



# DESARROLLO DE UN EQUIPO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN CICLO DE COMPRESIÓN DE VAPOR

---

Autor: David Conesa Sorolla

Tutor: Daniel Sánchez García-Vacas

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Abril 2018



# DESARROLLO Y MONTAJE DE UN EQUIPO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN CICLO DE COMPRESIÓN DE VAPOR

Autor: David Conesa Sorolla

Tutor: Daniel Sánchez García-Vacas

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Castellón, Abril 2018

# Índice general

---

## I. Memoria

- Capítulo 1- Introducción y diseño del equipo didáctico de refrigeración basado en ciclo de compresión de vapor
- Capítulo 2- Diseño y cálculo instalación frigorífico
- Capítulo 3- Diseño y cálculo del sistema de adquisición de datos y esquema eléctrico
- Capítulo 4- Montaje y arranque del conjunto
- Capítulo 5- Análisis de resultados, conclusiones y posibles mejoras

## II. Anexo

## III. Pliego de condiciones

## IV. Presupuesto

## V. Planos

# Índice de la memoria

Capítulo 1 - Introducción y diseño del equipo didáctico de refrigeración basado en ciclo de compresión de vapor .....	11
1.1 Antecedentes .....	11
1.2 Objetivo del proyecto.....	13
1.3 Alcance .....	13
1.4 Análisis equipos didácticos comerciales.....	14
1.4.1 GUNT HAMBURG - ET350 .....	14
1.4.2 GUNT HAMBURG – ET101.....	15
1.4.3 GUNT HAMBURG – ET411C .....	17
1.4.4 EDIBON - TCRB .....	19
1.4.5 Conclusiones de los equipos comerciales.....	21
1.5 Bibliografía .....	21
Capítulo 2 - Diseño y cálculo instalación frigorífica.....	23
2.1 Introducción .....	24
2.2 Componentes principales del sistema de compresión simple.....	24
2.3 Diseño del equipo .....	29
2.4 Cálculos y dimensionado de la instalación frigorífica.....	30
2.5 Elección de los elementos del sistema frigorífico.....	34
2.5.1 Elección del compresor .....	34
2.5.2 Dimensionamiento y elección del condensador y evaporador .....	36
2.5.3 Dimensionamiento y elección de la válvula de expansión .....	36
2.5.4 Dimensionamiento del depósito acumulador de líquido .....	37
2.5.5 Estimación del volumen de carga de refrigerante .....	37
Capítulo 3 - Diseño y cálculo del sistema de adquisición de datos y esquema eléctrico	39
3.1 Diseño del sistema de medida.....	40
3.2 Diseño y elección componentes sistema de adquisición y medida.....	41
3.2.1 Sensor DHT22 .....	42
3.2.2 Sensor de temperatura 18b20 .....	42
3.2.3 Sonda de presión Johnson Controls P 499 .....	43
3.2.4 Arduino Mega 2560 R3 .....	43

3.3	Componentes auxiliares del sistema de medida .....	45
3.3.1	Pantalla LCD 20x4 .....	45
3.4	Elección componentes auxiliares .....	46
3.4.1	Ventilador radial 24V RL48-19/14.....	46
3.4.2	Tira de LED RS Pro, 1m, Blanco, 5500 .....	47
3.5	Diseño del sistema eléctrico .....	48
3.6	Sistema de adquisición de datos .....	49
3.6.1	Calibración sonda de presión y funcionamiento.....	49
3.6.2	Funcionamiento LCD .....	52
3.6.3	Funcionamiento sensor humedad .....	53
3.6.4	Funcionamiento sensor de temperatura .....	53
3.7	Programación sistema adquisición.....	54
3.7.1	Estructura de un sketch.....	54
3.7.2	Programación.....	56
Capítulo 4	- Montaje y arranque del conjunto .....	61
4.1	Montaje .....	62
4.1.1	Estructura (dimensiones basadas en el intercambiador y el compresor) ..	62
4.1.2	Montaje compresor, evaporador y condensador.....	64
4.1.3	Montaje tuberías, depósito separador de aceite y válvula de retorno .....	66
4.1.4	Montaje de manómetros, sondas de presión, filtro, visores y válvula de expansión .....	66
4.1.5	Montaje electrónica y sistema de adquisición .....	68
4.2	Carga del refrigerante y arranque del sistema .....	69
Capítulo 5	- Análisis de resultados, conclusiones y posibles mejoras .....	73
5.1	Datos experimentales .....	74
5.2	Conclusiones y posibles mejoras .....	78

# Índice de figuras

---

Ilustración 1- Equipo comercial GUNT HAMBURG ET 350.....	14
Ilustración 2- Equipo comercial GUNT HAMBUR ET 101.....	15
Ilustración 3 - Equipo comercial GUNT HAMBUR ET 411C.....	17
Ilustración 4 - Equipo comercial EDIBON TCRB.....	19
Ilustración 5 - Esquema ciclo compresión simple.....	24
Ilustración 6 - Imagen compresor Embraco.....	25
Ilustración 7 - Imagen intercambiador de cristal borosilicatado.....	26
Ilustración 8 - Depósito acumulador de líquido.....	26
Ilustración 9 - Visor líquido.....	27
Ilustración 10 - Válvula de expansión variable.....	28
Ilustración 11 - Intercambiador de cristal.....	28
Ilustración 12 - Esquema ciclo compresión simple ideal.....	30
Ilustración 13 - Potencia Consumida frente a las temperaturas de condensación y evaporación.....	32
Ilustración 14 - Potencia frigorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación.....	32
Ilustración 15 - COP frente a la temperaturas de condensación y evaporación.....	33
Ilustración 16 - Potencia calorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación.....	33
Ilustración 17 - Diagrama Presión-Entalpía R600a del ciclo sacado del EES para 0°C en el evaporador y 35°C en el condensador.....	34
Ilustración 18 - Compresor Embraco EMT 30CDP.....	35
Ilustración 19 - Dimensiones Válvula variable Swagelok SS-6L-MM.....	36
Ilustración 20 - Válvula de expansión variable Swalok SS-6L-MM.....	37
Ilustración 21 - Distintos tipos de placa Arduino.....	41
Ilustración 22-Imagen DHT 22.....	42
Ilustración 23 - Sonda de temperatura 18b20.....	42
Ilustración 24 - Johnson Controls P 499.....	43
Ilustración 25 - Arduino Mega 2560 R3.....	44
Ilustración 26- Pantalla LCD 20x4.....	45
Ilustración 27 - Módulo LCD PCF8574.....	46
Ilustración 28 - Ventilador Radial RL48-19/14.....	46
Ilustración 29 - LED para iluminar los intercambiadores.....	47
Ilustración 30 - Esquema de los elementos necesarias para el transformador a 15 VDC y el de 24VAC.....	48
Ilustración 31 - Imagen del programa BenchLink Data.....	50
Ilustración 32 - Gráfica calibración sonda presión 1.....	51
Ilustración 33 - Gráfica calibración sonda presión 2.....	51

Ilustración 34 - Imagen de la LCD mostrando los valores .....	52
Ilustración 35 - Conexión DHT22 en Arduino Mega.....	53
Ilustración 36 - Conexión 3 sondas DS18B20 por una entrada en Arduino UNO.....	54
Ilustración 37 - Imagen IDE Arduino.....	55
Ilustración 38 - Diseño en 3D de la estructura de acero.....	63
Ilustración 39 - Estructura de acero.....	64
Ilustración 40 - Imagen colocación compresor, evaporador y condensador .....	65
Ilustración 41 - Colocación y medición del depósito y la válvula.....	66
Ilustración 42 - Imagen de la colocación de los visores, deposito intermedio, filtro, sensor de presión, válvula de expansión y manómetro.....	67
Ilustración 43 - Imagen 3D del metacrilato donde se coloca las LCD y los reguladores.....	68
Ilustración 44 - Imagen de las 2 LCD, lo reguladores de los ventiladores y los interruptores de los LEDS. ....	68
Ilustración 45 - Imagen de la electrónica ya montada.....	69
Ilustración 46 - Imagen de la carga del refrigerante en el circuito .....	70
Ilustración 47 - Montaje final .....	71
Ilustración 48 - Imagen del equipo entrada y salida de los intercambiadores.....	75
Ilustración 49 - Imagen del equipo con los puntos del ciclo .....	76
Ilustración 50 - Diagrama Presión-Entalpía del ciclo sacado del EES.....	78
Ilustración 51 - Esquema ciclo compresión simple.....	80
Ilustración 52-Gráfica con los datos claves del cálculo del ciclo.....	87
Ilustración 53 - Potencia Consumida frente a las temperaturas de condensación y evaporación.....	92
Ilustración 54 - Potencia frigorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación.....	93
Ilustración 55 - COP frente a la temperaturas de condensación y evaporación .....	93
Ilustración 56 - Potencia calorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación.....	94
Ilustración 57 - Diagrama Presión-Entalpía R600a del ciclo sacado del EES para 0°C en el evaporador y 35°C en el condensador .....	94
Ilustración 58 - Circuito 12V.....	95
Ilustración 59 - Circuito 24V.....	98
Ilustración 60 - Circuito 5V.....	103
Ilustración 61 - Circuito 9V.....	106
Ilustración 62 - Circuito 12V.....	109
Ilustración 63 - Esquema del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. ...	115
Ilustración 64 - Esquema del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor .....	115



# Índice de tablas

---

Tabla 1-Datos técnicos equipo comercial GUNT HAMBURG ET 350 .....	15
Tabla 2 - Datos técnicos equipo comercial GUNT HAMBURG ET 101 .....	16
Tabla 3 - Datos técnicos equipo comercial GUNT HAMBUR ET 411C .....	18
Tabla 4 - Datos técnicos equipo comercial EDIBON – TCRB .....	20
Tabla 5 - Tabla datos refrigerantes .....	30
Tabla 6-Rangos de temperaturas del ciclo.....	30
Tabla 7 - Temperaturas del R600a de los distintos casos calculados.....	31
Tabla 8 - Medidas intercambiador DR3-300-001.....	36
Tabla 9 - Datos intercambiador DRO3-300-001 .....	38
Tabla 10 - Datos depósito estándar.....	38
Tabla 11 - Datos tubería cobre del circuito .....	38
Tabla 12 - Valores para acotar el funcionamiento de los sensores.....	41
Tabla 13 - Resumen de los datos de las sondas de medida .....	44
Tabla 14 - Amperajes, tensiones y potencias consumidos por el sistema de sensorización .....	48
Tabla 15 - Dimensiones del compresor e intercambiadores.....	62
Tabla 16 - Dimensiones de la estructura .....	62
Tabla 17 - Presiones experimentales .....	74
Tabla 18 - Datos experimentales del aire de los intercambiadores .....	75
Tabla 19 - Temperaturas refrigerante R600a en distintos puntos del ciclo.....	77
Tabla 20 - Datos de los distintos puntos del ciclo .....	77
Tabla 21 - Resultados del cálculo del ciclo .....	77
Tabla 22 - Rangos de temperaturas del ciclo.....	80
Tabla 23 - Título de vapor de los puntos 1 y 5 .....	80
Tabla 24 - Temperaturas de funcionamiento y recalentamiento útil.....	81
Tabla 25 - Presiones del punto 1 y del punto 5 .....	81
Tabla 26 - Datos para el cálculo del flujo másico .....	85
Tabla 27 - Resultados del cálculo con el EES .....	86
Tabla 28-Datos para el cálculo de las resistencias térmicas.....	89
Tabla 29 - Temperaturas del fluido caliente y del fluido frío para el condensador.....	90
Tabla 30 - Datos para el cálculo del flujo másico .....	91
Tabla 31-Temperaturas del fluido caliente y del fluido frío para el evaporador.....	91
Tabla 32 - Características regulador de tensión MC7812B.....	95
Tabla 33 - Datos Regulador 7805.....	97
Tabla 34 - Características regulador de tensión variable LM317.....	98
Tabla 35- Características salida circuito 24V .....	99
Tabla 36 - Datos Regulador LM317.....	102
Tabla 37 - Características regulador de tensión MC7805B.....	103

Tabla 38 - Datos Regulador 7805.....	105
Tabla 39 - Características regulador de tensión MC7809B.....	106
Tabla 40 - Datos Regulador 7805.....	108
Tabla 41 - Características regulador de tensión MC7812B.....	109
Tabla 42 - Datos Regulador 7805.....	111
Tabla 43 - Tabla con elementos del sistema de compresión simple.....	119
Tabla 44 - Tabla con elementos del sistema de adquisición de datos .....	119
Tabla 45- Presupuesto material equipo refrigeración.....	123
Tabla 46 - Presupuesto sistema de adquisición de datos .....	124
Tabla 47 - Coste personal puesta a punto del sistema .....	124
Tabla 48- Coste total del proyecto.....	124

# Memoria

---

## Capítulo 1 - Introducción y diseño del equipo didáctico de refrigeración basado en ciclo de compresión de vapor

### 1.1 Antecedentes

El empleo de la refrigeración dentro la sociedad actual ha demostrado ser fundamental tanto desde el punto de vista de la conservación de alimentos, la climatización para conseguir condiciones de confort, o directamente dentro de los procesos industriales que requieren la reducción de la temperatura en procesos industriales para su correcto desarrollo.

Dentro de este marco cabe destacar el constante crecimiento del sector de la generación de frío, tanto a nivel nacional como internacional. Dentro del sector de la climatización, a nivel industrial y doméstico, el sector creció una media de 7,74% respecto al año anterior a nivel global. Dentro de este marco también destacar que tanto la regulación como el control del sector correspondiente, creció un 6,33% respecto al año anterior. (*Datos según informe AFEC 2016*).

También se debe comentar la parte medioambiental del mercado de gases utilizados para la refrigeración, en el *35th Informatory Note on Refrigeration Technologies / Nov 2017* destaca que el 7,8% de los gases de efecto invernadero están producidos por el sector de la refrigeración, de los cuales el 37% de las emisiones contaminantes son directas de CFCs, HFCs y HFCs mientras que el 63% está relacionado con emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> principalmente, producto de las emisiones de transportes y generación de energía para la refrigeración.

En el último informe publicado por la consultora Zion Market Research titulado “*Equipos de refrigeración para producción y procesamiento de alimentos, producción de bebidas, químicos y farmacéuticos, energía y aplicaciones petroquímicas 2015-2021*”, por encima de todo destacan las cifras: la demanda mundial de equipos de frío industrial se situó en 22 mil millones de euros y se espera que genere unos ingresos de 33 mil millones de euros en 2021 con un crecimiento del 7%. El sector de la refrigeración (incluido el aire acondicionado) representa aproximadamente el 17% del consumo eléctrico mundial. El pasado año el compresor fue el segmento más grande en el mercado de máquinas de frío industrial, lo que indica que los ciclos más utilizados son los ciclos de compresión mecánicos de vapor.

