:

$I_{GF}$ = Corriente de cortocircuito del generador (A).

1,25= Factor de seguridad para considerar los aumentos de irradiancia en días nublados.

$n$ = Número de paneles conectados en paralelo.

$I_{cc}$ = Corriente de cortocircuito (A).

$$(31) \quad I_{salida} = 1,25 \cdot \frac{(P_{DC} + P_{AC})/\eta_{inv}}{V_{bat}}$$

Dónde:

$I_{salida}$ = Corriente que consume la carga (A).

$P_{DC}$ = Potencia de las cargas en DC (W).

$P_{AC}$ = Potencia de las cargas en AC (W).

$\eta_{inv}$ = Rendimiento del inversor.

$V_{bat}$ = Tensión nominal de la batería.

**1,25**= Factor de seguridad para considerar los aumentos de irradiancia en días nublados.

Por tanto aplicando estas dos ecuaciones obtenemos:

$$I_{GF} = 1,25 \cdot 10,41 \cdot 3 = 39,0375 \text{ Amperios}$$

$$I_{salida} = 1,25 \cdot \frac{\frac{(1500)}{0,9}}{51,2} = 40,69 \text{ Amperios}$$

$$I = \text{máx}(I_{GF}, I_{salida}) = 40,69 \text{ Amperios}$$

Ya que la idea principal es colocar el inversor y el acumulador en la parte inferior del semirremolque se ha considerado una longitud aproximada de los conductores de 10 metros, una vez conocida la corriente que circula por los conductores, la resistividad del cobre y el resto de los parámetros aplicamos finalmente la ecuación 28 obteniendo así una sección:

$$S(\text{mm}^2) = \frac{2 \cdot 10 \cdot 40,69 \cdot 0,01724138}{0,9 \cdot 48} = 0,3247 \text{ mm}^2$$

Con este cálculo concluimos el final del dimensionamiento del sistema fotovoltaico junto a la compatibilidad de los equipos observando como la instalación es perfectamente compatible y apta para nuestro estudio.

Los aspectos relativos al montaje y ubicación de los módulos fotovoltaicos y el resto de los componentes del sistema fotovoltaico se encuentran detallados en el apartado “6.

UBICACIÓN, SOLUCIÓN ESTRUCTURAL E INSTRUCCIONES DE MONTAJE  
DEL CONJUNTO DE LOS EQUIPOS”

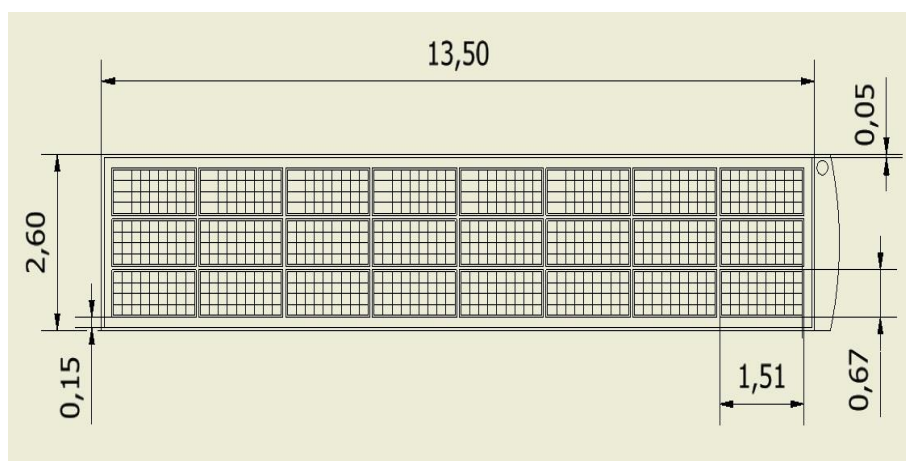


## 6. UBICACIÓN, SOLUCIÓN ESTRUCTURAL E INSTRUCCIONES DE MONTAJE DEL CONJUNTO DE LOS EQUIPOS

El presente apartado tiene como objetivo dar una posible solución en relación a la integración de los nuevos equipos en el semirremolque frigorífico. Se van a tratar uno a uno los componentes de los nuevos equipos a instalar, las instrucciones de montaje de los mismos, así como la solución estructural en caso de que para la integración de algún componente o conjunto de componentes sea necesaria la modificación en gran medida del semirremolque frigorífico.

### 6.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos SZ-180-36MFE escogidos cuentan con unas dimensiones de 1510x670x3 milímetros y un peso de 6,2 kilogramos, sus características principales aparecen en la tabla 12. Para su ubicación en la cubierta del remolque se han escogido un total de 24 módulos para los cuales se ha tomado una configuración de 8 en serie y 3 en paralelo, la disposición de los mismos en la cubierta del semirremolque frigorífico aparece reflejada en la figura 43 a la vez que en el correspondiente Anexo A.11.



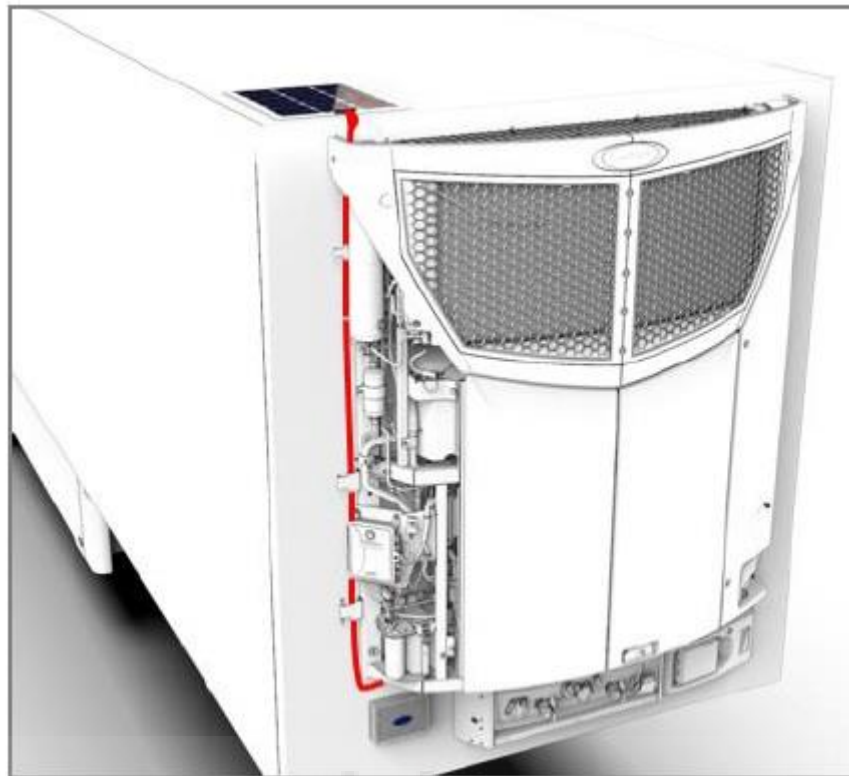
*Figura 43 : Disposición de los módulos fotovoltaicos en la cubierta del semirremolque. Fuente: Autor.*



La cubierta del semirremolque frigorífico cuenta con una superficie disponible de 35,1 metros cuadrados con lo que con esta disposición quedaría cubierta en gran medida.

La adición de estos 24 módulos al conjunto supone un peso extra para el vehículo tractor de 148,8 kilogramos, la fijación de los paneles y el conexionado se realizaran de la siguiente forma:

- En primer lugar se deberá limpiar la suciedad, polvo y posibles incrustaciones de la cubierta del semirremolque, para ello no se usará en ningún caso cualquier producto abrasivo el cual pueda comprometer la integridad de la cubierta, se recomienda el uso de productos con bases alcohólicas junto con agua, una vez realizado esto se dejará secar.
- Posteriormente se fijarán los módulos a la cubierta mediante un adhesivo del tipo Sikaflex -11FC de uso estructural, apto para resistir a la intemperie y con una buena resistencia química el cual tampoco reaccione en ningún caso con los materiales de la cubierta. No se permitirá la fijación de los paneles mediante tornillería o anclajes, esto comprometería la estructura a la vez que incrementaría el flujo de calor.
- Una vez realizado el conexionado de los módulos, el cableado se dejará canalizado a través de canaletas adhesivas (en ningún caso atornilladas) las cuales circularan longitudinalmente por la cubierta del semirremolque, posteriormente el cableado descenderá por el lateral del equipo frigorífico principal como se muestra en la figura 44 hasta la parte inferior central del semirremolque, donde estarán correspondientemente ubicados el inversor y el acumulador, hasta este punto y una vez el cableado llegue a la parte inferior del semirremolque, se conducirá por el interior de los largueros de tipo “doble T” .



*Figura 44 : Conducción del cableado desde la cubierta del semirremolque hasta el inversor y acumulador. Fuente: Autor.*

## 6.2 EVAPORADOR MXS 1100

El evaporador MXS 1100 cuenta con unas dimensiones de 1106 x 614 x 194 milímetros y un peso de 29 kilogramos, todas las especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el anexo correspondiente. Dicho evaporador cuenta con un kit metálico adicional el cual permite el montaje de la unidad evaporadora en el techo del semirremolque, a su vez la estructura metálica protege al equipo frente a posibles golpes en el proceso de carga de mercancía.

Es por esto por lo que el evaporador va a ser ubicado en el techo del semirremolque, próximo a la parte posterior del mismo, la justificación es la siguiente:

- Con unas dimensiones internas del semirremolque frigorífico de 2,50 x 2,70 metros, la colocación del evaporador en cualquier otro lugar nos supondría una limitación en la capacidad de carga del semirremolque al ocupar un espacio ya

predefinido para la mercancía, y además una mayor dificultad en el proceso de carga de la misma.

- El evaporador necesita contar con un espacio libre para la impulsión de aire, teniendo en cuenta que los palets de mercancía tienen una altura de entre 2,40 y 2,50 metros, la colocación de este por debajo de esta altura supondría que la mercancía no dejaría circular el aire por la totalidad del semirremolque conllevando una refrigeración inadecuada.
- Con la ubicación del evaporador pegado al techo del semirremolque conseguimos un flujo de aire por la parte superior de toda la mercancía a la vez que no se interfiere ni en la altura ni en el proceso de carga.
- Debido a que el equipo de frío principal está ubicado en la parte frontal del semirremolque, lo más lógico es ubicar el segundo equipo en la parte posterior, ya que la parte frontal debido al equipo primario será la primera en alcanzar la temperatura de consigna y a su vez la más tardía en superar la misma, gracias a esto conseguimos a su vez que el desagüe del equipo de frío secundario pueda desembocar junto a la puerta del semirremolque ,cayendo así el agua al exterior, se evita en primer lugar que esta caiga sobre la mercancía y en segundo, realizar canalizaciones internas en el semirremolque con sus respectivas pendientes.
- Ya existen evaporadores montados en semirremolques frigoríficos tal y como se ha especificado anteriormente, por lo que lo más sensato es mantener la ubicación y las instrucciones de montaje de estos que ya siguen los propios fabricantes.

Una vez especificada la ubicación del evaporador se va a tratar el montaje del mismo, del cual se va a encargar Carrier Transicold o cualquier entidad certificada por los mismos debido a su amplia experiencia en este sector y el conjunto de trabajos ya realizados, lo cual simplificará costes y operaciones de montaje, se fijará al techo a través de una kit metálico propio del equipo el cual irá atornillado o fijado adhesivamente, según considere el fabricante.

Podemos observar un ejemplo que como podría quedar ubicado y montado el evaporador en la figura 45, los respectivos planos del equipo están especificados en el anexo A.7.



*Figura 45: Ejemplo de evaporadores multi temperatura en semirremolques frigoríficos. Fuente: Autor.*

### 6.3 COMPRESOR-CONDENSADOR, ACUMULADORES E INVERSOR-REGULADOR

Como ya se ha especificado en el apartado “3.5” se va a proceder a sustituir el cajón porta-palets del semirremolque frigorífico por una estructura diseñada para albergar estos tres equipos. Se pretende que la estructura mantenga el mismo método de fijación del porta-palets al chasis del semirremolque (figura 46) , el cual está formado por dos largueros de sección en doble “T” de una sola pieza en acero S355MC.