Cabe por lo tanto destacar la necesidad de incluir dentro de los planes de estudio, la enseñanza teórica y la práctica en el diseño, construcción y mantenimiento de equipos de esta clase.

Las asignaturas sobre las cuales abarca este conocimiento, y se imparten dentro del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Jaume I de Castellón, son:

- Grado Ingeniería Mecánica: Máquinas e Instalaciones Térmicas (EM1022)
- Grado Ingeniería Mecánica: Instalaciones de Climatización y Refrigeración (EM1044)
- Grado Ingeniería Técnica Industriales: Calor y Frío Industrial (ET1037)
- Común tres grados: Ingeniería Térmica (Ex1014)
- Máster Eficiencia Energética y sostenibilidad: Tecnología Frigorífica (SIV021)
- Máster Eficiencia Energética: Equipos de Intercambio Térmico (SIV023)
- Máster en Ingeniería Industrial: Diseño Energético de Máquinas e Instalaciones Térmicas (SJA007)

La implantación del sistema de créditos ECTS supone una modificación de las metodologías docentes existentes hasta ahora hacia el desarrollo de las destrezas, habilidades y competencias del alumno, donde no solo se busca que el alumno memorice y entienda los conceptos requeridos, sino también que sea capaz de aplicarlos en la realidad.

Desde este punto de vista, las prácticas de laboratorio, constituye uno de los pilares fundamentales en la enseñanza en el campo de las ingenierías, ya que permiten al alumno aplicar los conocimientos teóricos aprendidos, asimilando de forma rápida dichos conceptos, y desarrollando nuevas destrezas y habilidades. Las instalaciones didácticas, por tanto, son una herramienta fundamental en la consecución de dichos objetivos, ya que permiten al alumno aplicar de forma real los conocimientos. En este aspecto, en materia de refrigeración existe el inconveniente de no encontrar equipos didácticos comerciales, ligeros y de precio comedido, para poder apoyar las explicaciones teóricas. Los equipos didácticos actuales poseen unas dimensiones y un peso relativamente alto, lo que dificulta su manejo y/o transporte, restringiéndose su uso a laboratorios o similares.

## 1.2 Objetivo del proyecto

Con la finalidad de poder contar la combinación de equipo un docente portable válido al mismo tiempo para sesiones de prácticas y sesiones teóricas, en este trabajo se presenta el desarrollo de una unidad didáctica de refrigeración basada en la tecnología de ciclo de compresión de vapor. Los objetivos fundamentales que se persiguen son construir un equipo sencillo, ligero, portable y con un coste reducido, de forma que el alumno pueda usarlo fácilmente, entendiendo de forma práctica los conceptos teóricos impartidos en las asignaturas anteriormente referenciadas. Para poder facilitar las medidas al alumno y que los datos puedan ser registrados para un tratamiento futuro, se desea dotar al equipo con un sistema de monitorización de bajo coste, además de ser abierto para futuras modificaciones y ampliaciones, que permita al alumno familiarizarse con componentes impartidos en otras asignaturas de Grado como:

- Ex1013 – Electrónica
- Ex1023 – Sistemas automáticos
- ET1032 – Informática industrial

Para el desarrollo de este proyecto didáctico se han partido de una serie de requisitos básicos:

- a) Unidad transportable.
- b) Alimentación con tensión doméstica (220 VAC, 50 Hz).
- c) Visibilidad en los procesos de evaporación y condensación.
- d) Coste reducido.
- e) Sistema de monitorización en plataforma libre para poder hacer ampliaciones/modificaciones futuras.
- f) Utilización simple para que el alumno pueda realizar prácticas de laboratorio.

## 1.3 Alcance

El presente proyecto se divide en tres partes:

La primera parte consiste en, el dimensionado de los componentes del sistema de refrigeración simple y de los componentes de la parte de refrigeración. Además es

necesario el cálculo estructural del soporte de la instalación para poder hacer la unidad transportable.

La segunda parte cubre el diseño de la parte eléctrica, dónde se incluyen los esquemas unifilares de la alimentación, control y monitorización del equipo. Además se incluye la calibración de los sensores empleados para el registro de temperatura y presión.

Finalmente, la tercera parte consta del análisis de los resultados obtenidos así como un manual para el uso como equipo didáctico en las aulas y en los laboratorios.

## 1.4 Análisis equipos didácticos comerciales

Previo al desarrollo del proyecto, se realizará un análisis de los equipos comerciales para tener conocimiento de las soluciones existentes hoy en día en el mercado, a partir de las cuales proponer mejoras si fuera posible.

### 1.4.1 GUNT HAMBURG - ET350



*Ilustración 1- Equipo comercial GUNT HAMBURG ET 350*

Este primer equipo consta de dos intercambiadores de vidrio para la visualización del proceso de evaporación y condensación del refrigerante. Dentro del serpentín que se observa en la imagen fluye el fluido caloportador (agua caliente o fría, según evaporador o condensador). Esto hace que tenga la necesidad de una toma de agua y desagüe. No tiene sistema de adquisición de datos, en su lugar dispone de dos manómetros para poder visualizar los niveles de presión, dos caudalímetros para los caudales del fluido secundario en el evaporador y condensador y un display para visualizar las temperaturas en diferentes puntos de la instalación.

A continuación se detallan algunos datos relevantes sobre el equipo:

<b>Refrigerante</b>	R365mfc
<b>Tamaño</b>	1200x500x900 mm
<b>Cilindrada del compresor</b>	18,3 m <sup>3</sup>
<b>Peso</b>	110 kg
<b>Precio</b>	15.072,15 €

*Tabla 1-Datos técnicos equipo comercial GUNT HAMBURG ET 350*

Algunas de las características del refrigerante R365mfc son que es inflamable, trabaja a bajos niveles de presión, lo que permite ser utilizado en los intercambiadores de cristal.

#### 1.4.2 GUNT HAMBURG - ET101



*Ilustración 2- Equipo comercial GUNT HAMBURG ET 101*

El equipo ET101 consta de dos manómetros que marcan las presiones de condensación y evaporación, incluyendo además una escala de temperatura en cada uno que indican las temperaturas de saturación de ambos procesos de transferencia de calor.

El evaporador y el condensador están concebidos como un serpentín que está sumergido en un depósito lleno de agua, que simula la demanda térmica en el evaporador, y el foco caliente de disipación de calor en el condensador. Tanto la evaporación como la condensación del refrigerante no son visibles en este modelo.

Este equipo no tiene sistema de adquisición de datos, las medidas de presión se visualizan directamente y las medidas de temperatura se realizan a través de un termómetro portátil adicional.

A continuación se detallan algunos datos relevantes sobre el equipo:

<b>Temperatura evaporación</b>	5°C
<b>Temperatura condensación</b>	40°C
<b>Potencia frigorífica</b>	278W
<b>Potencia eléctrica</b>	104W
<b>Refrigerante</b>	R134a
<b>Cilindrada del compresor</b>	2,72 cm <sup>3</sup>
<b>Tamaño</b>	750x360x690 mm
<b>Peso</b>	30 kg
<b>Precio</b>	3.712 €

Tabla 2 - Datos técnicos equipo comercial GUNT HAMBURG ET 101



### 1.4.3 GUNT HAMBURG - ET411C



*Ilustración 3 - Equipo comercial GUNT HAMBUR ET 411C*

El equipo comercial ET 411C es más complejo y voluminoso que el resto de ejemplos mostrados en este apartado, pero es el único de la marca que tiene sistema de adquisición de datos y por este motivo también se tiene en cuenta.

El sistema de adquisición de datos se realiza a través de USB con software específico de la marca y compatible con Windows 8, 9, 10. Este equipo contiene una válvula de expansión variable y tubos capilares de distinta longitud, que se puede seleccionar como elemento de expansión dependiendo del resultado que se quiera obtener. El fluido de intercambio de calor en evaporador y condensador es el aire.

Contiene 5 sensores de temperatura para la lectura y el control del equipo además de 3 manómetros para la lectura de la presión, 2 caudalímetros para la lectura del caudal del aire en el evaporador y en el condensador.

A continuación se detallan algunos datos relevantes sobre el equipo:

<b>Temperatura evaporador</b>	7,2°C
<b>Temperatura condensador</b>	32°C
<b>Potencia frigorífica</b>	372W
<b>Potencia eléctrica</b>	213W
<b>Refrigerante</b>	R134a
<b>Tamaño</b>	1740x800x1780 mm
<b>Peso</b>	190 kg
<b>Precio</b>	22.331,45 €

*Tabla 3 - Datos técnicos equipo comercial GUNT HAMBUR ET 411C*

Como equipo comercial no se ajusta a las especificaciones definidas en el objetivo de este proyecto, (excepto alimentación con tensión de 220 VAC y completamente monitorizado) pero ya que solo esta marca ha facilitado el precio, este equipo sirve para tener una escala de precios.

#### 1.4.4 EDIBON - TCRB



*Ilustración 4 - Equipo comercial EDIBON TCRB*

Este equipo comercial consta de dos intercambiadores de vidrio para la visualización del proceso de evaporación y condensación del refrigerante. Dentro del serpentín que se observa en la imagen, fluye el fluido caloportador (agua caliente o fría, según evaporador o condensador) que se puede regular mediante válvulas de control.

Este modelo de intercambiador hace necesario una toma de agua para alimentar ambos intercambiadores así como un desagüe para el agua.

La válvula de expansión se sitúa bajo el condensador y es del tipo flotador.

Este tipo de válvula actúa para mantener un nivel constante de líquido en el evaporador, El refrigerante se condensa y cambia a líquido en el condensador, haciendo subir el nivel de líquido en el condensador, causando así que suba la bola del flotador para abrir la boya o cilindro de la base que ejerce de válvula regulable con el nivel de líquido del condensador.

El equipo se controla mediante una consola electrónica que recoge las siguientes medidas:

- Temperatura y presión del fluido refrigerante en el evaporador y condensador
- Temperatura de los procesos de compresión y expansión.
- Temperaturas de entrada y salida de los serpentines del evaporador y del condensador.
- El caudal de agua de cada uno de los dos serpentines.
- Temperatura ambiente.
- Potencia eléctrica consumida por el compresor.

El equipo de control electrónico consta de:

- 11 sensores de temperatura
- 2 caudalímetros
- 2 sensores de presión

A continuación se detallan algunos datos relevantes sobre el equipo:

<b>Refrigerante</b>	R365mfc
<b>Potencia del compresor</b>	0,5 CV (367,749 W)
<b>Tamaño sistema refrigeración</b>	700 x 700 x 720 mm
<b>Peso sistema refrigeración</b>	70 kg
<b>Tamaño consola electrónica</b>	490x330x310 mm
<b>Peso consola electrónica</b>	10 kg

*Tabla 4 - Datos técnicos equipo comercial EDIBON – TCRB*

Al equipo Edibon – TCRB se le puede añadir un sistema de medida y adquisición de datos externos, pudiendo así ser manejado además a través de un PC.

La parte negativa de añadir este sistema de adquisición de datos es que se le añaden 10 kg más y se hace muy difícil el transportar este equipo completo.

### 1.4.5 Conclusiones de los equipos comerciales

Como aspectos relevantes que se pueden extraer de los equipos anteriormente mencionados, es que el sistema de adquisición de datos del equipo debe ser más pequeño y venir instalado en la misma estructura donde se encuentra el ciclo de refrigeración, para poder así ser transportable.

Además no se puede depender de tomas de agua caliente y fría para el intercambio de calor, esto elimina su uso en aulas de docencia que no estén preparadas para tal propósito, por lo que el equipo deberá de funcionar empleando el ambiente de la ubicación como foco frío y caliente.

## 1.5 Bibliografía

Las referencias utilizadas en la introducción son las siguientes:

*www.edibon.com*

*www.gunt.de/es*

*“35<sup>th</sup> Informatory note on Refrigeration Technologies” International Institute of Refrigeration*

*“Equipos de refrigeración para producción y procesamiento de alimentos, producción de bebidas, químicos y farmacéuticos, energía y aplicaciones petroquímicas 2015-2021” Zion Market Research*

*“Informe AFEC 2016” AFEC- Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización*



## Capítulo 2 - Diseño y cálculo instalación frigorífica

2.1- Introducción

2.2- Componentes principales del sistema de compresión simple

2.3- Diseño del equipo

2.4- Cálculos y dimensionado de la instalación frigorífica

2.5 - Dimensionamiento y cálculo del evaporador y del condensador

2.6- Elección elementos del sistema frigorífico

2.6.1- Dimensionamiento y elección del compresor

2.6.2- Dimensionamiento y elección del condensador y evaporador

2.6.3- Dimensionamiento y elección de la válvula de expansión

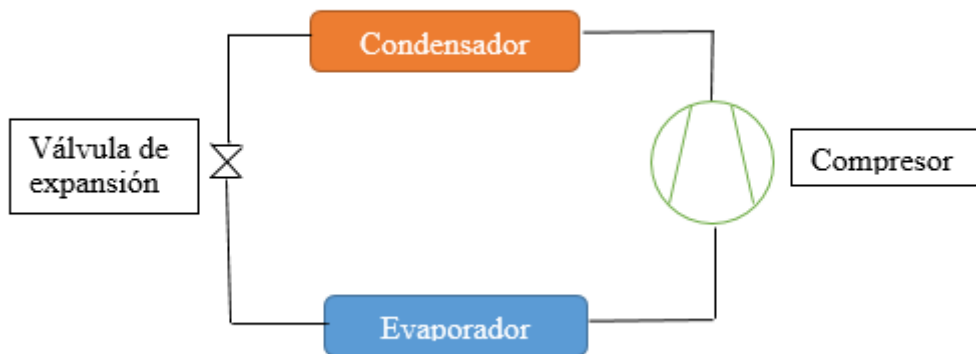
2.6.4- Dimensionamiento del depósito acumulador de líquido

2.6.5- Estimación del volumen de carga de refrigerante

## 2.1 Introducción

En este capítulo se detallan el diseño y cálculos necesarios para el sistema de refrigeración empleado en el análisis, según lo descrito en el Capítulo 1 de la memoria. Una vez realizadas las pruebas con los sistemas aquí planteados, se analizarán los resultados en el Capítulo 5, donde se describirán las conclusiones obtenidas.