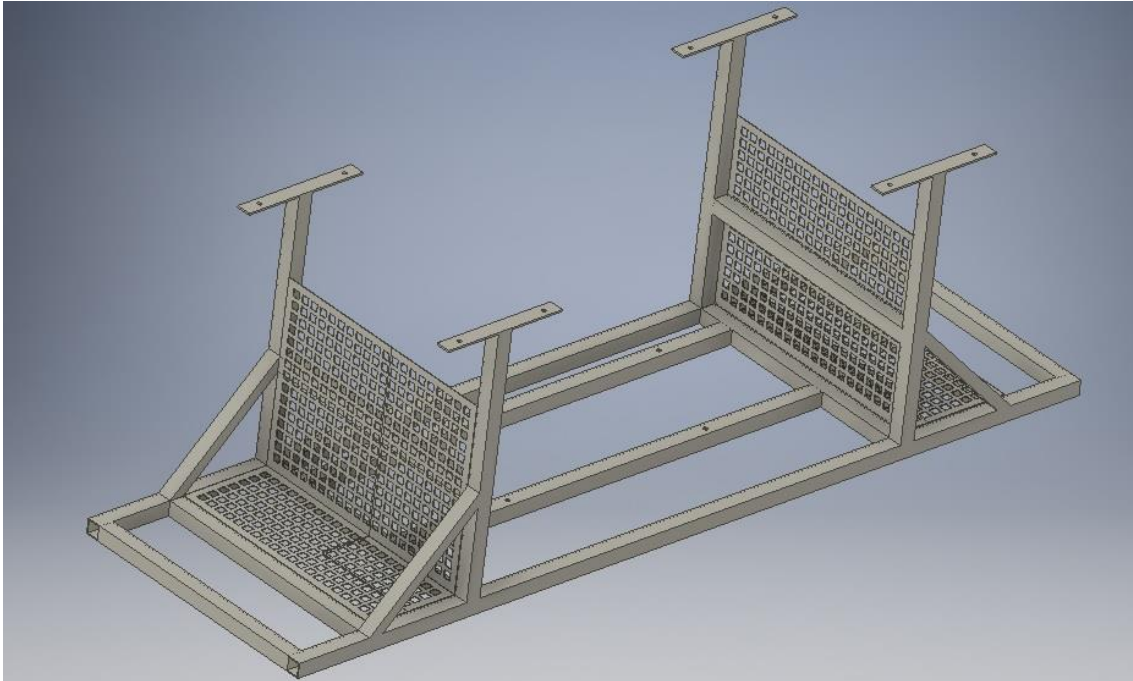


*Figura 46: Método de fijación del porta-palets al chasis del semirremolque . Fuente: Autor.*

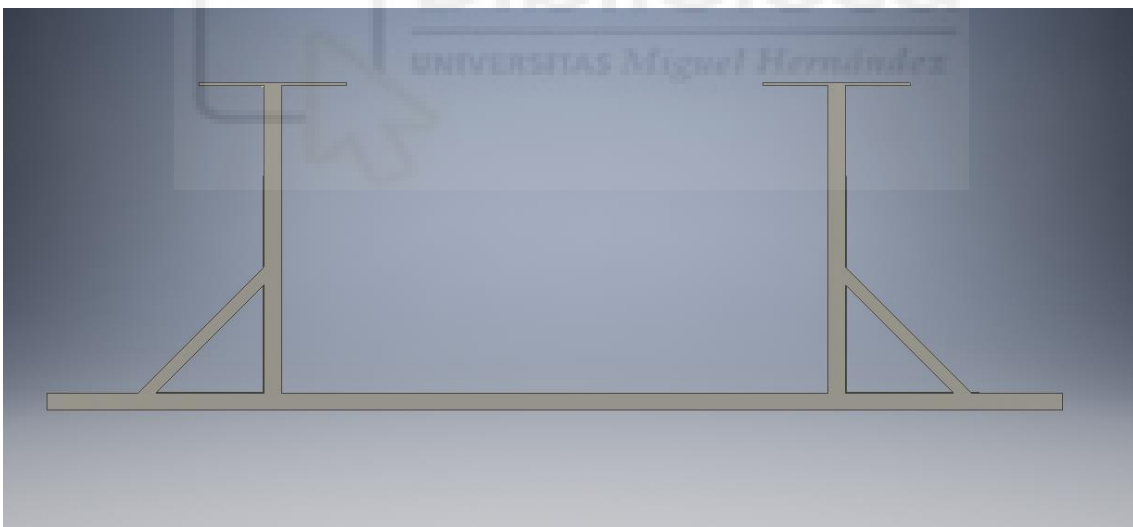
El porta-palets está fijado a través de 6 puntos como el que se observa en la figura 46, tres en cada larguero y separados longitudinalmente a lo largo de la longitud del mismo de forma que ningún punto puede descender ya que su homólogo en el lado opuesto no lo permite y así consecutivamente.

Para albergar estos tres equipos se ha diseñado una estructura formada por perfiles rectangulares huecos de acero 40x40x3 milímetros, la cual presenta una distancia longitudinal entre perfiles de 650 milímetros.





*Figura 47 : Estructura para la ubicación de los componentes al semirremolque . Fuente: Autor.*



*Figura 48: Estructura para la ubicación de los componentes al semirremolque . Fuente: Autor*

En la parte de la izquierda de la figura se ubicaría el inversor-regulador, entre los largueros del chasis se ubicaría el condensador-compresor mediante cuatro puntos de anclaje, finalmente en la parte derecha se ubicarían los acumuladores los cuales ocuparían toda la longitud de la estructura quedando asentados firmemente.

El peso de total de estos equipos supone un total 205 kilogramos por lo que se ha realizado un análisis estructural de la estructura diseñada, donde se ha considerado para los equipos una fuerza vertical de 2g, una fuerza longitudinal de 1g y una fuerza transversal o de vuelco de 1/2g. Se presentan los siguientes cálculos:

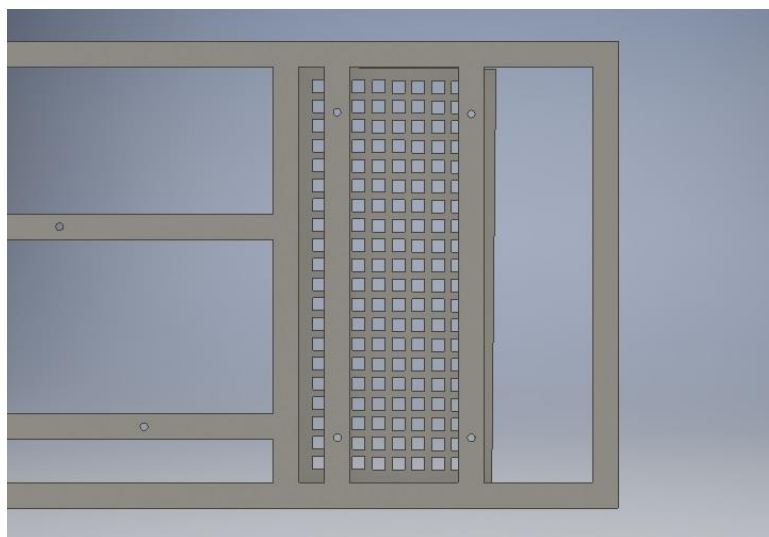
$$F = m \cdot a$$

Para el condensador-compresor el peso se va a repartir sobre 4 puntos situados en los perfiles seleccionados por lo que se van a tratar como fuerzas puntuales, sabiendo que supone un peso de 84 kilogramos.

$$F_{vertical} = 84 \cdot 2 \cdot 9,81 = 1648,08 \text{ N}; \quad \frac{1648,08}{4} = 412,02 \text{ N}$$

$$F_{longitudinal} = 84 \cdot 9,81 = 824,04 \text{ N}; \quad \frac{824,04}{4} = 206,01 \text{ N}$$

Para el caso de los acumuladores, a pesar de haber situado un tramex de acero, la fijación se realizará sobre dos perfiles (figura 49), con un peso total de 109 kilogramos y suponiendo 4 puntos de anclaje, nuevamente se han considerado fuerzas puntuales.



**Figura 49:** Puntos de fijación para el sistema de acumulación. **Fuente:** Autor

$$F_{vertical} = 109 \cdot 2 \cdot 9,81 = 2138,58 \text{ N}; \quad \frac{2138,58}{4} = 534,645 \text{ N}$$

$$F_{longitudinal} = 109 \cdot 9,81 = 1069,29 \text{ N}; \quad \frac{1069,29}{4} = 267,3225 \text{ N}$$

$$F_{lateral} = 109 \cdot \frac{9,81}{2} = 534,645 \text{ N}; \quad \frac{534,645}{4} = 133,66125 \text{ N}$$

Para el caso del inversor se ha considerado una carga distribuida ya que el peso descansará sobre el tramex horizontal de acero, a pesar de que irá sujeto al tramex vertical. Sabiendo que presenta peso de 12 kilogramos y unas dimensiones de base de 140x295 milímetros, tenemos una superficie de apoyo de 0,0413m<sup>2</sup> por lo que la carga se distribuirá como una presión uniforme.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{12 \cdot 2 \cdot 9,81}{0,0413} = 0,0057 \text{ Mpa}$$

De forma que la distribución de cargas en la estructura quedaría de la siguiente forma:

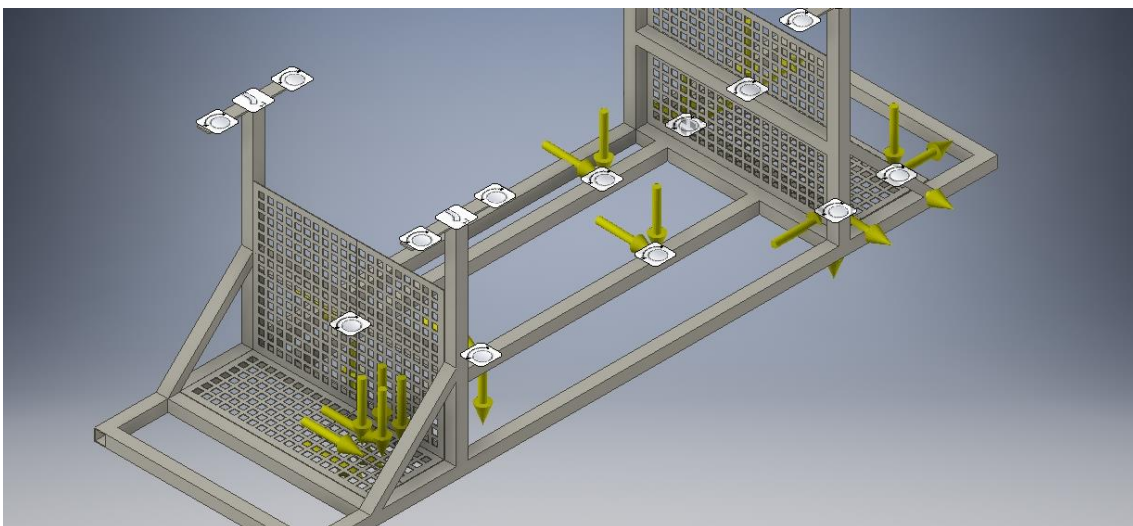


Figura 50: Cargas en la estructura . Fuente: Autor

En la figura 51 y 52 podemos observar el análisis tensional de la estructura.