## 2.2 Componentes principales del sistema de compresión simple



*Ilustración 5 - Esquema ciclo compresión simple*

La instalación a caracterizar y calcular en el proyecto corresponde a un ciclo real de compresión simple compuesto por los cuatro elementos básicos:

**Compresor:** Es el elemento encargado de recuperar los vapores de refrigerantes producidos en el evaporador y elevar la presión de los mismos para poder condensarlos con ayuda de la temperatura ambiente. Como parámetros principales para este proyecto, se precisa que la tensión sea de 220VAC monofásico bajo frecuencia de 50Hz.





*Ilustración 6 - Imagen compresor Embraco*

Condensador: La condensación del refrigerante gaseoso, es decir, de los gases a la salida del compresor, es llevada a cabo en el condensador. Es el lugar de la instalación donde se produce la eliminación de calor. Dentro del condensador el refrigerante evoluciona a través de tres fases. La primera, a la salida del compresor, el refrigerante se encuentra como vapor sobrecalentado, que se enfría a presión constante hasta la temperatura de saturación. Entonces pasa a una segunda fase en la que el refrigerante se encuentra en saturación, aumentando la fracción de líquido a medida que condensa. Por último se puede dar el caso en el que se produzca un subenfriamiento, que consiste en que el líquido condensado ve reducida su temperatura por debajo del punto de saturación. Este subenfriamiento se aconseja para mejorar la producción frigorífica y para poder conseguir con ello, asegurar fase líquida a la entrada del sistema de expansión. En nuestro caso, usaremos un condensador refrigerado por aire mediante convección forzada externa por medio de ventiladores.



*Ilustración 7 - Imagen intercambiador de cristal borosilicatado*

- Depósito acumulador de líquido: Está localizado a la salida del condensador y es el elemento intermedio entre el condensador y el sistema de expansión. La principal función de este componente es separar el refrigerante que salga del condensador en fase vapor de la fase líquida y así asegurar que el refrigerante que llega a la válvula de expansión no contenga vapor, ya que si a la válvula llega refrigerante en fase vapor, disminuye su eficiencia. Además sirve como elemento de acumulación de masa, pudiendo aportar/quitar masa del circuito de acuerdo con la demanda frigorífica o condiciones ambientales.



*Ilustración 8 - Depósito acumulador de líquido*

- Filtro deshidratador: El filtro detiene las impurezas gracias a una malla a la entrada en forma cilíndrica y otra malla a la salida en forma circular. Para eliminar la humedad, la sustancia más utilizada es sílice-gel, material que regularmente se encuentra en forma granulada. Esta sustancia soporta aumentos de temperatura hasta de 70 grados centígrados sin que se altere su eficiencia y además permite el flujo uniforme del refrigerante.
- Visor: El visor es necesario para poder comprobar el paso de refrigerante y la correcta carga del circuito. En el proyecto se colocaran dos, uno a la salida del condensador y antes de la válvula de expansión. El visor dispone además de un material que cambia de color en contacto con la humedad. De esta manera se puede saber si en el circuito hay o no humedad.



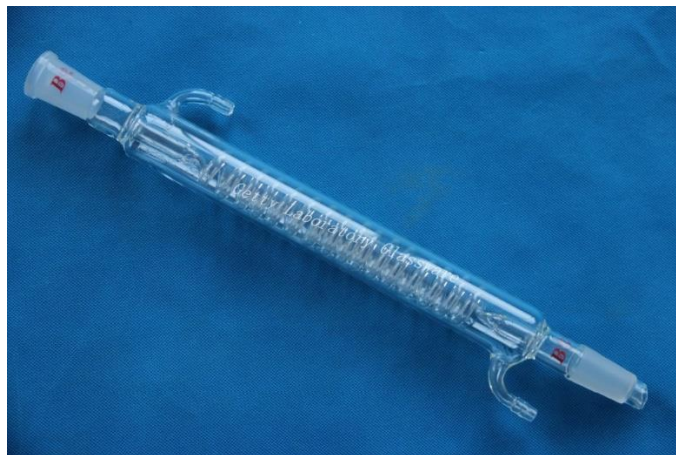
*Ilustración 9 - Visor líquido*

- Dispositivo de expansión: El dispositivo de expansión es el elemento del sistema que tiene la capacidad de generar la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador en el sistema. Puede ser de tipo regulable o de funcionamiento constante. En este proyecto se va a utilizar un dispositivo regulable de forma manual para que el alumno pueda actuar sobre su funcionamiento y darle mayor rango de funcionamiento a la instalación.



*Ilustración 10 - Válvula de expansión variable*

- Evaporador: Cualquier intercambiador de calor en el que se produce la evaporación de un refrigerante determinado con el fin de extraer el calor sensible de un material, objeto o fluido, recibe el nombre de evaporador. Dicho elemento se sitúa entre el elemento de expansión y la línea de aspiración del compresor, y es alimentado mediante refrigerante entra al evaporador a baja presión y temperatura en forma de mezcla de líquido-vapor, y el fluido que sale del evaporador, se encuentra en forma de vapor sobrecalentado. En este caso el intercambiador será de cristal, para poder visualizar el cambio de fase.



*Ilustración 11 - Intercambiador de cristal*

## 2.3 Diseño del equipo

Las condiciones marcadas en el alcance van a definir las características principales del equipo a diseñar, recordamos que las características son las siguientes:

- a) Unidad transportable
- b) Alimentación por red doméstica (220 VAC, 50 Hz)
- c) Los procesos de condensación y evaporación deben de ser visibles
- d) Coste reducido
- e) Completamente monitorizado

El factor crítico a la hora de elegir el compresor es la cilindrada, esta es la que define el peso y el tamaño del compresor que será la parte más voluminosa del equipo, así como el tipo de compresor que se necesita puesto que la alimentación debe ser a 220VAC.

Según las condiciones se necesita que los procesos de evaporación y condensación sean visibles, por lo tanto se necesitan intercambiadores de cristal o metacrilato, esto hace que la presión que puedan soportar sea como máximo de  $P < 10 \text{ bar}$ .

También se definen las temperaturas de evaporación como las temperaturas de conservación de productos frescos, entre  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Con estos dos datos y atendiendo a los criterios medioambiental y de presiones se puede definir el refrigerante que se utilizará.

Deben descartarse todos los fluidos de trabajo que no cumplan con la legislación vigente en cuanto a afección medioambiental. En la Unión Europea según el *Reglamento 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre sustancias que agotan la capa de Ozono*, queda prohibido el uso de fluidos de la familia HCFC en todas las aplicaciones a partir de 2015. Por lo tanto de la Tabla 5 debe descartarse el refrigerante R22 puesto que contiene átomos de cloro en su composición, y por tanto, su uso queda prohibido.

En segundo lugar, atendiendo a las características relacionadas con la operación de la instalación, debe eliminarse el refrigerante R134a, ya que para las temperaturas de trabajo y las presiones de trabajo es mucho más adecuado el R600a.

El precio, si el proyecto debe ser de bajo coste, éste es un factor importante también en la selección del refrigerante. Además los refrigerantes como el R22 ya no se comercializan (están prohibidos desde 2015), y está afectado por una tasa en función de su potencial contaminante que lo encarece  $26 \text{ €/Kg}$ .

Refrigerante	Tipo	T en P=10bar	PVP por kg
<b>R22</b>	HCFC	23°C	-- €
<b>R600a</b>	Hidrocarburo	65°C	32,6 €
<b>R134a</b>	HFC	40°C	141,3 €

Tabla 5 - Tabla datos refrigerantes

## 2.4 Cálculos y dimensionado de la instalación frigorífica

En este apartado, con la ayuda del software EES, se procederá al diseño del circuito frigorífico. En este caso no se contemplan pérdidas de presión en ningún punto del ciclo.

A continuación se han añadido una serie de tablas con los parámetros anteriormente fijados, así como algunos datos necesarios para el cálculo del ciclo:

Ciclo	Evaporador	Condensador
Rango de temperaturas	0°C/-10°C	40°C/65°C

Tabla 6-Rangos de temperaturas del ciclo

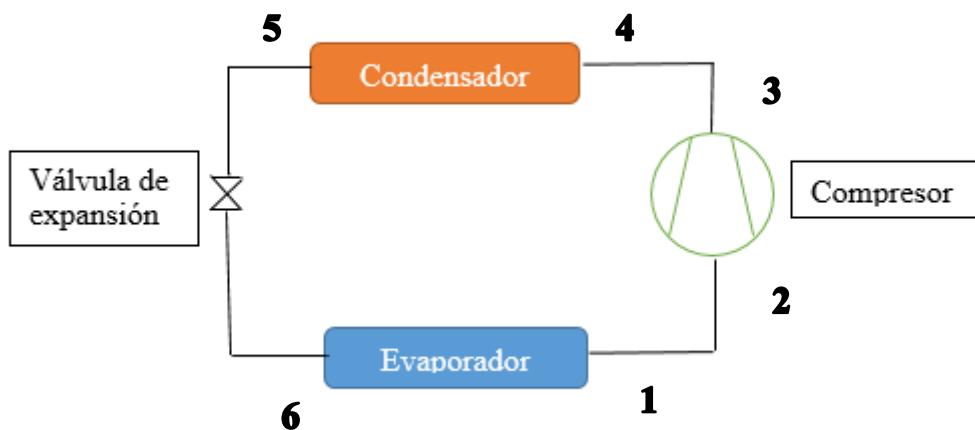


Ilustración 12 - Esquema ciclo compresión simple ideal

Dentro del proyecto la numeración de los distintos puntos de éste se corresponde de la siguiente manera:

- Punto 1 Salida del evaporador
- Punto 2 Aspiración compresor
- Punto 3 Descarga del compresor
- Punto 4 Entrada condensador
- Punto 5 Salida del condensador
- Punto 6 Entrada evaporador

A continuación el resumen de los resultados obtenidos en los cálculos, los cálculos y explicación de estos para las temperaturas de evaporación 0°C y de condensación de 35°C se encuentran en los Anexos.

Temperatura evaporador (Presiones)	Temperatura condensador (Presiones)
0 (1,567 bar)	35 °C(4,645 bar)
-5 (1,307 bar)	45 °C(6,04 bar)
-10 (1,081 bar)	55 °C(7,724 bar)

*Tabla 7 - Temperaturas del R600a de los distintos casos calculados*

Según los cálculos adjuntos en los anexos, todos los posibles casos calculados son válidos por temperaturas y por presiones.

A continuación se muestran una serie de gráficas con los datos más significativos y el diagrama presión-entalpía para el caso más desfavorable, 0°C de temperatura en el evaporador y 35°C en el condensador, se trata del caso más desfavorable al ser las temperaturas a las que más potencia frigorífica absorbe y más potencia calorífica cede al ambiente.

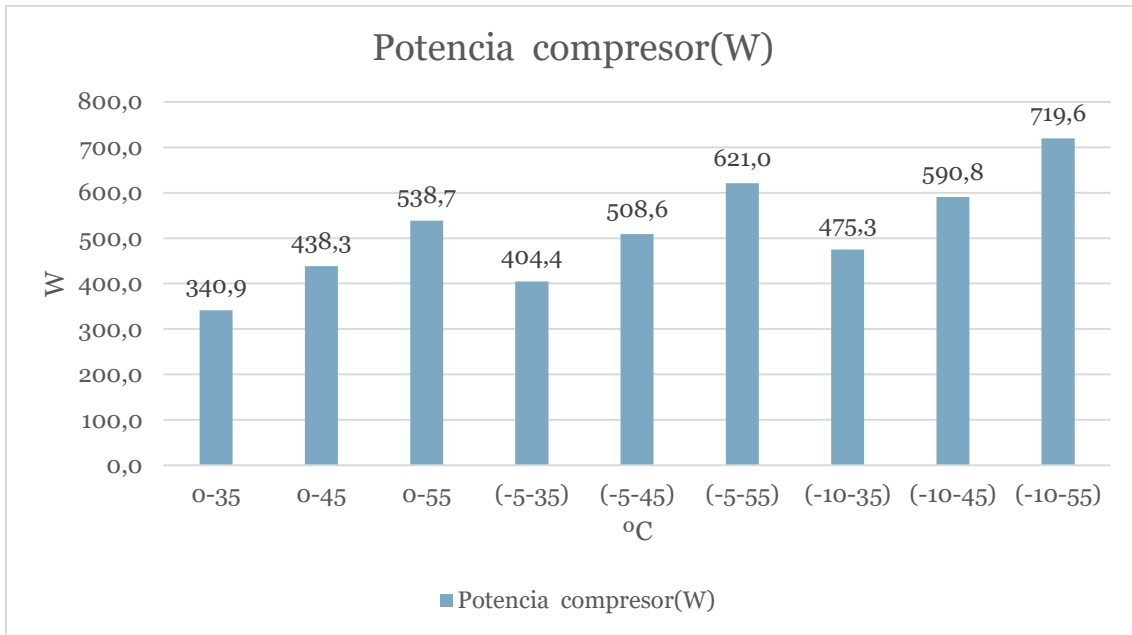


Ilustración 13 - Potencia Consumida frente a las temperaturas de condensación y evaporación

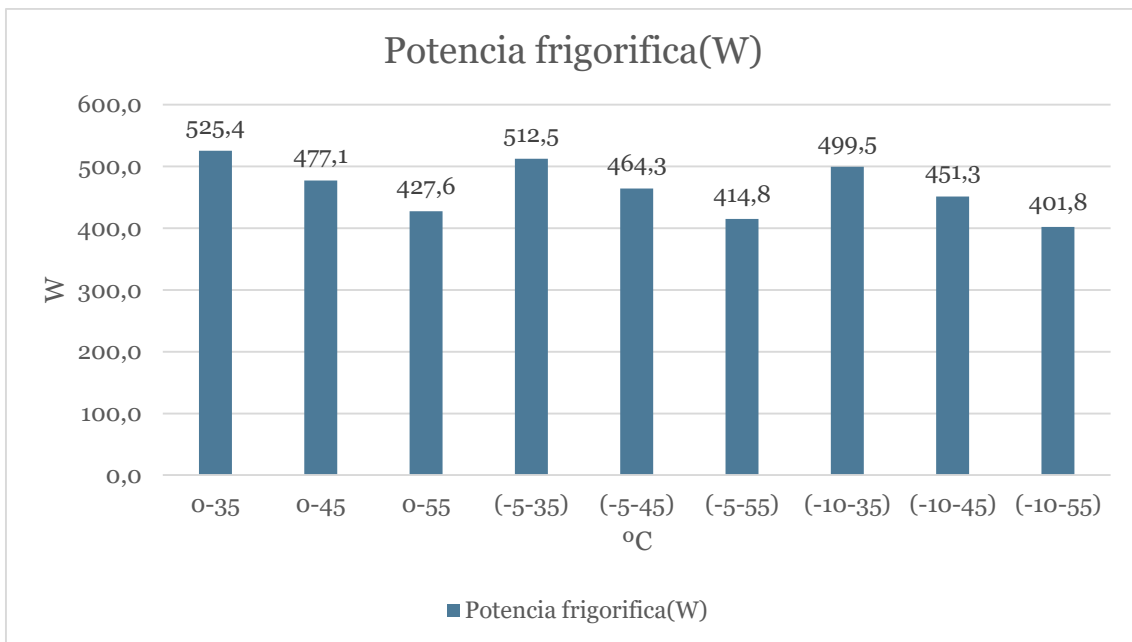


Ilustración 14 - Potencia frigorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación



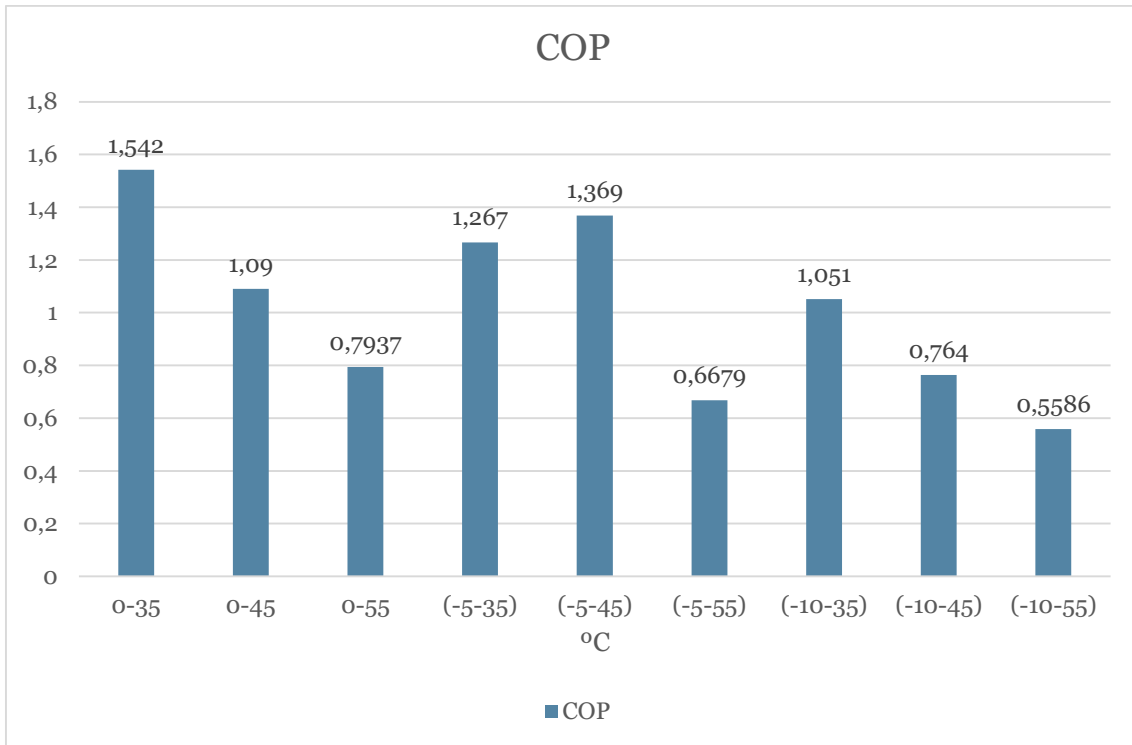


Ilustración 15 - COP frente a la temperaturas de condensación y evaporación

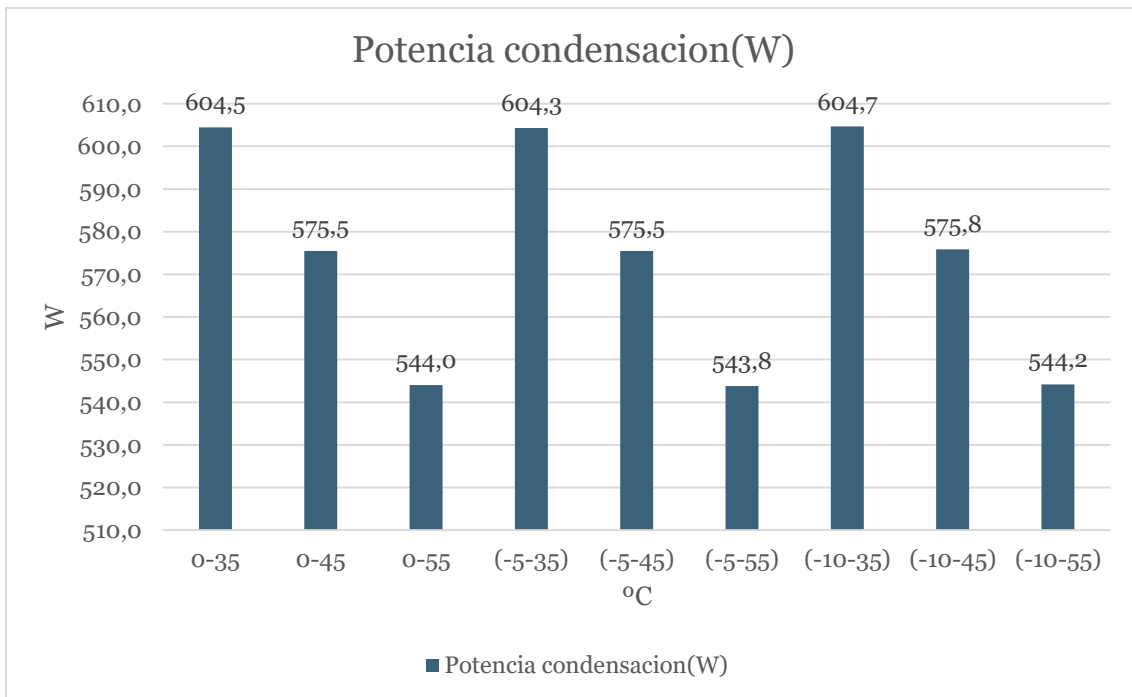


Ilustración 16 - Potencia calorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación

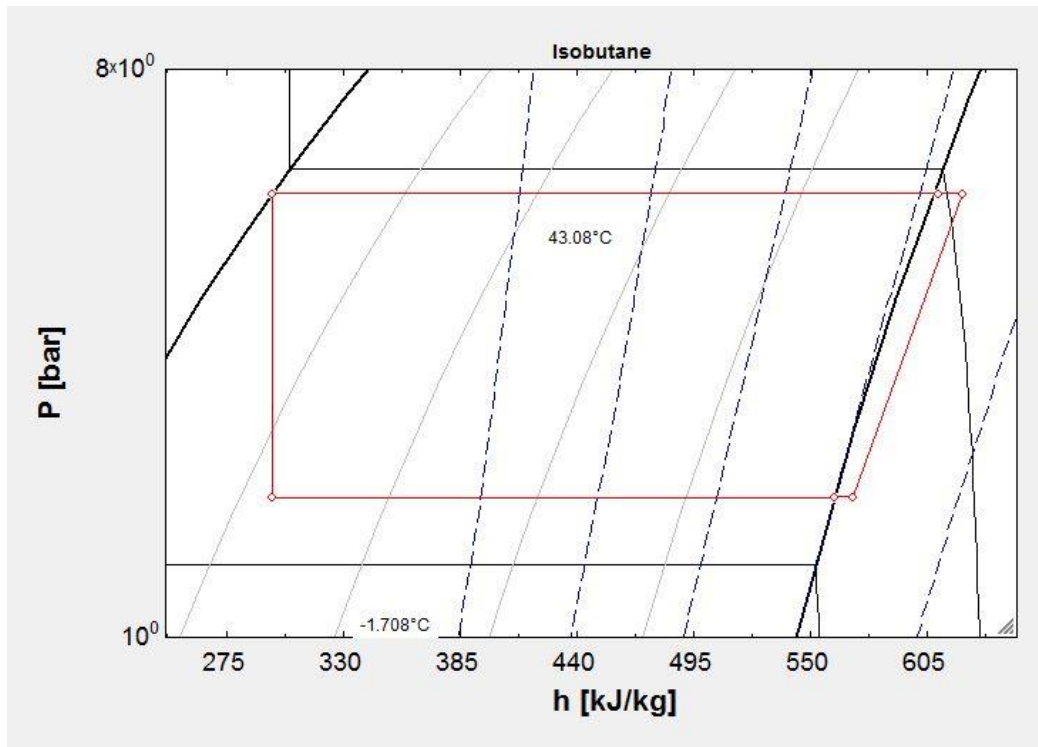


Ilustración 17 - Diagrama Presión-Entalpía R600a del ciclo sacado del EES para 0°C en el evaporador y 35°C en el condensador

## 2.5 Elección de los elementos del sistema frigorífico

### 2.5.1 Elección del compresor

En base a las potencias teóricas calculadas, y los rangos de evaporación-condensación impuestos, se puede empezar a buscar una primera referencia para el compresor. Teniendo un consumo lógicamente superior. Si el compresor elegido es pequeño, no se logrará alcanzar los niveles de evaporación deseados, mientras que si elegimos uno de mayor tamaño, repercutirá en un mayor consumo, un bajo rendimiento y por lo tanto un menor factor de potencia.

En base a estos resultados del dimensionamiento y de la herramienta de búsqueda de compresores de Embraco, podemos seleccionar el modelo EMT 30CDP. El compresor seleccionado no es el primero seleccionado, se ha realizado una iteración previa para la selección del EMT30CDP.

- Marca: EMBRACO
- Modelo: EMT 30CDP
- Voltaje/Frecuencia: 220VAC/50 Hz
- Velocidad de rotación: 2900RPM
- Refrigerante utilizado: R600a
- Cilindrada: 4,50 cm<sup>3</sup>
- Conformidad con la normativa UNE-EN12900
- Peso: 7,20kg
- Tipo de ventilación: no requerida
- Capacidad refrigeración: 76W evaporando a 5°C y condensando a 45°C
- Caudal másico evaporando a 5°C y condensando a 45°C: 3,07 kg/h
- Diámetro descarga compresor: 4,94mm
- Diámetro aspiración compresor: 6,1 mm



*Ilustración 18 - Compresor Embraco EMT 30CDP*

## 2.5.2 Dimensionamiento y elección del condensador y evaporador

En cuanto a la elección tanto del condensador como del evaporador y viendo los datos calculados en el dimensionamiento del ciclo, y puesto que las medidas en los catálogos comerciales son muy limitados, además de que uno de los requisitos es que en ambos casos se pueda visualizar el intercambio de calor y el cambio de fase, se opta por intercambiadores de vidrio borosilicatado. Los seleccionados son los intercambiadores de refrigerante Dimroth DR3-300-001

Modelo	Longitud útil (mm)	Longitud total (mm)	Boca
<b>DR3-300-001</b>	300	460	29/32

Tabla 8 - Medidas intercambiador DR3-300-001

Viendo la imagen del intercambiador, podemos calcular la longitud real de este con el diámetro de la espiral  $D = 32$  mm, la longitud útil y el número de espirales.

$$L_{total} = 2 * \pi * r * 20 + 300 = 2,31m$$

Además al tener una presión mínima de 10 bar que soportar, se realiza una prueba de presión en un entorno controlado para comprobar el sellado de la soldadura y la capacidad del intercambiador.

## 2.5.3 Dimensionamiento y elección de la válvula de expansión

Para la válvula de expansión variable se selecciona la marca Swagelok, dentro de los modelos compatibles se elige el SS-6LMM con el fitting preparado para la conexión dentro del circuito.

L series straight pattern								
Swagelok tube fittings	1/4 in.	SS-4L	2.82 (71.6)	2.34 (59.4)	-	1.13 (28.7)	0.58 (14.7)	1.26 (32.0)
	3/8 in.	SS-6L		2.46 (62.5)				
	6 mm	<b>SS-6L-MM</b>		2.34 (59.4)				
Male NPT	1/4 in.	SS-4L2		2.00 (50.8)				

Ilustración 19 - Dimensiones Válvula variable Swagelok SS-6L-MM



*Ilustración 20 - Válvula de expansión variable Swalok SS-6L-MM*

#### **2.5.4 Dimensionamiento del depósito acumulador de líquido**

La función del depósito de acumulación de líquido es la de asegurar que en la entrada del sistema de expansión sólo exista líquido. Su implementación es casi necesaria a fin de no afectar al rendimiento de forma general, ya que a la salida del condensador, puede que no todo el refrigerante esté en fase líquida, pudiendo una pequeña parte estar en fase vapor aún.

Por ello, la consideración que se tendrá en su dimensionamiento es la de tener un volumen lo suficientemente grande para soportar la presión si la temperatura ambiente externa es muy elevada.

Para el ciclo de refrigeración se usará un depósito de diámetro 5 cm y altura 8 cm, para hacer un volumen total de aproximadamente 125 cm<sup>3</sup>.

#### **2.5.5 Estimación del volumen de carga de refrigerante**

Para el cálculo de la masa de refrigerante que contendrá el circuito se calcula el volumen total que tendrá el circuito incluyendo: el compresor, el condensador, el depósito de recogida de aceite, el depósito intermedio, el evaporador y todo el tubo utilizado en la instalación.

De los datos del compresor se puede sacar el desplazamiento de refrigerante.

$$\text{Desplazamiento} = 4.50 \text{ cm}^3 = 4,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

De los datos de los intercambiadores se saca el diámetro y la longitud aproximada del intercambiador.

Diametro	Longitud
<b>8 mm</b>	<b>2m</b>

Tabla 9 - Datos intercambiador DRO3-300-001

Por lo que en cada intercambiador caben:

$$V_{\text{intercambiador}} = \pi * R^2 * L = 0,025 \text{ m}^3$$

Al tener dos depósitos iguales y puesto que las medidas son las siguientes:

Diametro	Longitud
<b>5 cm</b>	<b>8 cm</b>

Tabla 10 - Datos depósito estándar

El volumen de ambos depósitos será:

$$V_{\text{deposito}} = 2 * \pi * R^2 * L = 0,000125 \text{ m}^3$$

Y contando que la tubería utilizada es de: 4.95 mm de diámetro y se han utilizado 1,57 m, se tiene un volumen de:

Diametro	Longitud
<b>4,95 cm</b>	<b>1,57 m</b>

Tabla 11 - Datos tubería cobre del circuito

$$V_{\text{tuberia}} = \pi * R^2 * L = 0,024 \text{ m}^3$$

Teniendo así un volumen total en el circuito de:

$$V_{\text{total}} = 0,049 \text{ m}^3$$

Si la densidad del R600a a temperatura ambiente es igual a 9,108 kg/m<sup>3</sup>, la masa total de R600a que tendrá el circuito es de:

$$m_{R600a} = 9,108 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,049 \text{ m}^3 = \mathbf{0,447 \text{ kg}}$$

## Capítulo 3 - Diseño y cálculo del sistema de adquisición de datos y esquema eléctrico

### Índice

- 3.1- Diseño del sistema de medida
- 3.2- Diseño y elección de componentes del sistema de adquisición y medida
- 3.3- Componentes auxiliares del sistema de medida
- 3.4- Elección de componentes auxiliares
- 3.5- Diseño del sistema eléctrico
- 3.6- Sistema de adquisición de datos
- 3.7- Programación sistema adquisición

### 3.1 Diseño del sistema de medida

Como se ha visto en el análisis de equipos didácticos comerciales, dentro de la introducción de este proyecto, el apartado de visualización y toma de datos es indispensable.