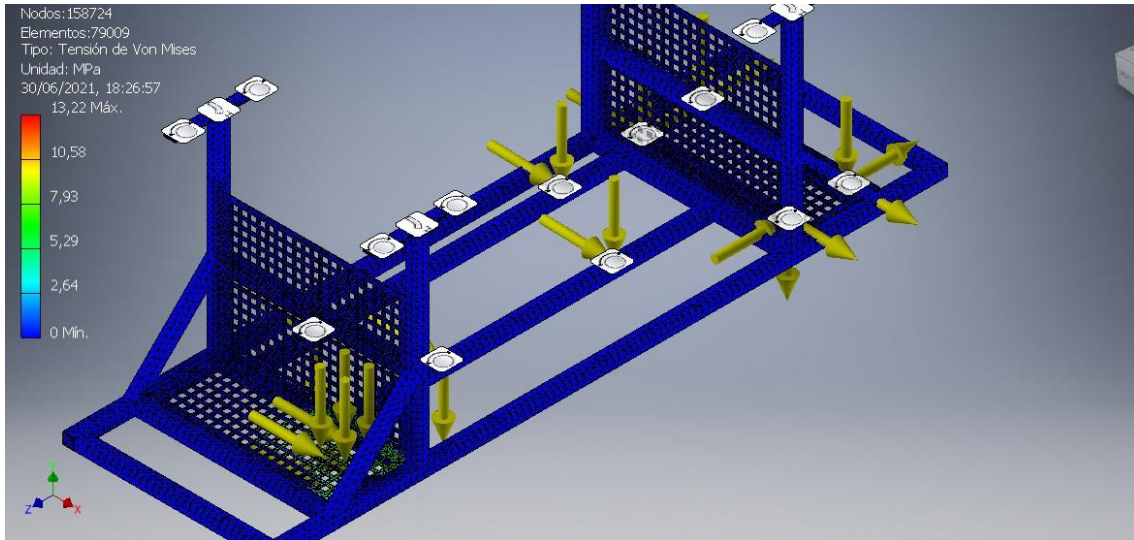


Figura 51 : Tensiones de Von Mises en la estructura . Fuente: Autor

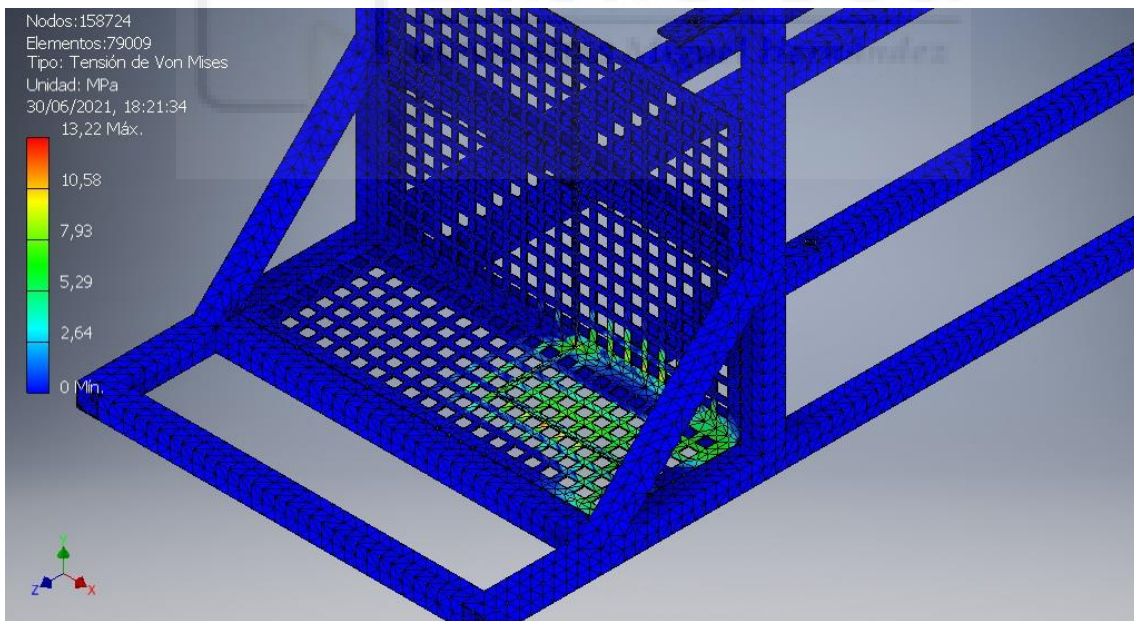
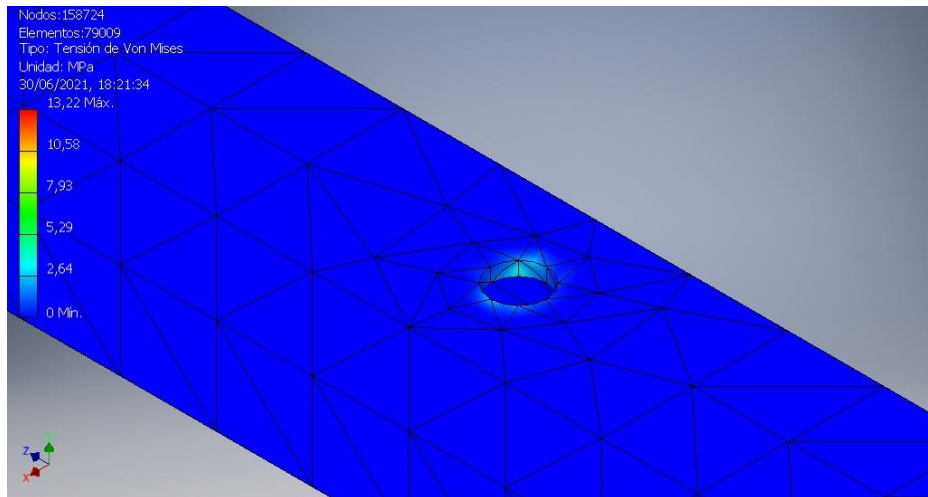


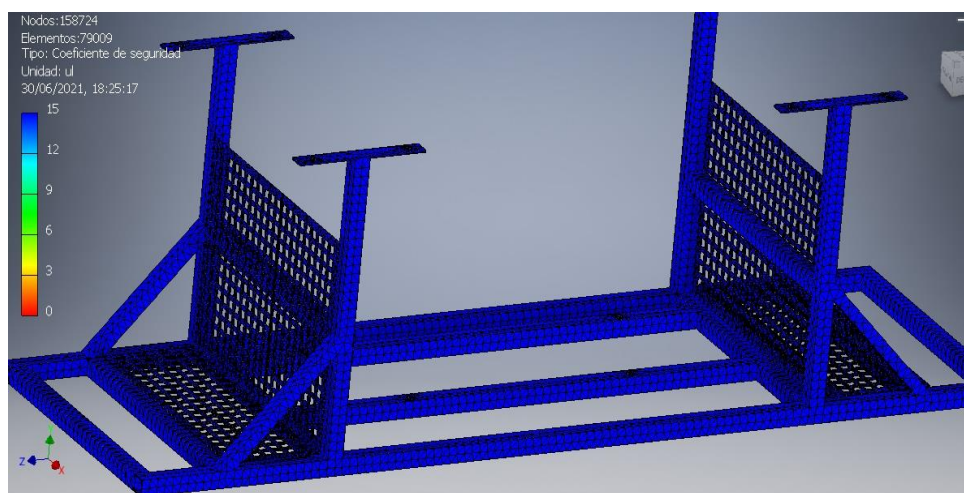
Figura 52: Tensiones de Von Mises en la estructura . Fuente: Autor

Podemos observar como en la zona donde descansa el inversor, al estar sobre un trames de acero de 2 milímetros de espesor se presentan más tensiones que en el resto de la estructura a pesar de no comprometer la solución estructural.



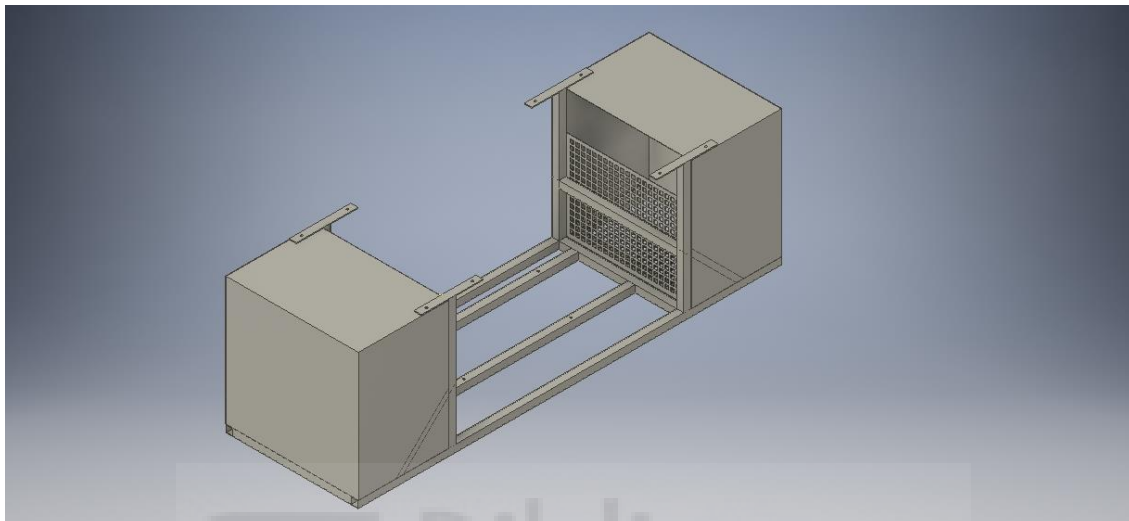
**Figura 53:** Tensiones de Von Mises en la estructura . **Fuente:** Autor

En los puntos de fijación del condensador-compresor podemos observar algunas tensiones a pesar de tener valores mínimos, al tratarse de una estructura de perfiles de acero, es capaz de soportar pesos muy superiores a los que presentan los componentes de nuestra instalación por lo que la estructura es perfectamente viable, como se observa en la figura 54 presenta un coeficiente de seguridad de 15.



**Figura 54:** Coeficiente de seguridad de la estructura . **Fuente:** Autor

Adicionalmente se va a añadir a la estructura unas láminas de acero de 2 milímetros las cuales conformarán dos cajones para proteger el inversor y los acumuladores frente a posibles robos, por lo que el diseño final de la estructura quedaría de la siguiente forma:



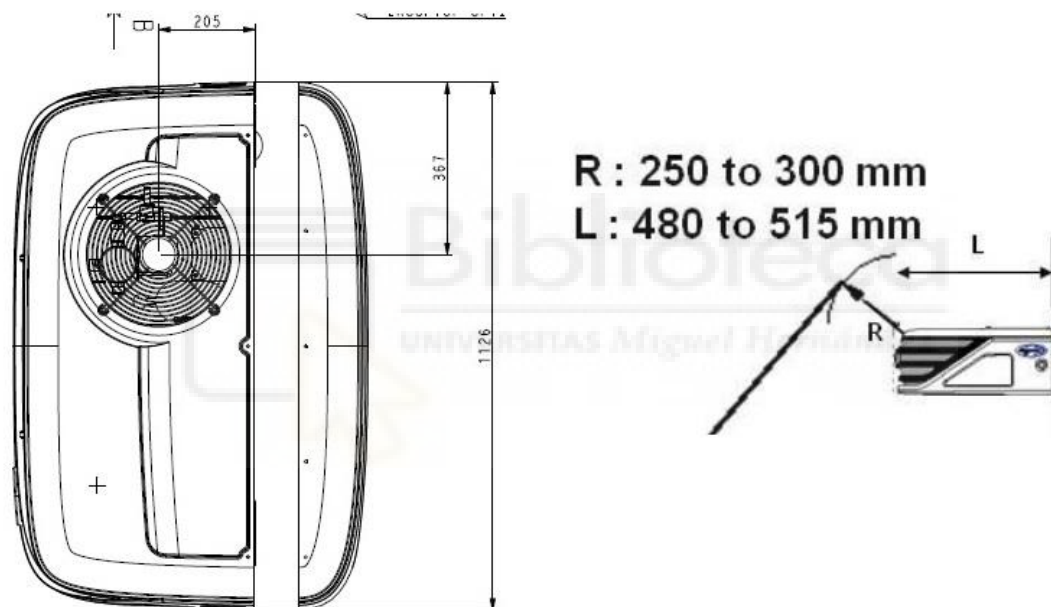
*Figura 55: Diseño final de la estructura . Fuente: Autor*

El conexionado de los equipos se realizará por la parte trasera del tramex, dejando los cables correctamente fijados, los cuales se conducirán por los perfiles de la estructura hacia la parte interna del chasis del semirremolque, donde circularán por el interior de los perfiles en doble “T” hasta ser conducidos a sus equipos correspondientes como son los paneles fotovoltaicos y el evaporador.

Para el caso de las canalizaciones del equipo de refrigeración secundario se realizarán de la misma forma hasta ser empotradas dentro del panel isothermizado a la altura a la que se encuentre el evaporador, todo esto se realizará según considere el fabricante. Como aparece especificado en el Anexo A.13, los conductos de refrigerante del equipo de refrigeración deberán respetar los radios de giro mínimos, evitando en la medida de lo posible codos cerrados, los conductos se encoquillarán y se mantendrán a cierta distancia entre si para evitar posibles transferencias de calor, a su vez irán fijadas con bridas antitérmicas.

El porta-palets sustituido presentaba una distancia longitudinal de 2,60 metros mientras que nuestra estructura presenta una longitud total de 0,73 metros por lo que existirá espacio suficiente para llevar acabo el mantenimiento de los equipos.

Como podemos ver en la figura 56, el compresor-condensador presenta una turbina en su parte superior, la cual es la encargada de expulsar el flujo de aire caliente de la unidad por lo que se ha de dejar una distancia mínima para que este flujo pueda circular y no disminuir la eficiencia del equipo. Se ha establecido una distancia desde la parte superior del equipo hasta el piso inferior del semirremolque frigorífico de 653 milímetros para que dicho flujo de aire pueda circular sin inconvenientes.



*Figura 56 : Varias cotas del evaporador MXS1100 y distancias mínimas para la evacuación del aire. Fuente: Carrier Transicold.*

La estructura diseñada presenta un peso total de 122,6 kilogramos, que asciende a un total de 327,6 kilogramos contabilizando el peso de los equipos, el porta-palets sustituido presentaba la capacidad de cargar 36 euro-palets con un peso aproximado de 25 kilogramos cada uno lo que presentaba un total de 900 kilogramos sin contabilizar la propia estructura. Por tanto no se ha incrementado el peso del semirremolque sino todo lo contrario, lo que implica que estas modificaciones, contabilizando a su vez los paneles

fotovoltaicos y el evaporador interior, no influirán en los consumos de gasóleo de la unidad tractora.

En el Anexo A.12 se presentan una serie de croquis indicativos con las medidas específicas de la estructura diseñada.





## 7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN FINAL

La solución final al diseño de una instalación fotovoltaica de apoyo para un semirremolque frigorífico consistirá por tanto en la inclusión de módulos fotovoltaicos de tipo flexible en la cubierta del semirremolque, estos a su vez mediante un inversor-regulador cargarán una serie de acumuladores los cuales dotarán de energía a un equipo frigorífico secundario, el cual se encargará de mantener la temperatura interna en el semirremolque una vez que el equipo frigorífico principal haya realizado un primer enfriamiento hasta la temperatura de consigna deseada, de esta forma se evita la nueva puesta en marcha del equipo frigorífico principal obteniendo así una reducción en el consumo de gasóleo. A su vez se ha procedido a sustituir la estructura porta-palets del semirremolque por otra estructura de diseño propio, la cual será la encargada de albergar los acumuladores, el inversor-regulador y el condensador-compresor.

### 7.1 PRESUPUESTO

A continuación se va a presentar una presupuesto en el cual se detallan los gastos aproximados de los equipos seleccionados para nuestro objeto de estudio, así como la mano de obra relativa al montaje de los mismos.

Presupuesto					
Conjunto	Desglose	Descripción	Unidades	Precio	Total
Instalación Solar Fotovoltaica	Panel SZ-180-36MFE	Panel solar flexible 180W, monocristalino, 5 años de garantía	24	272,32	6535,68
	Inversor/Cargador Axpert MKS III 5000-48	Inversor/Cargador/Regulador Axpert MKS III de 5000W y 48V	1	670,91	670,91
	Acumulador BYD Battery-Box LVS 8.0	Batería LVS 8.0, 2 módulos Litio Fosfato de hierro, 8Kwh, 10 años de garantía	1	3961,44	3961,44

	Cableado y Tornillería	Cableado y tornillería referente a las conexiones de los componentes, se estima una longitud de 10 metros	1	100	100
	Mano de obra y productos para el montaje	Mano de obra utilizada para el montaje de los paneles fotovoltaicos junto al resto de componentes, se incluye método de fijación de los mismos etc. Se estiman 6 horas	1	100	100
Equipo de refrigeración secundario	Carrier Xarios 350-05 / MXS 1100	Equipo de refrigeración compuesto por el evaporador junto al compresor y condensador, se incluye la mano de obra de montaje y los kits de fijación para el vehículo	1	8500	8500
Estructura de soporte para los nuevos equipos	Perfiles de acero 40x40x3 y láminas de acero de 2mm.	Costes referentes a la nueva estructura para la ubicación del acumulador, inversor y condensador-compresor, así como mano de obra y montaje de la misma	1	350	350

	Total ( Base Imponible)	20218,03
	IVA (21%)	4245,7863
	<b>Total</b>	<b>24463,8163</b>

*Tabla 15 : Presupuesto de la instalación. Fuente: Autor.*

El precio total de los equipos junto con la mano de obra y el montaje asciende a un total de 24463,81 euros.

## 7.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD Y AMORTIZACIÓN

Una vez realizado el presupuesto de la instalación se va a proceder a realizar un estudio de amortización aproximado.

Para ello se ha de tener en cuenta que una instalación fotovoltaica suele tener una vida útil de 25 años mientras que los semirremolques frigoríficos están entre 12 y 15 años.

El gasóleo tipo B presenta un precio medio de 0,65 euros, para nuestro caso de estudio y empresa citada partimos de que la mercancía se carga ya pre-enfriada en el semirremolque frigorífico por lo que para llevarla a la temperatura de consigna deseada la cual se ha considerado de 5°C el equipo principal está operativo durante media hora.

Los semirremolques realizan un trayecto nocturno de 9 horas de duración durante el cual el equipo frigorífico principal opera el 50% del tiempo para mantener dicha temperatura constante, lo que supone un tiempo de funcionamiento de 4 horas, 4,5 horas si tenemos en cuenta la media hora inicial antes de iniciar el trayecto.

Con nuestro diseño estimamos que el equipo frigorífico secundario sea capaz de mantener la temperatura interna del semirremolque una vez este llegue a la temperatura de consigna deseada por lo que se estima que se ahorren aproximadamente 4 horas de funcionamiento del equipo principal por cada trayecto.

Si tenemos en cuenta que el consumo de gasóleo del equipo principal es de 3,35 litros/hora y que el semirremolque realiza unos 330 viajes al año, podemos aproximar un ahorro de 4422 litros de combustible al año, lo que traducido en euros asciende a un total de 2874,3€ por año, por lo que la inversión se amortizaría en 8 años y medio contabilizando el I.V.A., a partir de este momento la inversión quedaría amortizada y se podría llegar a ahorrar casi 3 mil euros cada año.

Con respecto a la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, podemos calcular el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de la siguiente forma:

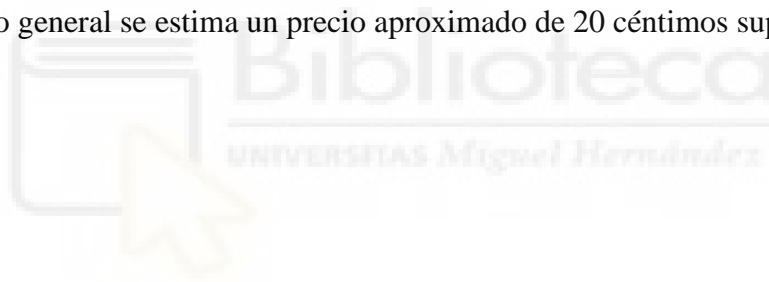


- El gasóleo tipo B presenta una densidad mínima de 820 kg/m<sup>3</sup> y máxima de 880 kg/m<sup>3</sup>, si consideramos su valor medio de 850kg/m<sup>3</sup> y ahorramos aproximadamente 4422 litros de gasóleo.

$$4422 \text{ l} \cdot \frac{1\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \cdot \frac{880\text{kg}}{1\text{m}^3} = 3891,36 \text{ kilogramos}$$

El poder calorífico del gasóleo B es de 11,74 Kw/kg por lo que con 3891,36 kilogramos se obtiene una energía de 45684,56 Kw, si un kwh de gasóleo B emite 0,311kg de CO<sub>2</sub>, estimamos un ahorro de 14207 kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos anualmente a la atmosfera.

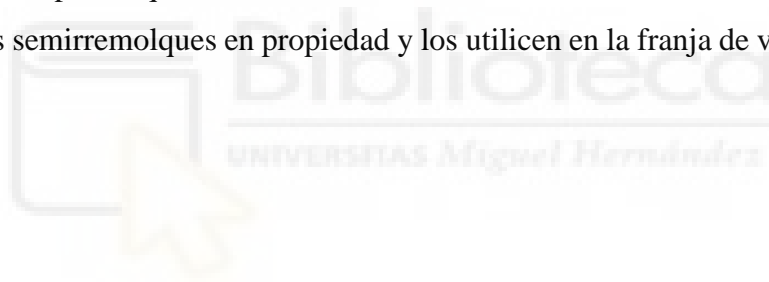
En este caso no se ha considerado el mantenimiento de la instalación, no se espera que sea un mantenimiento costoso ni excesivo pero se ha de tener en cuenta este aspecto, a su vez, el precio de gasóleo es el referente para la empresa propietaria del objeto de estudio, para el público general se estima un precio aproximado de 20 céntimos superior.



## **8. CONCLUSIONES**

Se ha diseñado una instalación fotovoltaica de apoyo para un semirremolque frigorífico junto a un equipo de refrigeración secundario con el objetivo principal de reducir los consumos de gasóleo por parte del equipo primario a la vez que reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera y promover el uso de las energías renovables y sostenibles.

Se ha estimado un periodo de amortización de la instalación de 8 años y medio por lo que la viabilidad de la misma se presenta cuanto menos compleja, puede ser un proyecto interesante de cara al futuro con el abaratamiento de estas tecnologías y cada vez una mejor eficiencia de los diferentes equipos a la vez que un incremento cada vez mayor en el precio de los combustibles. Puede ser una opción interesante de cara a grandes empresas de transporte las cuales cuentan con numerosos semirremolques y un rígido control de costes, por lo que el ahorro se incrementaría notablemente siempre y cuando mantengan los semirremolques en propiedad y los utilicen en la franja de vida útil citada.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE). Disponible en:  
<https://observatoriotransporte.mitma.es/que-es-el-otle>
- [2] <https://www.transporteprofesional.es/noticias-actualidad-transporte-logistica/transporte-de-mercancias/presente-y-futuro-del-sector>
- [3] S. Mercier, S. Villeneuve, M. Mondor and I. Uysal. *Time-Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recen Developments*, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Volume 16, Issue 4, 2017.
- [4] S.J. James, C. James, J.A. Evans, *Modelling of food transportation systems – a review*, International Journal of Refrigeration, Volume 29, Issue 6, 2006. Pages 947-957
- [5] David Tanner, *Refrigerated Transport*, Reference Module in Food Science, Elsevier, 2016.
- [6] P. Glouannec, B. Michel, G. Delamerre, Y. Grohens, *Experimental and numerical study of heat transfer across insulation wall of a refrigerated integral panel van*, Applied Thermal Engineering. Elsevier, 2014, 73, pp 196-204.
- [7] N.J. Smale, J. Moureh, G. Cortella. *A review of numerical models of air flow in refrigerated food applications*, International Journal of Refrigeration, Volume 29, Issue 6, 2006.
- [8] Y. A. Cengel, Michael A. Boles, *Termodinámica*, 7 Ed. Mc Graw Hill, 2013.
- [9] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentos de transferencia de calor*, 4 ed.
- [10] Javier María Méndez Muñiz, Rafael Cuervo García, ECA Instituto De Tecnología y Formación S.A.U., *Energía Solar Fotovoltaica*, 2º Edición.
- [11] [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar\\_en\\_Espa%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a)
- [12] <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/spain>
- [13] <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/espana-acaparo-en-2019-el-90-de->

[20201109/#:~:text=Dentro%20de%20ese%20creciente%20mercado,europicos%20en%20n%C3%BAmero%20de%20instalaciones.](#)

[14] Daniel Barbera Santos. Universidad de Sevilla, *Introducción a la Energía Fotovoltaica*.

[15] <https://es.weatherspark.com/y/42511/Clima-promedio-en-Elche-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

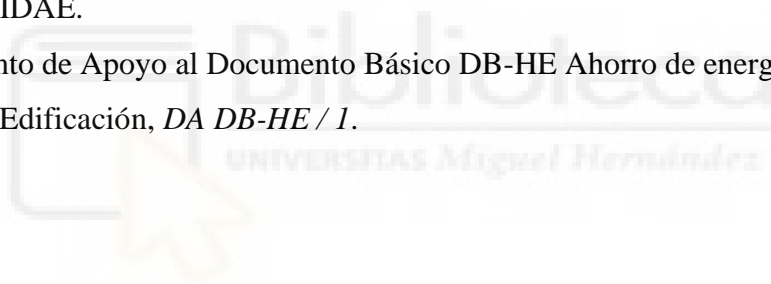
[16] Yunes. A. Cengel, Michael. A. Boles, *Termodinámica*, 7 Ed. Mc Graw Hill, 2013.