Para el sistema de adquisición de datos nos basaremos en las siguientes premisas:

- Sistema de monitorización en plataforma libre para poder hacer ampliaciones/modificaciones futuras.
- Utilización simple para que el alumno pueda realizar prácticas de laboratorio.
- Que sea configurable.
- Se pueda realizar la conexión y el volcado de datos a un PC.
- Coste reducido.
- Utilizar una tensión menor a 24V DC.
- Que sea ligero.
- Que se pueda instalar en la misma estructura donde se encuentra el ciclo de refrigeración.

Las variables que se desean medir con el sistema de adquisición de datos son las siguientes:

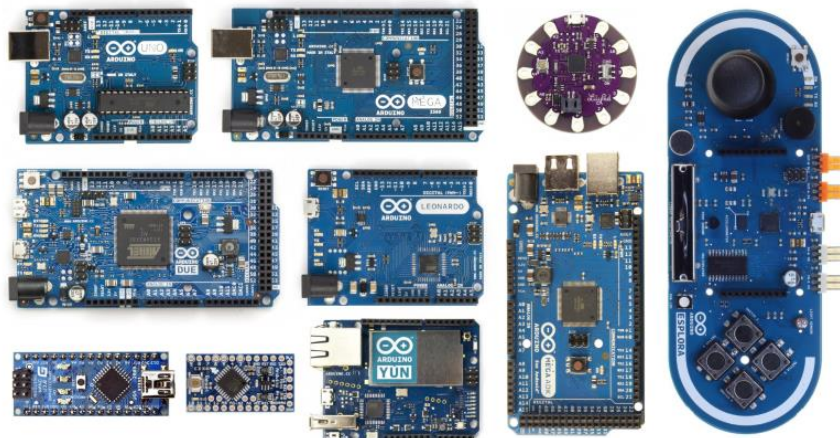
- Temperatura
- Presión
- Potencia
- Humedad relativa

Con estos criterios se elige la opción de utilizar la plataforma Arduino, puesto que es una plataforma libre, es de bajo coste y se pueden volcar los datos a un PC, bien sea mediante cable, Wifi o Bluetooth si fuera necesario. Además existe un gran conjunto de sensores para este dispositivo, además de toda una gran comunidad de usuarios que permiten el desarrollo de esta plataforma.

La programación de Arduino está basada en C++ y es muy intuitivo, además la tensión de alimentación del sistema se encuentra entre 7V y 12V.

También se quiere mostrar los datos que se van registrando mediante una pantalla, esta implementación es para no llevar junto con el equipo un ordenador para mostrar los datos. Para todos los datos que se desean mostrar se necesita dos LCD de 20 columnas x 4 filas





*Ilustración 21 - Distintos tipos de placa Arduino*

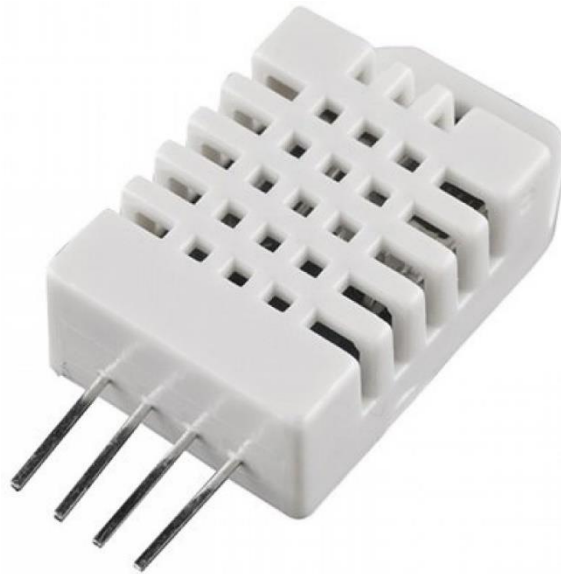
### 3.2 Diseño y elección componentes sistema de adquisición y medida

Dados los cálculos del ciclo de refrigeración y las variables que se deben medir, podemos acotar los sensores a los siguientes rangos de medida:

Variable	Valores
<b>Temperatura</b>	-20°C ÷ 80°C
<b>Humedad</b>	0 ÷ 100 %
<b>Presión</b>	0 bar ÷ 15 bar

*Tabla 12 - Valores para acotar el funcionamiento de los sensores*

### 3.2.1 Sensor DHT22

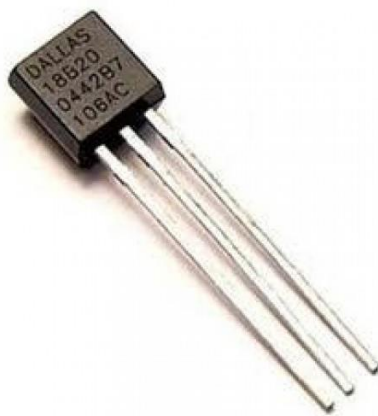


*Ilustración 22-Imagen DHT 22*

Se colocaran 4 sensores de humedad relativa y temperatura a la entrada y salida de los intercambiadores.

El DHT22 es un sensor básico de humedad y temperatura de coste reducido, ronda los 2€. Usa un sensor de capacidad para medir la humedad y un termistor para medir la temperatura del aire que lo rodea. Está diseñado para medir temperaturas entre -40 y 125°C con una precisión de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  y para medir humedad entre 0% y 100% con una precisión de 2% con periodos de muestreo de 1 segundo.

### 3.2.2 Sensor de temperatura 18b20



*Ilustración 23 - Sonda de temperatura 18b20*

Se necesitan para el proyecto 4 sensores 18b20, además al existir una librería para este y ser un sensor digital, solo necesitaremos una entrada dejando el resto libre para otras funciones.

Es un termómetro digital de alta precisión, entre 9 y 12 bits de temperatura en grados Celsius se puede escoger la precisión deseada. Su temperatura operativa se encuentra entre -50 y 125 grados Celsius. La precisión, en el rango comprendido entre -10 y 85 grados es de  $\pm 0.5$  grados.

### 3.2.3 Sonda de presión Johnson Controls P 499



*Ilustración 24 - Johnson Controls P 499*

Se necesitan dos sondas de presión, una en la parte de alta presión y otra en la de baja presión.

La sonda de presión Johnson Controls P499 tiene una salida de 4-10 mA que hay que pasar a 0-10VDC mediante el uso de un shunt, un rango de funcionamiento de 0 a 13,8 bar, Los transductores de presión electrónicos de la serie P499 son compactos, económicos y robustos, estos transductores están diseñados para su uso en refrigeración y aire acondicionado, producen una señal analógica basada en la presión.

### 3.2.4 Arduino Mega 2560 R3

A continuación una tabla resumiendo los datos de los sensores descritos en el apartado anterior:

Variable Medida	Rango de medida	Alimentación	Precisión	Señal salida	Nº unidades
<b>Temperatura (°C)</b>	-40 ÷ 100 °C	5 VDC	± 0.5 °C	Digital	5
<b>Humedad Relativa (%) y Temperatura (°C)</b>	0 ÷ 100 % -40 ÷ 125 °C	5 VDC	± 2 % HR ± 0.2 °C	Digital	4
<b>Presión (bar)</b>	0 – 8 bar 0 – 15 bar	12 VDC	± 0.25 %	Analógica (4 – 20 mA)	2

*Tabla 13 - Resumen de los datos de las sondas de medida*

El Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas con una resolución del convertidor A/D de 10 bits, salida de 5V y de 3,3V, una conexión USB, un conector de alimentación a 9V independiente, y un botón de reset.

Observando la tabla anterior podemos deducir que será necesario un Arduino Mega 2650, ya que la otra opción a tener en cuenta, que es el Arduino Uno R3, solo tiene 6 entradas analógicas y 6 digitales y una memoria de 32 KB.



*Ilustración 25 - Arduino Mega 2560 R3*

### 3.3 Componentes auxiliares del sistema de medida

#### 3.3.1 Pantalla LCD 20x4



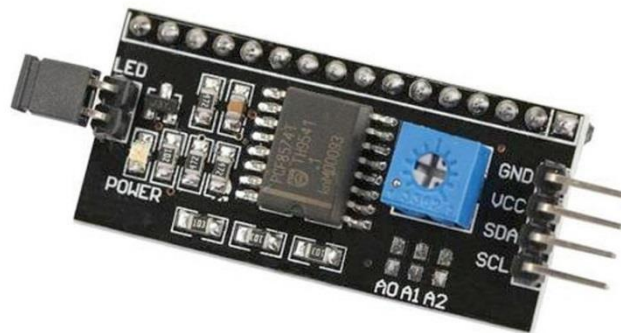
*Ilustración 26- Pantalla LCD 20x4*

Este tipo de pantallas es muy práctico por su uso habitual en muchos proyectos con Arduino además de su bajo coste. Están disponibles en varios tamaños y configuraciones. Su consumo eléctrico es muy bajo.

Es muy recomendable utilizar un módulo adaptador Serial I2C PCF8574 para minimizar el cableado y comunicar la pantalla por I2C. El protocolo I2C es un bus de comunicación que sirve para comunicar diferentes circuitos entre sí, utiliza sólo dos cables de comunicación, por lo que únicamente necesitaremos 4 cables de conexión

Para todos los datos que se desean mostrar se necesita dos LCD de 20 x 4.

### 3.3.1.1 Módulo LCD PCF8574



*Ilustración 27 - Módulo LCD PCF8574*

Este módulo sirve para conectar una pantalla LCD de 16x2 hasta 20x4 al Arduino usando únicamente 2 pines digitales (SDA y SCL) además puede compartir estos pines de conexión del Arduino con otros dispositivos compatibles con el estándar I2C, el cual es muy útil si se necesita conectar más de una pantalla LCD, ya que puede compartir el bus de salida. También se puede controlar la retroiluminación por software y por hardware mediante el potenciómetro que lleva incorporado.

## 3.4 Elección componentes auxiliares

### 3.4.1 Ventilador radial 24V RL48-19/14

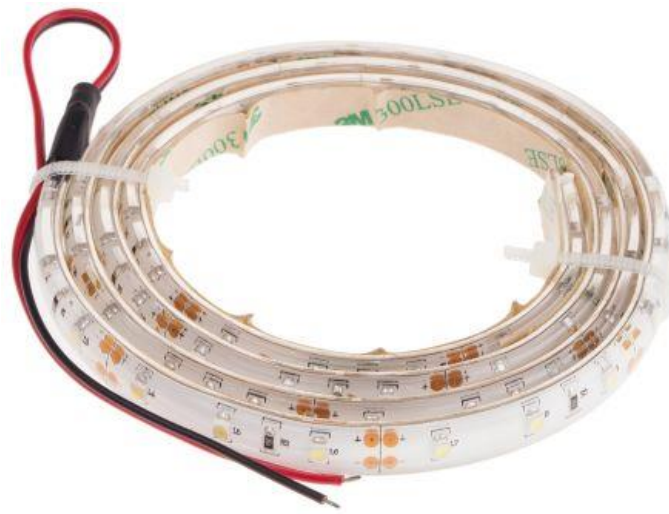


*Ilustración 28 - Ventilador Radial RL48-19/14*

Se trata de un ventilador de 24 VDC de dimensiones 75.5 x 75.5 x 27 mm con un flujo de aire de 28 m<sup>3</sup>/h y un consumo de 0,8W con una corriente máxima de 33mA.

Para el proyecto se necesitan dos ventiladores para el evaporador y el condensador, sin embargo para las primeras pruebas del montaje se utilizará otro ventilador diferente, pero para todos los cálculos se han tomado los datos de este ventilador.

### 3.4.2 Tira de LED RS Pro, 1m, Blanco, 5500



*Ilustración 29 - LED para iluminar los intercambiadores*

Tira de LED de 1 m para iluminar los intercambiadores y así poder visualizar mejor el cambio de fase en cada uno de ellos, la corriente nominal es de 400 mA, la tensión nominal es de 12V y el flujo luminoso típico es de 550 lm/m.

Al igual que los ventiladores, también se necesitan dos tiras de LED para cada intercambiador, para mejorar la visualización del cambio de fase.

### 3.5 Diseño del sistema eléctrico

Para la alimentación del sistema de adquisición se necesitan distintas tensiones dependiendo del sensor que elijamos, todas ellas serán corriente continua. A continuación un resumen de los amperajes, voltajes y potencia teórica consumida por los sensores y componentes auxiliares:

Sensor	Amperaje (mA)	Voltaje (V)	Potencia teórica (mW)
18b20	0,15	5	3,75
DHT22	0,5	5	2
Johnson Controls P 499	20	12	240
Arduino Mega + LCD	500	9	4500
Ventilador	70	12	3360
LED	600	24	7200

Tabla 14 - Amperajes, tensiones y potencias consumidos por el sistema de sensorización

La potencia total utilizada por los sensores es de  $P_{total} = 15,3W$

A continuación la ilustración de la fuente de alimentación para 24V, que sirve tanto para la alimentación de 24V, 9V como la de 5V. En cambio los ventiladores, que funcionan a 24 V, y los LED que funcionan a 12V, tendrán un transformador independiente a 30 V en alterna y posteriormente se añadirá un rectificador y un filtro para cada circuito.

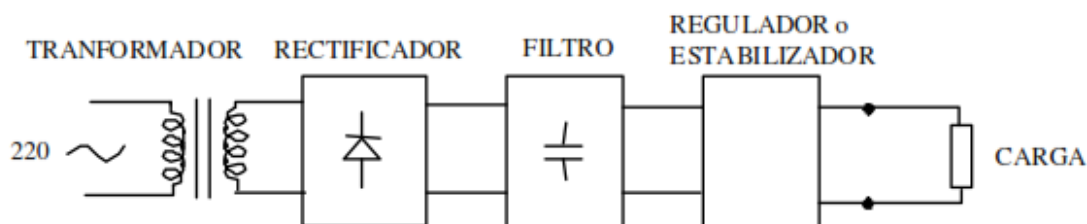


Ilustración 30 - Esquema de los elementos necesarios para el transformador a 15 VDC y el de 24VAC

Para seleccionar el transformador será necesario determinar la tensión nominal y la corriente nominal. La tensión nominal necesaria se obtendrá a partir de la tensión deseada en la carga y de las características del regulador de tensión utilizado (caída de tensión en el mismo). La corriente nominal debe ser suficiente para que la potencia del



transformador sea superior a la potencia máxima consumida por la carga y por el regulador.