[17] Bayod Rújula, Á. A. (2009). *Energías renovables: sistemas fotovoltaicos*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.

[18] Universidad Miguel Hernández, Cursos de Perfeccionamiento, *Autoconsumo con instalaciones Fotovoltaicas*, Sergio Valero Verdú.

[19] Pliego de condiciones técnicas de Instalaciones Aisladas de la Red, PCT-A-REV – febrero 2009, IDAE.

[20] Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía, Código Técnico de la Edificación, *DA DB-HE / 1*.



## 10. ANEXOS

### A.1 Equipamiento chasis semirremolque SOR Ibérica

Equipamiento estándar del chasis		
<p><b>Construcción del chasis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masa total (MT) sobre King pin: 13Tm</li> <li>• MT en ejes: 27Tm</li> <li>• MT técnicamente admisible: 40TM</li> <li>• Cuello del chasis plano o empotrado</li> <li>• Estructura con largueros de sección en doble "T" 1 sola pieza en acero S355MC</li> <li>• Pies apoyo mecánicos de 2 velocidades</li> <li>• Granallado 2 1/2 SA con bolas de acero</li> <li>• Capa de imprimación de silicato de zinc de dos componentes</li> <li>• Pintura: 1ª capa de protección imprimación de 2 componentes y 2ª capa acabado de poliuretano de 2 componentes (color gris DAF)</li> <li>• Dispositivo antitempotamiento trasero homologado según Reglamento CEPE/ONU</li> <li>• Soporte rueda de repuesto</li> </ul>	<p><b>Ejes/ruedas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BPW ECO PLUS 3, disco 309TSB o tambor 420x180 y palancas automáticas de freno</li> <li>• Suspensión original BPW con diaprés de 360mm</li> <li>• Elevador bilateral BPW con válvulas wabco de descenso automático en 1er eje</li> <li>• 7 neumáticos Michelin 385/65 con llanta de acero</li> </ul>	<p><b>Sistema de frenado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de frenos homologada según directiva CE y reglamento CEPE/ONU</li> <li>• 2 cámaras de freno en 1er eje y 4 actuadores de freno en 2º y 3er eje</li> <li>• Ayuda al antivuelco</li> <li>• Válvulas circuito neumático wabco</li> <li>• EBS wabco E.5.0, 2 sensores/2 moduladores en eje central</li> <li>• 1 calderín de 60 lts y 1 de 40 lts de acero</li> </ul>
<p><b>Luces</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema eléctrico a 24V con 2 conexiones de 7 polos ISO 1185 y 3731 estanco</li> <li>• Grupo óptico trasero de 7 cámaras con triángulo incorporado</li> <li>• Chapas traseras central y soporte pilotos en Inox. AISI 304</li> </ul>		

## A.2 Equipo frigorífico Vector 1550

**Versátil, respetuoso con el medio ambiente y rentable**



### SUMISIÓN

¿Requiere su misión el transporte de largas distancias con temperatura controlada y distribución con apertura frecuente de las puertas?  
¿Está trabajando para reducir su huella medioambiental?

### NUESTRA SOLUCIÓN

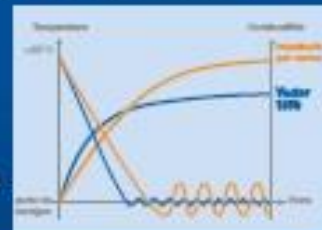
El equipo Vector 1550 combina la tecnología patentada E-Drive™ con un economizador: una tecnología de alto rendimiento, eficiente y sostenible.  
Listo para superar una amplia variedad de retos logísticos, presenta una capacidad equilibrada de bajos costes de explotación de 14 995 vatios, y reduce significativamente la huella medioambiental.

DISPONIBLE EN



### MEJOR CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Con una capacidad de 14 995 vatios, el consumo de combustible se reduce significativamente.



### MÁXIMO TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO

La tecnología E-Drive™ patentada elimina 17 piezas sometidas a desgaste o roturas para mejorar la fiabilidad y aumentar el tiempo de funcionamiento hasta el 99,4%.

### TECNOLOGÍA SOSTENIBLE

Con menos juntas y piezas de desgaste, la tecnología E-Drive™ eléctrica combinada con un compresor hermético, ayuda a reducir significativamente las fugas de refrigerante, frente a la tecnología impulsada por correa.



### TECNOLOGÍA

La tecnología E-Drive™ elimina las transmisiones mecánicas de la tecnología impulsada por correa, transformando la potencia del motor en electricidad.

### TECNOLOGÍA

El equipo Vector 1550 incorpora tecnología E-Drive™. Gracias al aumento de la capacidad que proporciona el economizador, el tamaño del compresor es más pequeño, permitiendo a su vez el funcionamiento con un motor muy reducido.





A.3 Propiedades del Aire como Gas Ideal

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478

## A.4 Equipo Frigorífico Xarios 350-05 / MXS 1100

El **XARIOS 350** es una unidad polea-motor especialmente diseñada para la distribución de productos frescos y ultracongelados en utilitarios de tamaño mediano con volúmenes de caja de hasta 32 m<sup>3</sup>.

Caracterizado por una estética aerodinámica y un evaporador extraplano que permite cargar hasta 200 mm del techo, el **XARIOS 350** garantiza unos rendimientos y una fiabilidad inigualables a los vehículos de distribución urbana.

- ▶ Rendimientos optimizados para una mejor protección de las mercancías.
- ▶ Un caudal del aire extremadamente elevado para mantener una calidad y una frescura constantes en toda la caja.
- ▶ Rápida bajada de temperatura (pulldown) ideal para la distribución urbana.
- ▶ Un sistema de mando por microprocesador con mando cabina hace más fácil y seguro su funcionamiento.



- ▶ La rápida instalación y el fácil mantenimiento contribuyen a reducir el coste de explotación.
- ▶ Innovaciones que respetan el medio ambiente.
- ▶ Gran surtido de kits de montaje aprobados por los fabricantes de coches.



### ■ Condensador

**Medidas**  
1 125 x 505 x 238 mm

**Peso**  
Ruta 8, Red eléctrica: 84 kg  
Ruta: 41 kg

### ■ Capacidad de refrigeración (ruta)

0 °C / + 30 °C: 3300 W  
- 20 °C / + 30 °C: 1900 W  
Temperatura ambiente de + 30 °C  
(según el procedimiento ATP)

### ■ Caudal del aire

1500 m<sup>3</sup>/h



### ■ Evaporador extraplano MXS 1100

**Medidas:** 1 100 x 614 x 104 mm  
**Peso:** 29 kg

### Modelo S

Refrigerante HFC R404A  
Panel de control multifunciones  
Evaporador extraplano  
Sistema de descarga por gas caliente  
Contadores de hora para modo Ruta 8  
Red eléctrica\*  
Funcionamiento en vehículos con 12VDC y 24VDC  
Capacidad para temperaturas ambientes elevadas  
Funcionamiento en modo Ruta o Ruta 8  
Red eléctrica

### Características eléctricas

Compresor para funcionamiento con Red eléctrica\*  
Conexiones remotas\*  
Funcionamiento monofásico y trifásico\*

### Dispositivos de seguridad

Mecanismo de seguridad para el ensamblaje de la calandra  
Protección térmica (transformador, puente de diodos)\*  
Presostato para presión alta y baja del refrigerante  
Configuración de instalación segura

### Elementos de control

Sistema de control por microprocesador  
Descarga manual y automático  
Pantalla digital: Temperatura en °C o °F  
para: punto de consigna, aire de retorno,  
datos, parámetros de configuración,  
contadores de horas\* y alarmas

### Modelo T: Accesorios adicionales

Sistema de calefacción de gran potencia  
por gas caliente

### Equipamientos adicionales

Kit de montaje del compresor para modo  
Ruta  
Compresor para modo Ruta

### Accesorios

Calentador para el agua de drenaje en  
aplicaciones de ultracongelación  
Alargador del cable de conexión para una  
instalación flexible del evaporador  
Sensor de apertura de las puertas  
Kit pes montaje de la unidad embudada en  
el techo  
Kit pes montaje en el techo

\* versión Ruta y Red eléctrica



A.5 Ensayo equipo Frigorífico Xarios 350-05 / MXS 1100

**VALEURS INTERPOLEES DE LA PUISSANCE FRIGORIFIQUE UTILE EN  
FONCTION DE LA TEMPERATURE MOYENNE D'AIR A L'ENTREE DE  
L'EVAPORATEUR:**

*INTERPOLATED VALUES OF THE EFFECTIVE REFRIGERATION CAPACITY AS A  
FUNCTION OF THE MEAN TEMPERATURE INLET TO EVAPORATOR*

**XARIOS 350-05 / MXS 1100**

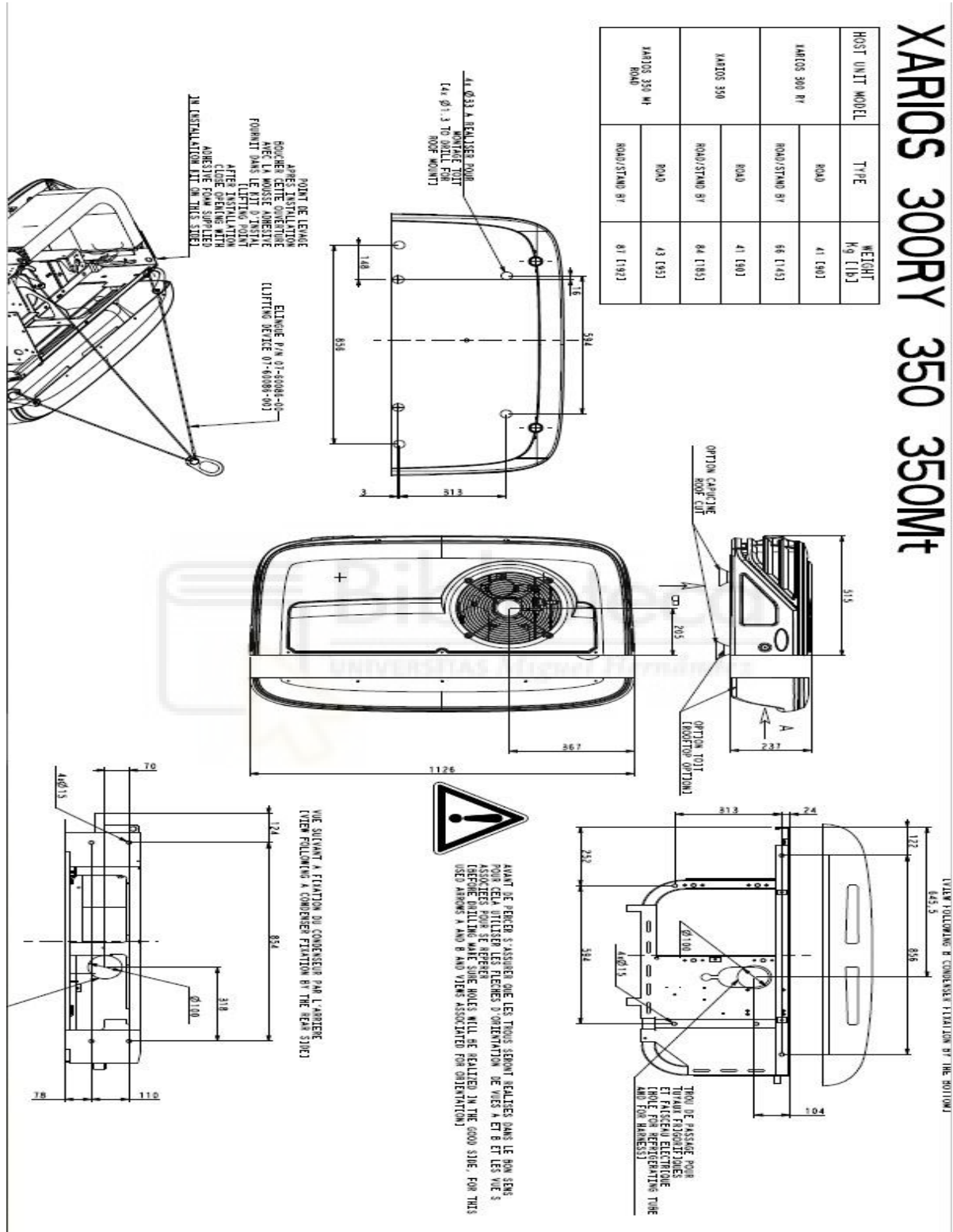
Température moyenne d'air à l'entrée de l'évaporateur <i>Mean temperature inlet to evaporator</i> (°C)	Puissance frigorifique utile <i>Refrigerating capacity (Wo)</i>  (W)
Avec entraînement thermique (Grande vitesse) <i>with engine driven (High speed)</i>	vitesse nominale <sup>1</sup> <i>Nominal speed</i> (2400 tr/min)
-20 °C	2083 W
-10 °C	2799 W
0 °C	3730 W
Avec entraînement thermique (Petite vitesse) <i>with engine driven (Low speed)</i>	vitesse minimale <sup>1</sup> <i>Minimal speed</i> (1000 tr/min)
-20 °C	1398 W
-10 °C	2124 W
0 °C	2845 W
Avec entraînement secteur <i>with electric standby</i>	vitesse nominale <sup>1</sup> <i>Nominal speed</i> (/ tr/min)
-20 °C	1173 W
-10 °C	1669 W
0 °C	2508 W

*Fait à ANTONY le 16 Avril 2013*

*Le responsable du Laboratoire des essais  
des groupes frigorifiques*

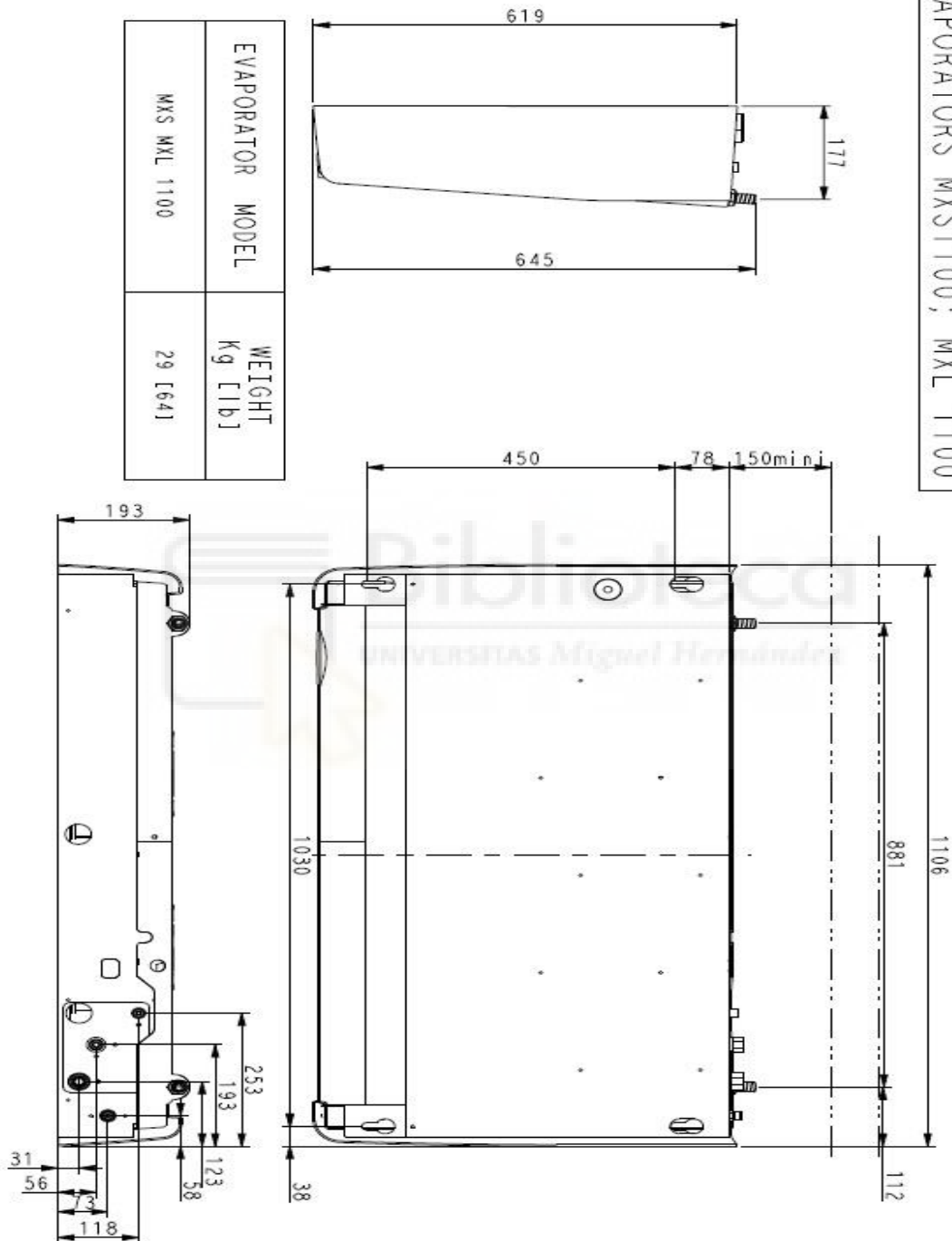
# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

## A.6 Plano Xarios 350-05



A.7 Plano MXS 1100

EVAPORATORS MXS1100; MXL 1100



EVAPORATOR MODEL	WEIGHT Kg [lb]
MXS MXL 1100	29 [64]

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

## A.8 Ficha Técnica paneles Fotovoltaicos SZ-180-36MFE 180W 12V

### Monocrystalline Solar panels



- Top Grade Imported Material Made from Top-Grade
- Monocrystalline cells with up to 17.7% efficiency
- The laminating material that we use is Anti-Seawater-Corrosion, and especially suitable for building Marine Solar Panels; for use on seacraft – boats, yachts, etc.
- The Flexible Solar Panels provide a certain versatility that just cannot be achieved by Glass Solar Panels. Their lightweight and flexible characteristics provide seamless integration onto your vehicle.
- Seacraft: Boats, Yachts, Cruisers, and houseboats.
- Land Vehicles: Caravans, RVs, Motorhomes, Trailers, 4x4, etc.
- Aluminum ETFE Flexible Solar Panel
- PET Laminated ETFE Flexible Solar Panel
- Assembled from an Aluminum Back Sheet and PET laminated Solar Cells.



Model	Description	Weight Kg	Electrical data under STC (1)				
			Nominal Power PMPP W	Max-Power Voltage VMPP V	Max-Power Current IMPP A	Open-Circuit Voltage VOC V	Short-Circuit Current ISC A
			SZ-100-33MFE	12V-MONO-FLEXIBLE-ETFE 515mm*1225mm*3mm	3.5	100	16.7
SZ-110-33MFE	12V-MONO-FLEXIBLE-ETFE 515mm*1225mm*3mm	3.5	110	16.7	6.59	19.7	7.09
SZ-120-40MFE	12V-MONO-FLEXIBLE-ETFE 670mm*1120mm*3mm	4.0	120	20.02	6.04	23.75	6.61
SZ-150-36MFE	12V-MONO-FLEXIBLE-ETFE 670mm*1510mm*3mm	6.2	150	18.2	8.24	21.5	8.77
SZ-160-36MFE	12V-MONO-FLEXIBLE-ETFE 670mm*1510mm*3mm	6.2	160	18.2	8.79	21.5	9.31


Model	SZ-100-33MFE	SZ-110-33MFE	SZ-120-40MFE	SZ-150-36MFE	SZ-160-36MFE	SZ-180-36MFE
Nominal Power (±3% tolerance)	100W	110W	120W	150W	160W	180W
Cell type	Monocrystalline					
Number of cells in series	33	33	40	36	36	36
Maximum system voltage (V)	100V					
Temperature coefficient of PMPP (%)	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C
Temperature coefficient of Voc (%)	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C
Temperature coefficient of Isc (%)	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.05/°C	+0.037/°C
Temperature Range	-40°C to +85°C					
Surface Maximum Load Capacity	120 kg/m <sup>2</sup>					
Allowable Hall Load	100 kg/m <sup>2</sup>					
Length of Cables / Connector Type	20 m/s, 6 g					
Output tolerance	+3%					
Product warranty	5 years					
Smallest packaging unit	1 panel individual					

1) STC (Standard Test Conditions): 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM (Air Mass) 1.5



A.9 Ficha Técnica Inversor Axpert MKS III

## Axpert MKS III Off-Grid Inverter



- Pure sine wave solar inverter
- Detachable LCD control module with multiple communications
- Wide DC input range
- Built-in Bluetooth for mobile monitoring (Android App is available)
- Supports USB On-the-Go function
- Reserved communication port for BMS (RS485)
- Smart battery charger design for optimized battery performance
- Battery independent function
- Parallel operation up to 9 units

### Axpert MKS III Off-Grid Inverter Specification

MODEL	Axpert MKS III 5000-48
Rated Power	5000VA/5000W
<b>INPUT</b>	
Voltage	230 VAC
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) 90-280 VAC (For Home Appliances)
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
<b>OUTPUT</b>	
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230 VAC ± 5%
Overload capacity	5s @ ≥150% load; 10s @ 110%~150% load; 100ms @ ≥200% load
Efficiency (Peak)	93 %
Transfer Time	15 ms (For Personal Computers) 20 ms (For Home Appliances)
Waveform	Pure sine wave
<b>BATTERY</b>	
Battery Voltage	48 VDC
Floating Charge Voltage	54 VDC
Overcharge Protection	66 VDC
<b>SOLAR CHARGER &amp; AC CHARGER</b>	
Solar Charger Type	MPPT
Maximum PV Array Power	5000 W
MPPT Range @ Operating Voltage	120 ~ 430 VDC
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	450 VDC
Maximum Solar Charge Current	80 A
Maximum AC Charge Current	80 A
<b>PHYSICAL</b>	
Dimension, D x W x H (mm)	140 x 295 x 468
Net Weight (kgs)	12.0
Communication Interface	USB, RS232, RS485, Bluetooth
<b>ENVIRONMENT</b>	
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)
Operating Temperature	-10°C to 50°C
Storage Temperature	-15°C to 60°C

Product specifications are subject to change without further notice.

## A.10 Acumulador BYD LVS 8.0

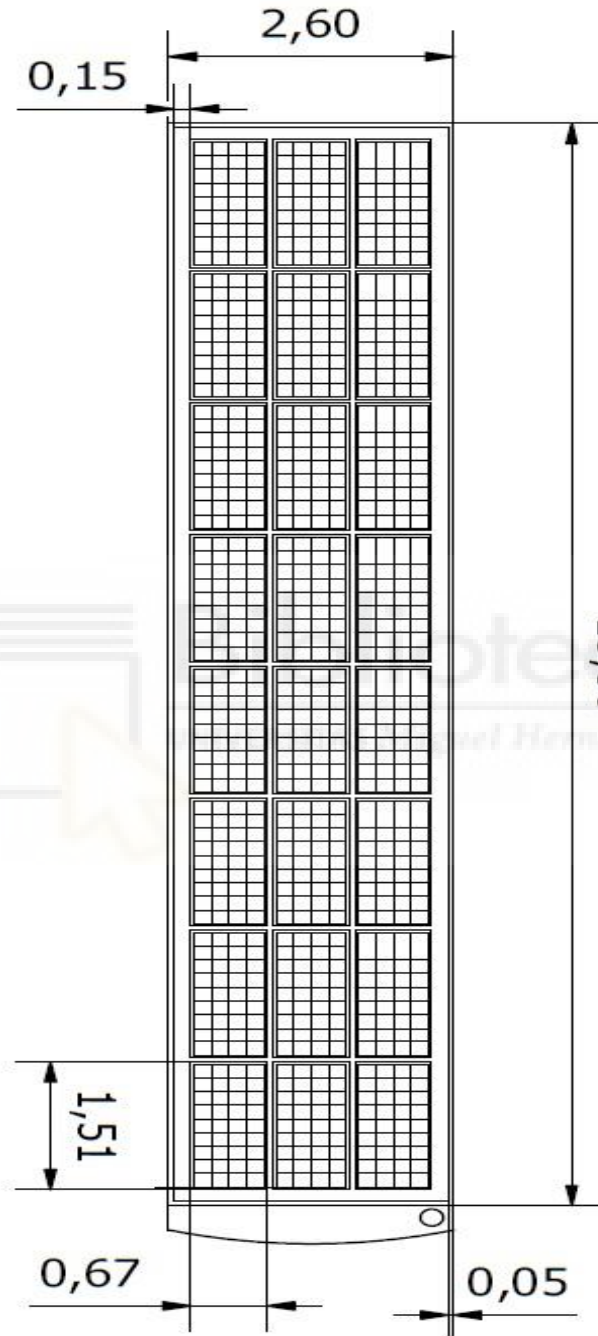
### BATTERY-BOX PREMIUM LVS

- Escalable desde 4 kWh hasta 256 kWh
- Máxima Flexibilidad para cualquier Aplicación que permite Conexión en Paralelo de has 64 módulos
- Compatible con Inversores Líderes en el Mercado Mono y Trifásicos
- Libre de Cobalto. Litio Fosfato de Hierro (LFP): Máxima Seguridad, Ciclos de Vida y Potencia
- Capacidad Back-Up de Alta Potencia y trabajar Off-Grid
- Diseño Pulgín Patentado sin cables internos
- Óptima para Aplicaciones Residenciales y Comerciales