En anexos se encuentran los cálculos de los reguladores de tensión dimensionados para los elementos planteados anteriormente.

## 3.6 Sistema de adquisición de datos

### 3.6.1 Calibración sonda de presión y funcionamiento

Para asegurar que las sondas de presión dan los valores exactos, primero se deben calibrar en otro sistema, obteniéndose así las rectas de calibración que relacionan la magnitud física medida con la señal analógica resultante. Así se podrá sacar las rectas de calibración que se utilizaran en el programa de Arduino.

Para la calibración de los sensores de presión se utilizó el sistema de adquisición Keysight Technologies 34972<sup>a</sup>, que es configurable y permite medir señales de tensión, intensidad, temperatura y frecuencia.

Se utiliza Nitrógeno en el circuito para la calibración, previamente se hace el vacío para medir presión absoluta.

Con un canal se medía la tensión de la sonda previa conversión de intensidad a tensión y con el manómetro digital obtenemos el valor de presión.

La conversión de la intensidad del transductor, que es de 4-20 mA a tensión, se realizó mediante un shunt. Para ello hay que utilizar dos resistencias en paralelo, en este caso y como la entrada analógica del Arduino Mega solo soporta 5VDC, con la intensidad máxima la resistencia resultante es de 250  $\Omega$ , se usan dos de 470  $\Omega$  puesto que no hay resistencias comerciales de 250  $\Omega$ .

Se utilizan dos resistencias de 470  $\Omega$  con una tolerancia de 1% en paralelo por lo que la conversión quedaría de la siguiente manera.

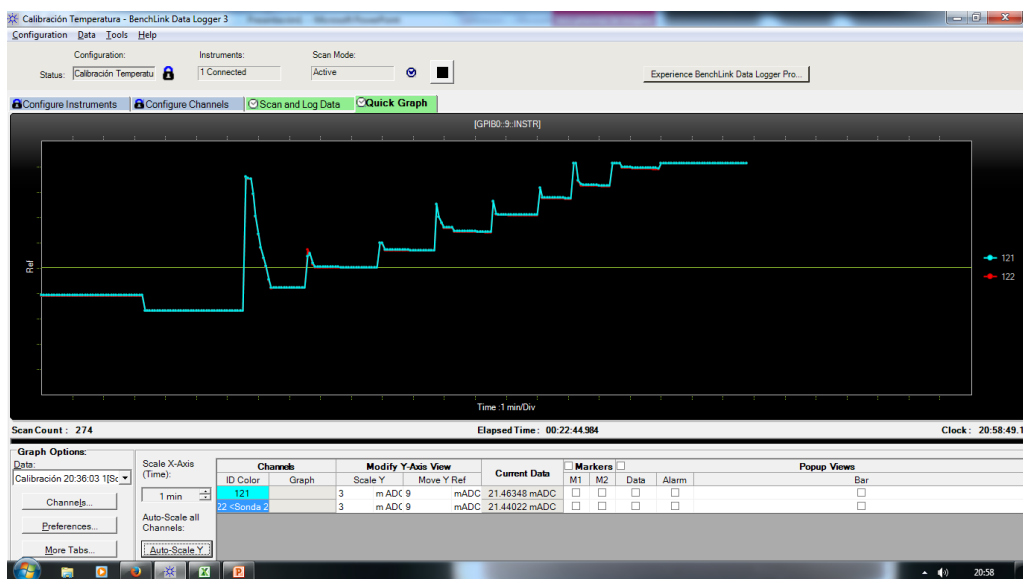
Al ser necesaria una gran precisión se calcula también el error que se comete al realizar esta conversión en base a las tolerancias de las resistencias. Estas son de  $\pm 1\%$ .

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 * \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} = 0.5 \%$$

El error se reduce a la mitad con lo que aumentamos la precisión.

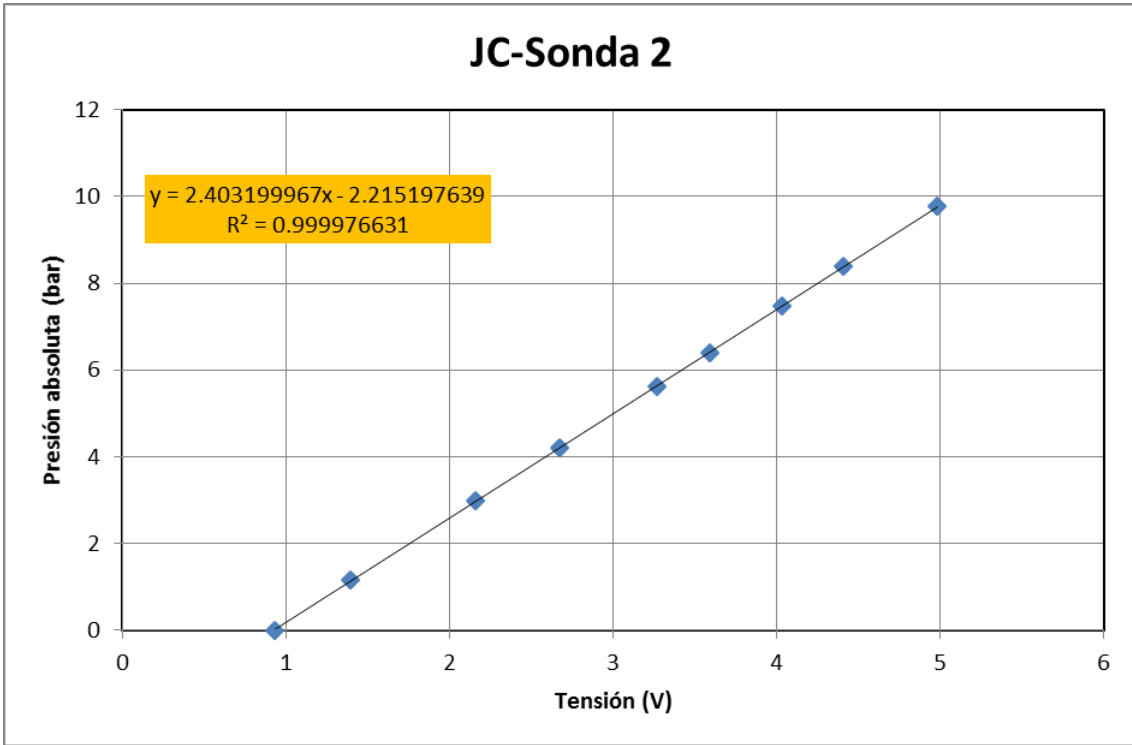
$$R_T = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,47k\Omega * 0,47k\Omega}{0,47k\Omega + 0,47k\Omega} = 0,235 \text{ k}\Omega$$

$$V = I * R = 4 \text{ mA} * 0,235 \text{ k}\Omega = 0,94 \text{ V}$$



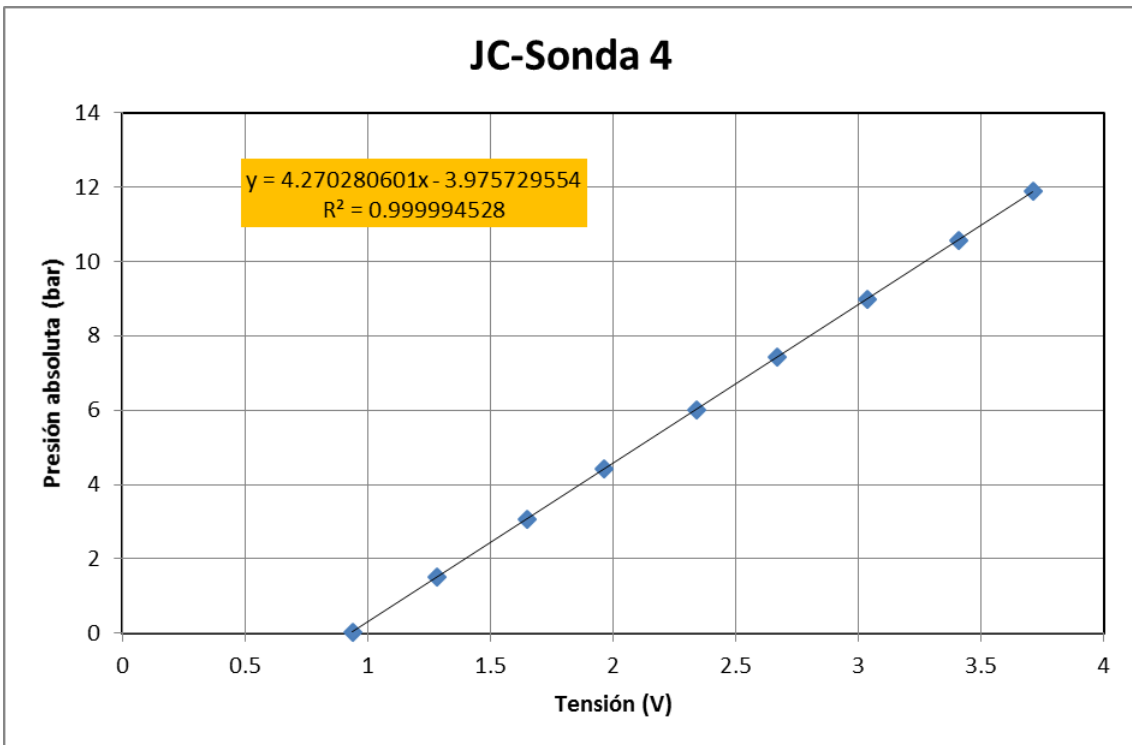
*Ilustración 31 - Imagen del programa BenchLink Data*

A cada presión se espera que se estabilice el valor para tomar dos medidas.



*Ilustración 32 - Gráfica calibración sonda presión 1*

Después de tomar los datos, con Excel se ajusta mediante mínimos cuadrados la recta dando un error de 0.9999.



*Ilustración 33 - Gráfica calibración sonda presión 2*

Después de tomar los datos, con Excel se ajusta mediante mínimos cuadrados la recta, dando un error de 0.9999.

Después de calibrar las dos sondas que se van a utilizar y con las rectas de calibración, únicamente es necesario definir en qué entradas analógicas se quieren utilizar en el Arduino Mega y alimentar a 12V.

### 3.6.2 Funcionamiento LCD

Para el funcionamiento de la LCD y para simplificar su uso, también se cuenta con el módulo LCD PCF8574. La característica principal de este complemento para la LCD es que permite comunicar la pantalla con el Arduino mediante el estándar de comunicación I2C, lo que nos permite, únicamente instalando una librería para la utilización del conjunto el reducir el número de pines de 16 a 4 incluyendo la alimentación.

Realizando un puente en el módulo se pueden conectar dos LCD en serie y mostrar los valores en cada pantalla independientemente, los pines que se utilizan son SDA, SCL, 5V y GND. Solamente se deberá indicar después en el programa en qué pantalla y qué posición queremos mostrar los datos.

Además con el módulo antes indicado ya viene incluido un potenciómetro, el cual se utilizar para regular el contraste de la pantalla.



*Ilustración 34 - Imagen de la LCD mostrando los valores*

### 3.6.3 Funcionamiento sensor humedad

Las conexiones de este sensor serán 5V, GND y a un pin digital, el tercer pin no se conecta.

Para el funcionamiento de este sensor se instala una librería previamente descargada para leer los datos del sensor, únicamente se tendrán que definir dos variables antes de iniciar el programa una para la temperatura y otra para la humedad.

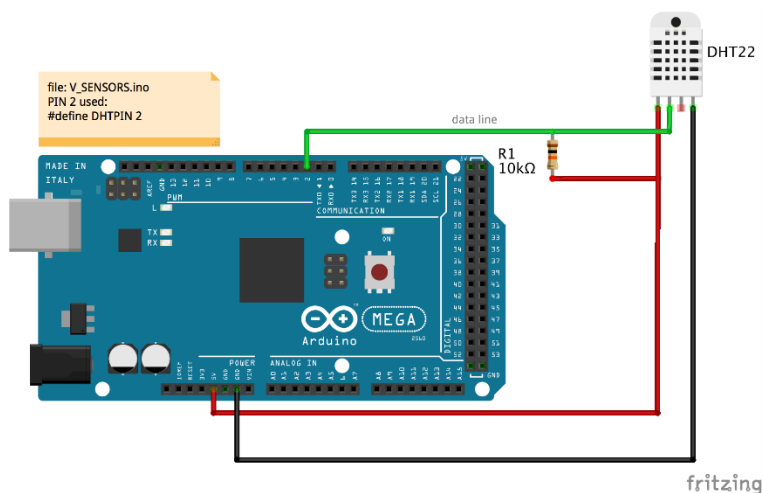


Ilustración 35 - Conexión DHT22 en Arduino Mega

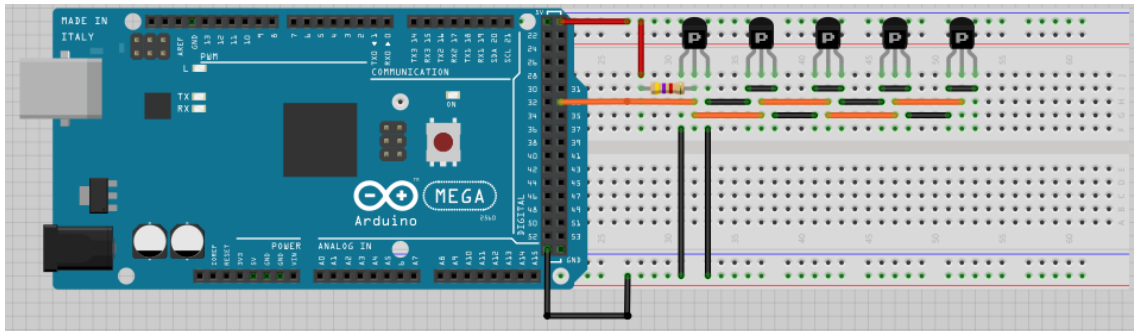
Para conectar la salida digital se necesita una resistencia pull-up de  $5k\Omega$  a 5V. Este tipo de resistencias establecen un estado lógico en un pin cuando se encuentra en estado reposo. La resistencia pull up establece un estado HIGH, esto evita los falsos estados que se producen por el ruido generado por los circuitos.

### 3.6.4 Funcionamiento sensor de temperatura

Al igual que el sensor DHT22, facilita mucho la programación del sensor 18B20 el instalar una librería. En este caso se necesitan dos librerías para la utilización de este sensor. También hará falta una resistencia pull-up igual que con el sensor anterior conectada a la señal digital.

Las librerías que se deben instalar son OneWire en esta librería está implementado todo el protocolo del bus 1-Wire y DallasTemperature en esta librería están implementadas las funciones necesarias para poder realizar las lecturas o configuraciones del 18B20. El bus 1-wire necesita un único cable para realizar la comunicación, se pueden instalar tantos

sensores como se desee, se puede usar esta librería de la empresa Maxim Integrated sin tener que pagar por ninguna tasa.



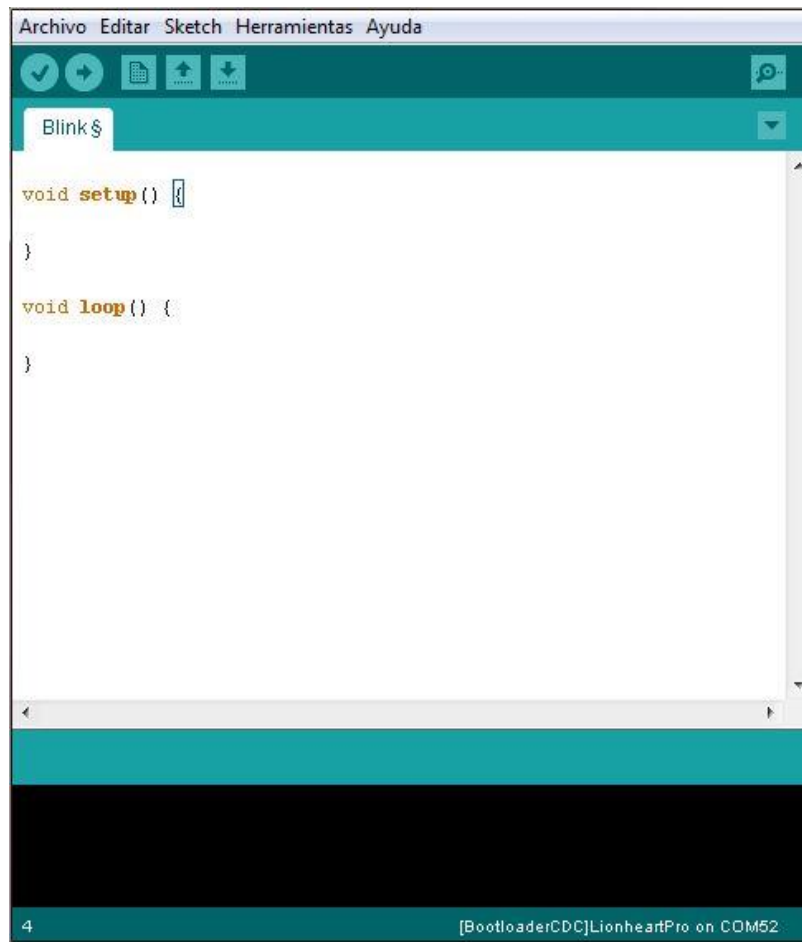
*Ilustración 36 - Conexión 3 sondas DS18B20 por una entrada en Arduino UNO*

### 3.7 Programación sistema adquisición

Una vez explicados todos los sensores y su funcionamiento, es necesario una introducción a la programación de Arduino. El programa que se utiliza para programar la placa Arduino se llama IDE Arduino.

#### 3.7.1 Estructura de un sketch

La estructura básica del lenguaje de programación de Arduino es bastante simple y se compone de al menos dos partes. Estas dos partes, o funciones, encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.



*Ilustración 37 - Imagen IDE Arduino*

En donde `setup()` es la parte encargada de recoger la configuración y `loop()` es la que contienen el programa que se ejecutará cíclicamente. Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje.

La función de configuración debe contener la declaración de las variables. Es la primera función a ejecutar en el programa, se ejecuta sólo una vez. También se utiliza para configurar o inicializar `pinMode` (modo de trabajo de las E/S), configuración de la comunicación en serie y otras.

La función bucle (`loop`) siguiente contiene el código que se ejecutara continuamente (lectura de entradas, activación de salidas, etc) Esta función es el núcleo de todos los programas de Arduino y la que realiza la mayor parte del trabajo. El tamaño de la memoria Flash del Arduino Mega es de 256 KB de los cuales 8 KB están dedicados al bootloader.

### 3.7.2 Programación

Al empezar con la programación se debe “llamar” las librerías que se necesita para utilizar los sensores anteriormente citados.

```
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

A continuación se definirán las variables necesarias para la lectura de los sensores de presión, con la función float se define una variable como un número con “punto flotante”

```
float preLo=0, preHi=0 vref=0, pot=0;
```

Para poder utilizar los sensores se deberá elegir en que entrada se van a conectar, tanto si es analógica o digital, en las siguientes líneas se define las entradas del sensor de humedad, la entrada del sensor de temperatura y la dirección de las 2 LCD. También se numeran las sondas de humedad.

```
DHT dht1(3, DHT22);
DHT dht2(5, DHT22);
DHT dht3(7, DHT22);
DHT dht4(9, DHT22);
LiquidCrystal_I2C lcd1(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
LiquidCrystal_I2C lcd2(0x26, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
OneWire oneWire(30);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

Dentro de la estructura setup se define: el tipo de caracteres, se inician las librerías de los 4 sensores de humedad, las 2 LCD y de los sensores de temperatura.

Además se define la posición donde va a ir la nomenclatura que se mostrará por las dos pantallas, así como, la nomenclatura de cada variable, sus unidades y su posición en la pantalla.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  dht3.begin();
  dht4.begin();
  lcd1.begin(20,4);
  lcd2.begin(20,4);
```



```

sensors.begin();

lcd1.setCursor(0,0);
lcd1.print("HRiK:");
lcd1.setCursor(0,1);
lcd1.print("HROK:");
lcd1.setCursor(9,0);
lcd1.print("%");
lcd1.setCursor(9,1);
lcd1.print("%");

lcd1.setCursor(0,2);
lcd1.print("HRiO:");
lcd1.setCursor(0,3);
lcd1.print("HROO:");
lcd1.setCursor(9,2);
lcd1.print("%");
lcd1.setCursor(9,3);
lcd1.print("%");

lcd1.setCursor(11,0);
lcd1.print("TiK:");
lcd1.setCursor(11,1);
lcd1.print("ToK:");
lcd1.setCursor(19,0);
lcd1.print("C");
lcd1.setCursor(19,1);
lcd1.print("C");

lcd1.setCursor(11,2);
lcd1.print("TiO:");
lcd1.setCursor(11,3);
lcd1.print("ToO:");
lcd1.setCursor(19,2);
lcd1.print("C");
lcd1.setCursor(19,3);
lcd1.print("C");
//Aquí empieza la segunda pantalla
lcd2.setCursor(0,0);
lcd2.print("Tdi:");
lcd2.setCursor(0,1);
lcd2.print("Tki:");
lcd2.setCursor(9,0);
lcd2.print("C");
lcd2.setCursor(9,1);
lcd2.print("C");

```

```

    lcd2.setCursor(0,2);
    lcd2.print("Tko:");
    lcd2.setCursor(0,3);
    lcd2.print("Tex:");
    lcd2.setCursor(9,2);
    lcd2.print("C");
    lcd2.setCursor(9,3);
    lcd2.print("C");

    lcd2.setCursor(11,0);
    lcd2.print("Ts:");
    lcd2.setCursor(11,1);
    lcd2.print("Pk:");
    lcd2.setCursor(19,0);
    lcd2.print("C");
    lcd2.setCursor(18,1);
    lcd2.print("BR");

    lcd2.setCursor(11,2);
    lcd2.print("Po:");
    lcd2.setCursor(11,3);
    lcd2.print("Pc:");
    lcd2.setCursor(19,3);
    lcd2.print("W");
    lcd2.setCursor(18,2);
    lcd2.print("BR");
}

```

Se inicia ahora la estructura loop, que es la que contienen el programa que se ejecutará cíclicamente.

Se definen todas las variables de los sensores de humedad relativa y la temperatura como números con decimales, así será más sencillo a la hora de mostrar los resultados en las pantallas.

A continuación con el voltaje de referencia medido para las sondas de presión y los valores de ambas sondas se calcula el valor de la presión con las rectas calculadas previamente.

Todas las líneas de código que hay hasta el final son para mostrar por el monitor serie del programa IDE Arduino los datos por el PC.

También se añade un retardo de 2 segundos, lo que indica que el bucle se repetirá cada 2 segundos.

```

float h1 = dht1.readHumidity();
float t1 = dht1.readTemperature();
float h2 = dht2.readHumidity();
float t2 = dht2.readTemperature();
float h3 = dht3.readHumidity();
float t3 = dht3.readTemperature();
float h4 = dht4.readHumidity();
float t4 = dht4.readTemperature();

sensors.requestTemperatures();
vref = analogRead(15);
preLo = analogRead(5) * 5/vref * 2.403199967 - 2.215197639;
preHi = analogRead(6) * 5/vref * 4.270280601 - 3.975729554;
pot = analogRead(7) * 5/vref * 125;

//Se muestran las variables de la LCD1
Serial.print("HRiK: ");
Serial.print(h1,4);
Serial.print(" HRoK: ");
Serial.print(h2,4);
Serial.print(" HRiO: ");
Serial.print(h3,4);
Serial.print(" HRoO: ");
Serial.print(h4,4);
Serial.print(" TiK: ");
Serial.print(t1,4);
Serial.print(" ToK: ");
Serial.print(t2,4);
Serial.print(" TiO: ");
Serial.print(t3,4);
Serial.print(" ToO: ");
Serial.print(t4,4);

//Se muestran las variables de la LCD2

Serial.print(" Tdi: "); //LCD2
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
Serial.print(" Tki: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(1));
Serial.print(" Tko: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(2));
Serial.print(" Tex: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(3));
Serial.print(" Ts: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(4));
Serial.print(" Pk: ");
Serial.print(preHi,4);

```