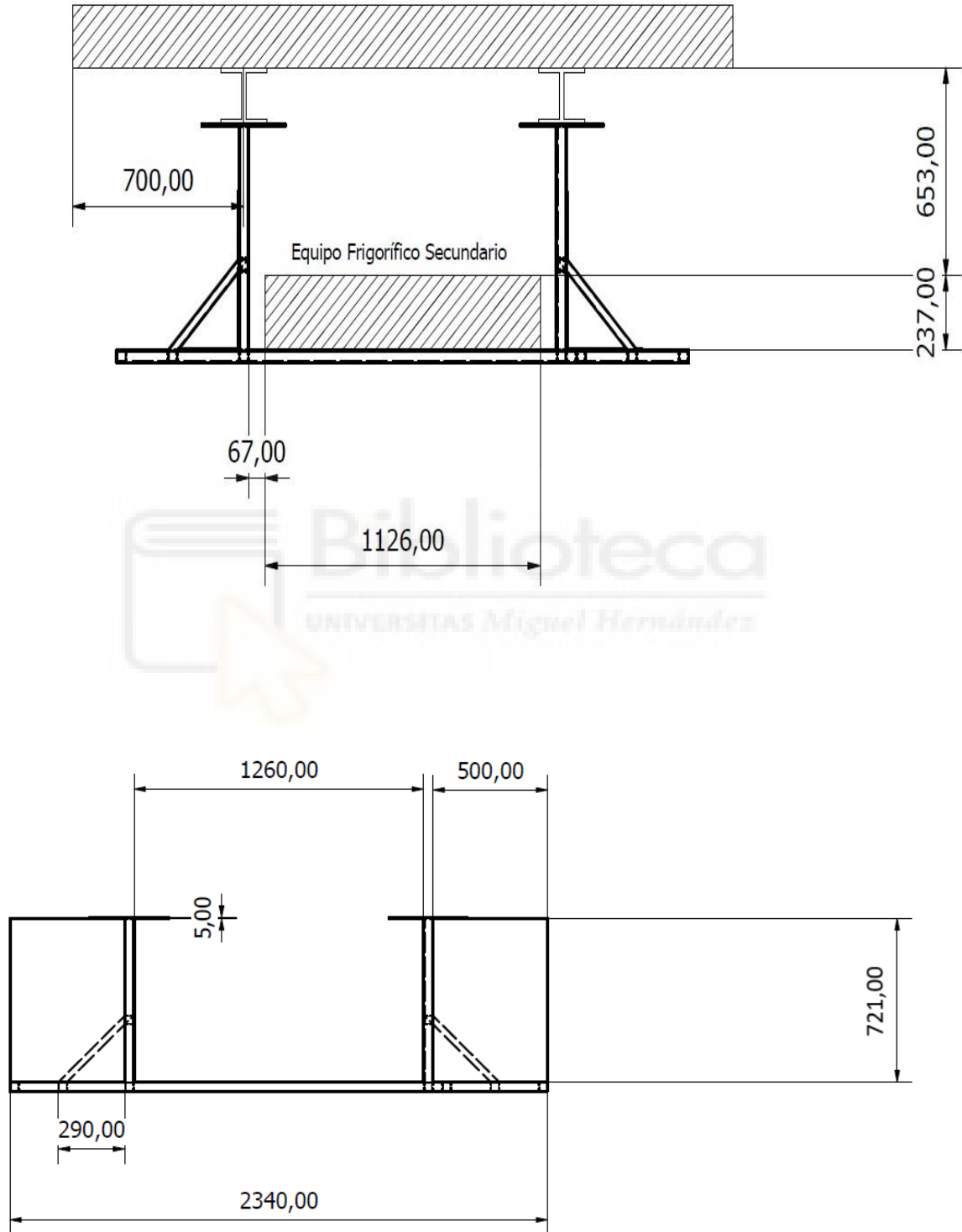
	LVS 4.0	LVS 8.0	LVS 12.0	LVS 16.0	LVS 20.0	LVS 24.0
Módulo	LVS (4 kWh, 51.2 V, 45 kg)					
Número de módulos	1	2	3	4	5	6
Energía Utilizable [1]	4 kWh	8 kWh	12 kWh	16 kWh	20 kWh	24 kWh
Máx. Corriente de Salida [2]	65 A	130 A	195 A	250 A	250 A	250 A
Corriente de salida pico [2]	90 A, 5 s	180 A, 5 s	270 A, 5 s	360 A, 5 s	360 A, 5 s	360 A, 5 s
Dimensiones (H/W/D)	478 x 650 x 298 mm	711 x 650 x 298 mm	944 x 650 x 298 mm	1177 x 650 x 298 mm	1410 x 650 x 298 mm	1643 x 650 x 298 mm
Peso	64 kg	109 kg	154 kg	199 kg	244 kg	289 kg
Voltaje Nominal	51.2 V					
Voltaje Operativo	40-57.6 V					
Temperatura Operativa	-10 °C to +50°C					
Tecnología de Celda	Litio Fosfato de Hierro (libre de Cobalto)					
Comunicación	CAN / RS485					
Protección IP	IP55					
Eficiencia Ida/Vuelta	≥95%					
Escalabilidad [3]	Máx. 64 en paralelo (256 kWh)				configuración una torre	
Certificados	VDE2510-50 / IEC62619 / CE / CEC / UN38.3					
Aplicaciones	ON Grid / ON Grid + Backup / OFF Grid					
Garantía [4]	10 Años					
Inversores Compatibles	Consulte la Lista de Configuración Mínima de Battery-Box Premium LVS					

A.11 Planos Paneles fotovoltaicos en el semirremolque frigorífico.

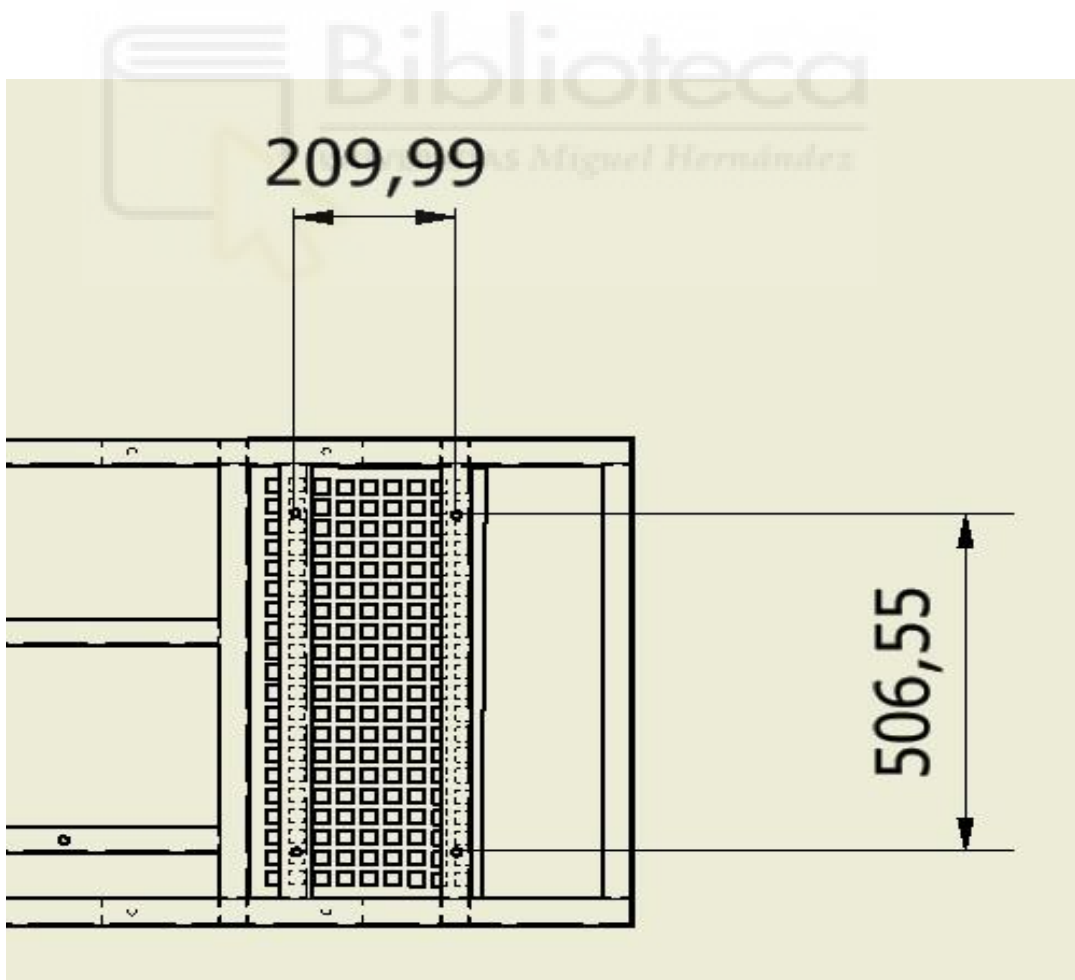
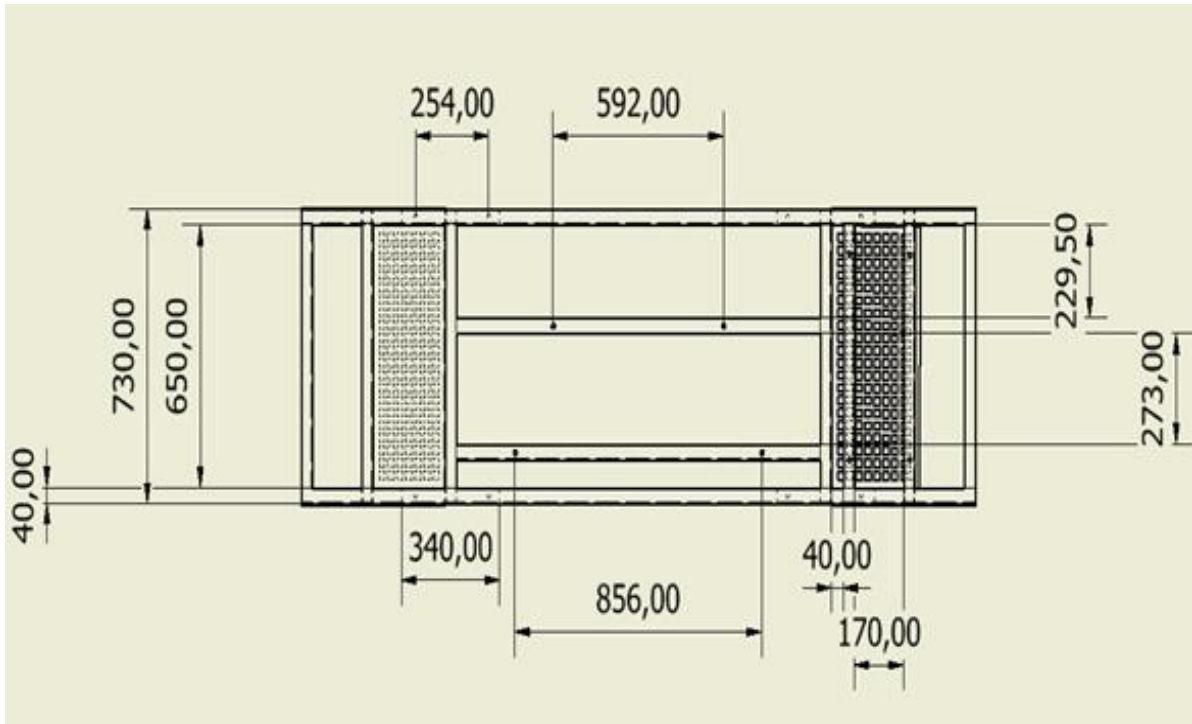


# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

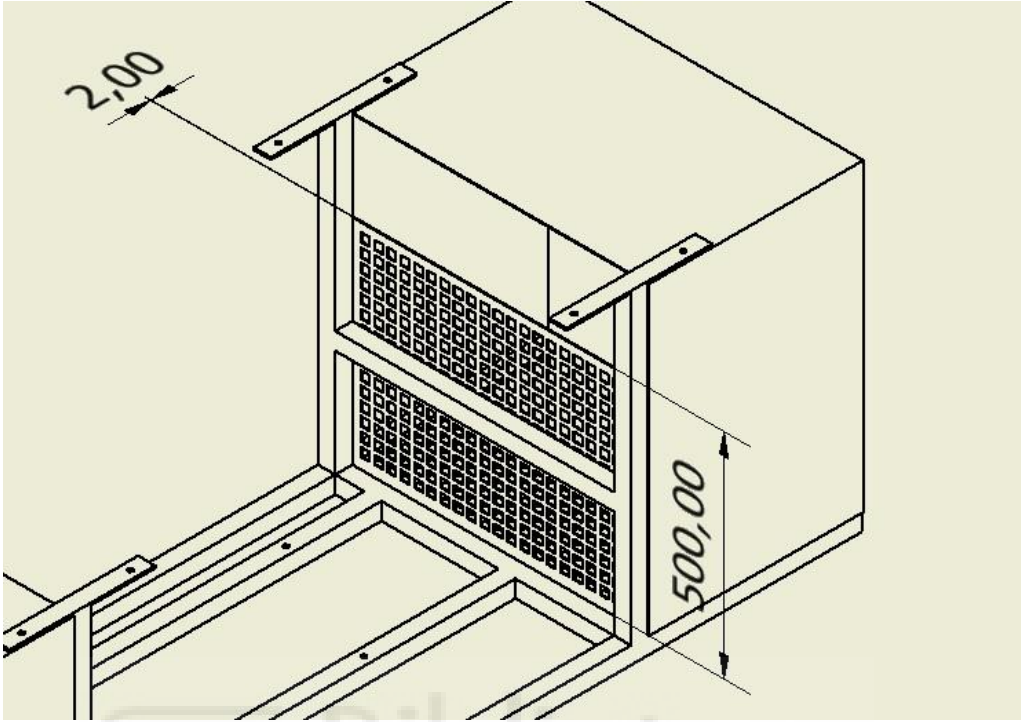
## A.12 Croquis estructura de soporte Inversor, Acumulador y Condensador Compresor.







DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE APOYO  
PARA UN SEMIRREMOLQUE FRIGORÍFICO

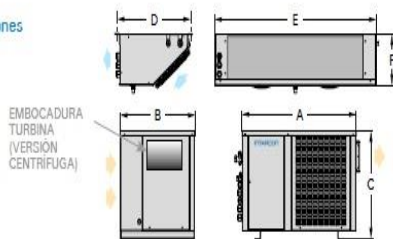


A.12 Equipo frigorífico Intarsplit MSH-NY-22 053

230 V-I-50 Hz / 400 V-III-50 Hz | **Media temperatura** | R-134a / R-449A

Versión axial	Compresor		Potencia frigorífica / Volumen cámara, según temperatura de cámara (1)						Potencia Intens. absorb. nominal (kW)	Potencia Intens. máxima absorb. (A)	Caudal evap. (m³/h)	Conexión frigorífica Liq - Gas	Carga refrig. (kg) (2)	Peso (kg)	Nivel presión sonora dB(A) (3)	PVP (€)	Versión centrífuga			
			0 °C		5 °C		10 °C										Serie / Modelo	Caudal eond. (m³/h)	P.E.D. (mmca) (4)	PVP (€)
			W	m³	W	m³	W	m³												
R-134a	MSH-NY-00 010	3/8	230 V-I	643	5,1	788	8,5	945	13	0,46	4,6	300	1/4"-3/8"	< 1,5	37+12	31	MSH-CY-00 010	375	8	
	MSH-NY-00 015	1/2	230 V-I	832	7,2	1 010	10	1 193	19	0,56	5,6	300	1/4"-3/8"	< 1,5	40+12	29	MSH-CY-00 015	375	8	
	MSH-NY-11 015	1/2	230 V-I	988	8,2	1 220	12	1 474	23	0,58	5,6	550	1/4"-1/2"	< 1,5	41+16	30	MSH-CY-11 015	575	8	
	MSH-NY-11 026	3/4	230 V-I	1 250	12	1 533	16	1 827	30	0,82	9,3	550	1/4"-1/2"	< 1,5	48+16	34	MSH-CY-11 026	575	8	
	MSH-NY-11 033	1	230 V-I	1 481	16	1 790	24	2 116	41	0,93	9,5	550	1/4"-1/2"	< 1,5	50+16	34	MSH-CY-11 033	575	8	
	MSH-NY-22 033	1	230 V-I	1 922	23	2 368	36	2 846	60	1,06	10,0	1 050	1/4"-5/8"	< 2,0	53+24	35	MSH-CY-22 033	1 000	12	
	MSH-NY-22 053	1 1/2	230 V-I *	2 363	31	2 882	48	3 455	73	1,45	12,6	1 050	1/4"-5/8"	< 2,0	63+24	39	MSH-CY-22 053	1 000	12	
	MSH-NY-33 053	1 1/2	230 V-I *	2 688	40	3 318	63	4 069	100	1,55	13,2	1 725	1/4"-3/4"	< 3,5	82+45	39	MSH-CY-33 053	1 500	14	
	MSH-NY-33 074	2	230 V-I *	3 518	47	4 347	71	5 198	110	1,93	17,2	1 725	1/4"-3/4"	< 3,5	84+45	39	MSH-CY-33 074	1 500	14	
	MSH-NY-43 086	4	400 V-III	4 379	66	5 366	100	6 421	165	2,39	14,9	1 725	3/8"-7/8"	< 5,0	107+55	49	MSH-CY-43 086	3 500	10	
	MSH-NY-44 108	5	400 V-III	5 628	88	6 888	140	8 274	220	3,05	19,2	3 100	3/8"-7/8"	< 5,0	109+55	50	MSH-CY-44 108	3 500	10	
	MSH-NY-44 136	6 1/2	400 V-III	6 862	115	8 311	170	9 881	280	3,77	23,2	3 100	3/8"-1 1/8"	< 5,5	112+55	50	MSH-CY-44 136	3 500	10	
	R-449A	MSH-NG-0 008	1/3	230 V-I	758	5,1	900	8,5	1 071	13	0,47	5,1	300	1/4"-3/8"	< 1,5	38+12	32	MSH-CG-0 008	375	8
		MSH-NG-0 010	3/8	230 V-I	893	6,1	1 042	10	1 223	15	0,58	4,8	300	1/4"-3/8"	< 1,5	40+12	30	MSH-CG-0 010	375	8
MSH-NG-0 012		1/2	230 V-I	980	7,2	1 135	12	1 324	19	0,65	5,6	300	1/4"-3/8"	< 1,5	41+12	32	MSH-CG-0 012	375	8	
MSH-NG-1 014		1/2	230 V-I	1 100	10	1 313	16	1 564	26	0,79	6,7	550	1/4"-1/2"	< 1,5	44+16	32	MSH-CG-1 014	575	8	
MSH-NG-1 016		5/8	230 V-I	1 216	12	1 451	18	1 734	30	0,85	7,6	550	1/4"-1/2"	< 1,5	53+16	34	MSH-CG-1 016	575	8	
MSH-NG-1 018		3/4	230 V-I	1 404	14	1 653	22	1 954	35	1,00	8,9	550	1/4"-1/2"	< 1,5	54+16	35	MSH-CG-1 018	575	8	
MSH-NG-1 024		1	230 V-I	1 528	16	1 811	24	2 140	41	1,01	11,1	550	1/4"-1/2"	< 1,5	54+16	35	MSH-CG-1 024	575	8	
MSH-NG-2 024		1	230 V-I	2 020	23	2 424	36	2 896	60	1,27	11,6	1 050	1/4"-1/2"	< 1,5	65+24	36	MSH-CG-2 024	1 000	12	
MSH-NG-2 026		1 1/4	230 V-I *	2 230	26	2 640	41	3 131	64	1,36	12,0	1 050	1/4"-1/2"	< 1,5	66+24	36	MSH-CG-2 026	1 000	12	
MSH-NG-2 034		1 1/2	230 V-I *	2 543	31	2 985	48	3 516	73	1,80	16,6	1 050	1/4"-5/8"	< 1,5	66+24	40	MSH-CG-2 034	1 000	12	
MSH-NG-3 034		1 1/2	230 V-I *	3 091	40	3 674	63	4 364	100	1,67	17,0	1 725	1/4"-5/8"	< 3,5	74+45	39	MSH-CG-3 034	1 500	14	
MSH-NG-3 038		1 3/4	400 V-III	3 459	47	4 060	71	4 786	110	1,53	7,8	1 725	1/4"-5/8"	< 4,0	71+45	40	MSH-CG-3 038	1 500	14	
MSH-NG-4 048		2	400 V-III	4 494	66	5 350	98	6 358	155	2,61	10,5	1 725	3/8"-3/4"	< 5,5	95+45	41	MSH-CG-4 048	3 500	10	
MSH-NG-4 054		2 1/2	400 V-III	4 949	74	5 847	110	6 916	170	2,80	11,0	1 725	3/8"-3/4"	< 5,5	96+45	41	MSH-CG-4 054	3 500	10	

Dimensiones



Dimensiones (mm)	A	B	C	D	E	F	Ventiladores Evaporador	Embocadura turbina
serie 0 y 00	600	395	355	400	520	150	1x Ø 172	185 x 115
serie 1 y 11	665	435	416	430	600	200	1x Ø 200	185 x 115
serie 2 y 22	835	435	500	430	950	200	2x Ø 200	230 x 130
serie 3 y 33	925	580	515	508	1 650	200	3x Ø 254	236 x 268
serie 4 y 43	1 000	615	585	508	1 650	200	3x Ø 254	305 x 268
serie 44	1 000	615	585	544	2 020	285	4x Ø 300	305 x 268

www.intarcon.com



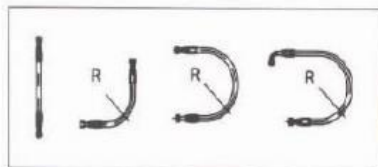
## A.13 Instrucciones de montaje, canalizaciones equipo de refrigeración

### GENERAL INSTALLATION RECOMMENDATION

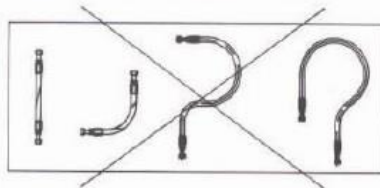
#### HOSES: MOUNTING

1

OK



NOT OK



5

• Minimum curve radius R	
• Module 6	Radius 80mm
• Module 8	Radius 95mm
• Module 10	Radius 110mm
• Module 12	Radius 130mm

1. Do not twist or curve the hoses.
2. Keep enough length for movement when the pipes are under pressure.
3. Pipes length can vary between -2% to +4%.
4. Using elbows and fittings make the installation easier and increase hose life.
5. Always insure that minimum radius are respected. Provide a radius as large as possible to avoid a restriction in the hose.

9

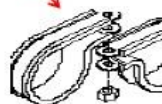
UTC Climate, Controls & Security  
PROPRIETARY

62-61661-00 Rev F  
26th July 2017

### GENERAL INSTALLATION RECOMMENDATION

#### BOX: HARNESS & HOSE

1



2



1. **Anti thermal bridge method**  
By migration and fixing of the refrigeration lines, please avoid when it's possible the contact between both H.P and L.P lines (to reduce heat transfer phenomenon)
2. **Fixing and protecting the lines and harnesses from the inside and the outside of the partition**
  - To protect the refrigeration lines and the electrical harnesses, use trunking
  - Secure the lines with clamps (RSGU)
  - Secure the trunking with rivnuts, protect the trunking termination with conduit

10

UTC Climate, Controls & Security  
PROPRIETARY

62-61661-00 Rev F  
26th July 2017

Imprimir archivo (Ctrl+P)

## GENERAL INSTALLATION RECOMMENDATION

### BOX: HARNESS & HOSE



Pipes under the vehicle :

Refrigeration lines have to be :

- Fixed at regular intervals with rubber clamps
- Kept away as far as possible from each other to prevent heat transfer
- Kept away from any heat source
- Protected by grommets (Insulation) where they pass through the vehicle bodywork