```

Serial.print(" Po: ");
Serial.print(preLo,4);
Serial.print(" Pc: ");
Serial.println(pot,4);
// LCD1
lcd1.setCursor(5,0); lcd1.print(h1,1);
lcd1.setCursor(5,1); lcd1.print(h2,1);
lcd1.setCursor(5,2); lcd1.print(h3,1);
lcd1.setCursor(5,3); lcd1.print(h4,1);
lcd1.setCursor(15,0); lcd1.print(t1,1);
lcd1.setCursor(15,1); lcd1.print(t2,1);
lcd1.setCursor(15,2); lcd1.print(t3,1);
lcd1.setCursor(15,3); lcd1.print(t4,1);
// LCD2
lcd2.setCursor(4,0); lcd2.print(sensors.getTempCByIndex(0));
lcd2.setCursor(4,1); lcd2.print(sensors.getTempCByIndex(1));
lcd2.setCursor(4,2); lcd2.print(sensors.getTempCByIndex(2));
lcd2.setCursor(4,3); lcd2.print(sensors.getTempCByIndex(3));
lcd2.setCursor(14,0); lcd2.print(sensors.getTempCByIndex(4));
lcd2.setCursor(14,1); lcd2.print(preHi,1);
lcd2.setCursor(14,2); lcd2.print(preLo,1);
lcd2.setCursor(14,3); lcd2.print(pot,1);
delay(2000); //Delay 2 seconds
}

```

## Capítulo 4 - Montaje y arranque del conjunto

### Índice

#### 4.1 - Montaje

4.1.1 - Estructura (dimensiones basadas en el intercambiador y el compresor)

4.1.2 - Montaje compresor evaporador y condensador

4.1.3 - Montaje tuberías, depósito separador de aceite y válvula de retorno

4.1.4 - Montaje manómetros, sondas de presión, filtro, visores y válvula de expansión

4.1.5 - Montaje electrónica y sistema de adquisición

#### 4.2- Carga de refrigerante y sistema de adquisición

## 4.1 Montaje

### 4.1.1 Estructura (dimensiones basadas en el intercambiador y el compresor)

Para la construcción de la estructura se debe tener en cuenta las partes más grandes del circuito, como son, el compresor y los intercambiadores. Además de tener en cuenta que se desea una completa visualización del trazado del circuito y de la parte electrónica, por tratarse de un equipo con fines docentes

Las dimensiones de compresor Embraco EM T30CDP y de los intercambiadores Labbox DR03-201-001 se muestran en la Tabla 28 tiene las siguientes dimensiones:

<b>Altura compresor</b>	168 mm
<b>Anchura compresor</b>	203 mm
<b>Profundidad compresor</b>	150 mm
<b>Peso del compresor</b>	7,2 kg
<b>Altura intercambiadores</b>	360 mm
<b>Rado exterior de intercambiadores</b>	32 mm

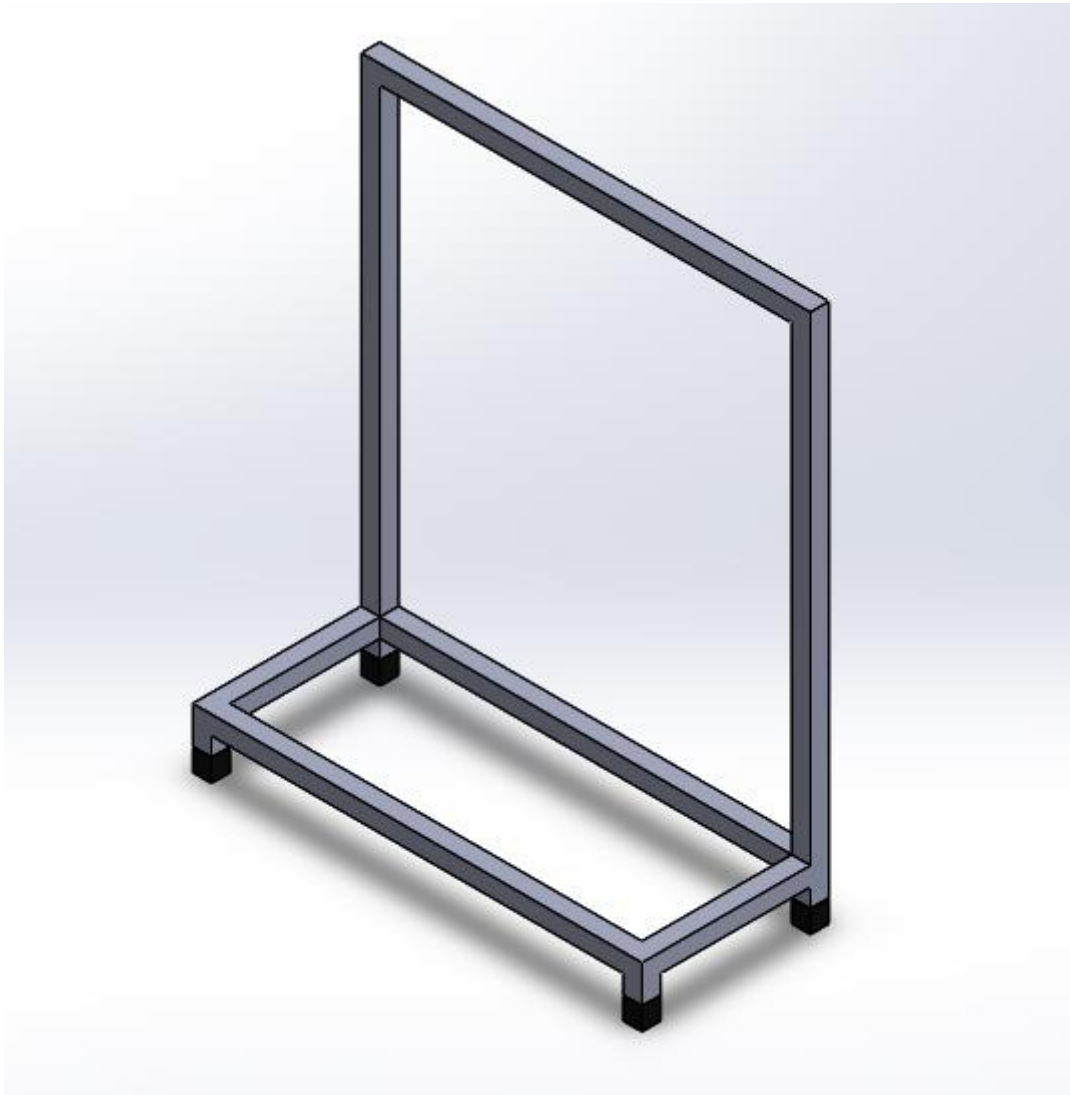
*Tabla 15 - Dimensiones del compresor e intercambiadores*

Basando el diseño de la estructura en los modelos comerciales como el Gunt Hamburg ET 350 analizado en el Capítulo 1, se decide construir una estructura en forma de L con las siguientes dimensiones:

<b>Altura</b>	640 mm
<b>Anchura</b>	600 mm
<b>Profundidad</b>	250 mm

*Tabla 16 - Dimensiones de la estructura*

La estructura se construirá en perfil cuadrado de acero normalizado de 25 mm con espesor 1 mm soldando entre sí mediante arco eléctrico. Se añaden también patas de 5 cm a la estructura con unos tacos de goma, como se puede observar en la Ilustración 38.



*Ilustración 38 - Diseño en 3D de la estructura de acero*



*Ilustración 39 - Estructura de acero*

Para poder colocar todos los elementos y permitir una correcta visualización, se colocarán dos maderas de contrachapado de 10 mm de grosor, en la parte superior, se instalará el evaporador y el condensador, el sistema de tuberías que los conecta con el compresor y toda la electrónica necesaria para la adquisición de datos y las dos pantallas para la muestra de datos. Mientras que en la base se va a montar el compresor.

Por todo el lateral del frontal de la chapa de madera se coloca también una lámina de aluminio de 2 mm de espesor con la finalidad de permitir un correcto atornillado de la madera a la chapa y una protección extra de los laterales de la madera.

#### **4.1.2 Montaje compresor, evaporador y condensador**

Se opta por montar el compresor en el centro de la plataforma para equilibrar el peso de la estructura puesto que es el elemento más pesado. Sin embargo, por no poder disponer de suficiente espacio para colocar el depósito de aceite se monta el compresor desplazado.

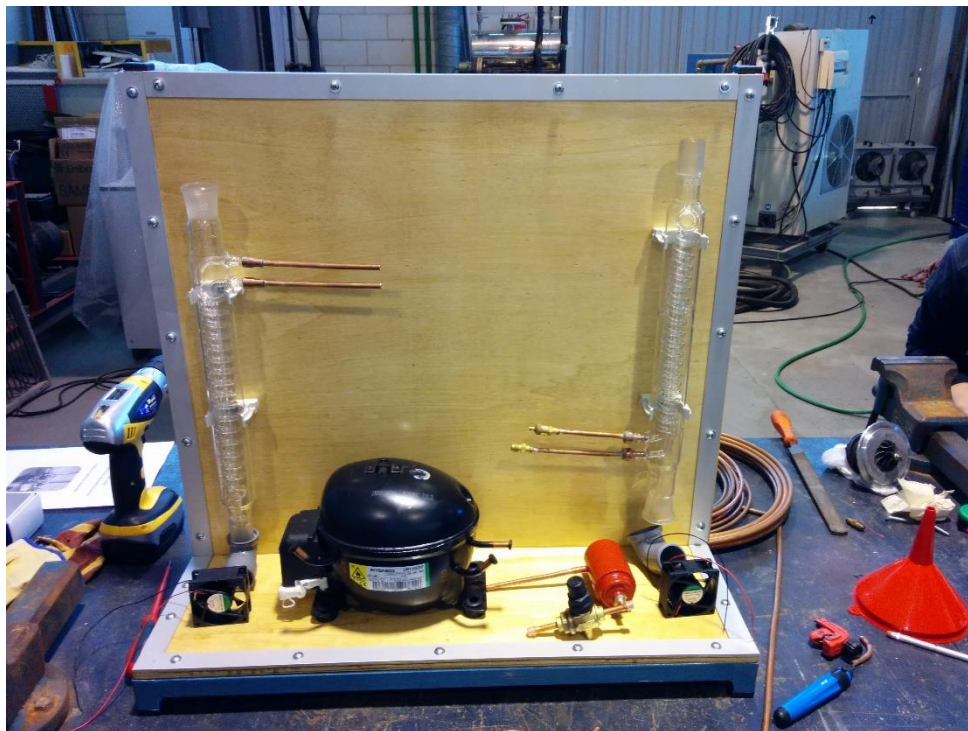
Para la sujeción de ambos intercambiadores a la estructura se utilizarán dos bridas por intercambiador. Estas bridas van atornilladas a la chapa de madera frontal de la estructura.



Tanto el evaporador como el condensador se montan lo más cerca de la base de la estructura para poder colocar dos codos permitan canalizar el aire empleado como fluido frigorífero. En el caso del evaporador este codo permitirá recoger además el posible condensado que se forme. La ubicación de los ventiladores se realizará de forma que se consiga un intercambiador con disposición en contracorriente, de manera que el ventilador del evaporador se ubicará en la parte superior, mientras que el del condensador en la parte inferior.

Además para poder realizar la conexión del evaporador y del compresor con el resto del circuito se monta unas reducciones de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{1}{4}$ " en las entradas y salidas de ambos intercambiadores, estas se unen mediante Adhesivo ARALDITE.

Después de aplicar el pegamento y dejar secar, se realiza una prueba de presión para comprobar que la junta no fuga y que ambos intercambiadores aguantaran la presión a la que se les va a someter. La presión máxima aplicada al intercambiador será de 10 bares.



*Ilustración 40 - Imagen colocación compresor, evaporador y condensador*

### 4.1.3 Montaje tuberías, depósito separador de aceite y válvula de retorno

Uno de los retos a la hora de llevar a la práctica el proyecto es la colocación de todos los componentes en la estructura, ya que el espacio es limitado y es requisito que se vea todo el circuito.

Antes de soldar cualquier tubería primero se estudia si el arco de giro de cada conexión es adecuado para no doblar en exceso cada tubería que se prepara.



*Ilustración 41 - Colocación y medición del depósito y la válvula*

Toda la tubería utilizada en esta fase del montaje es tubería normalizada de frigorista con diámetro exterior de  $\frac{1}{4}$ " y espesor de 0.8 mm.

La válvula de retorno se instala para poder regular el retorno de aceite al compresor desde el depósito de separación.

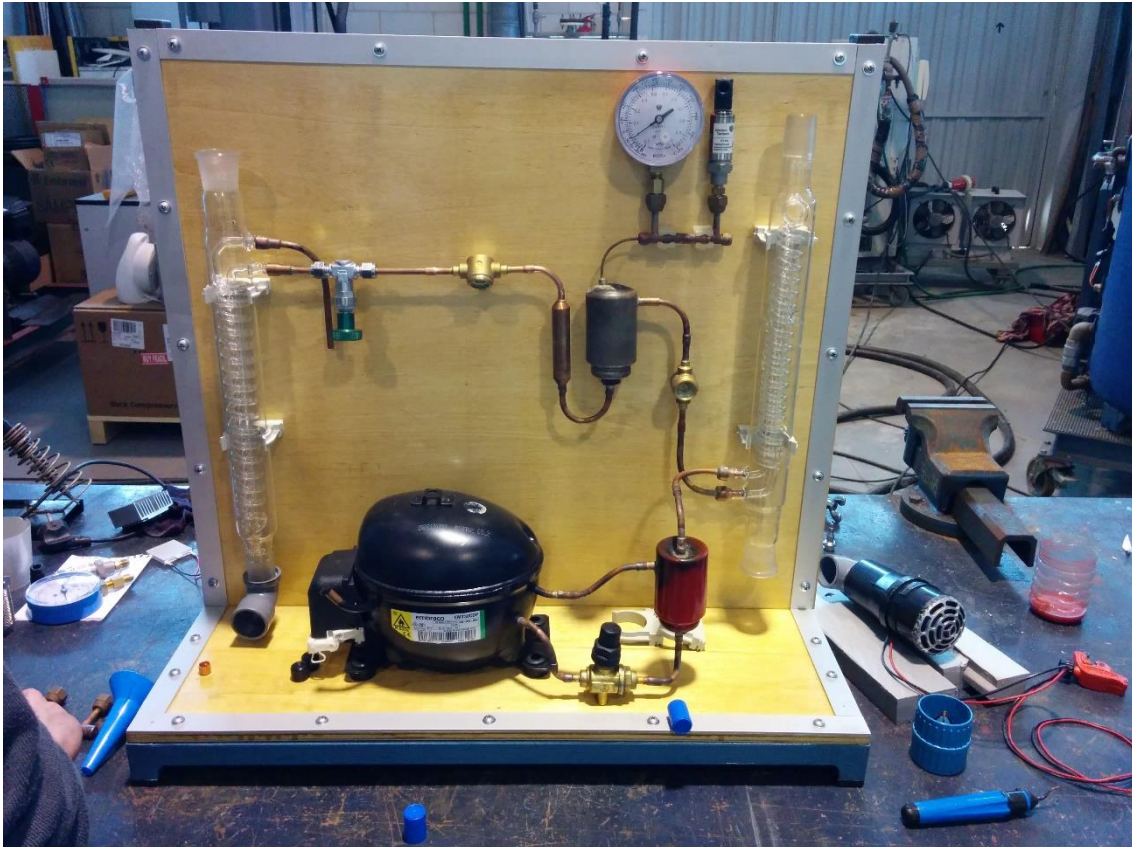
### 4.1.4 Montaje de manómetros, sondas de presión, filtro, visores y válvula de expansión

Para la visualización del estado del refrigerante se coloca un visor a la salida del condensador y después del depósito de acumulación.

Un depósito intermedio, conectado mediante un capilar a un manómetro y una sonda de presión; el primero indica de forma visual la presión en el circuito, mientras que el segundo registra los datos en el sistema de adquisición para su posterior tratamiento.

Un deshidratador cuya función es absorber la posible humedad que se encuentre en el circuito.

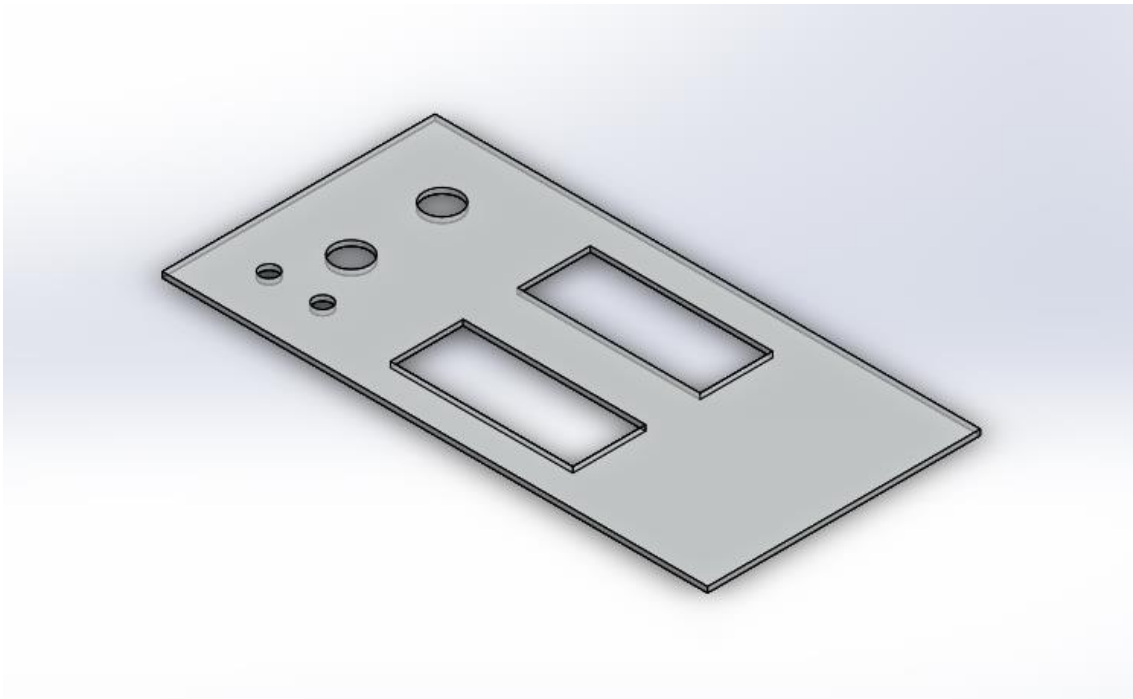
Además el circuito incorpora una toma de carga para poder cargar de refrigerante el equipo.



*Ilustración 42 - Imagen de la colocación de los visores, depósito intermedio, filtro, sensor de presión, válvula de expansión y manómetro*

Para el montaje de la válvula de expansión se abocardan ambos tubos de cobre y se unen a la válvula de expansión mediante dos racores que vienen incluidos con la válvula de expansión.

#### 4.1.5 Montaje electrónica y sistema de adquisición



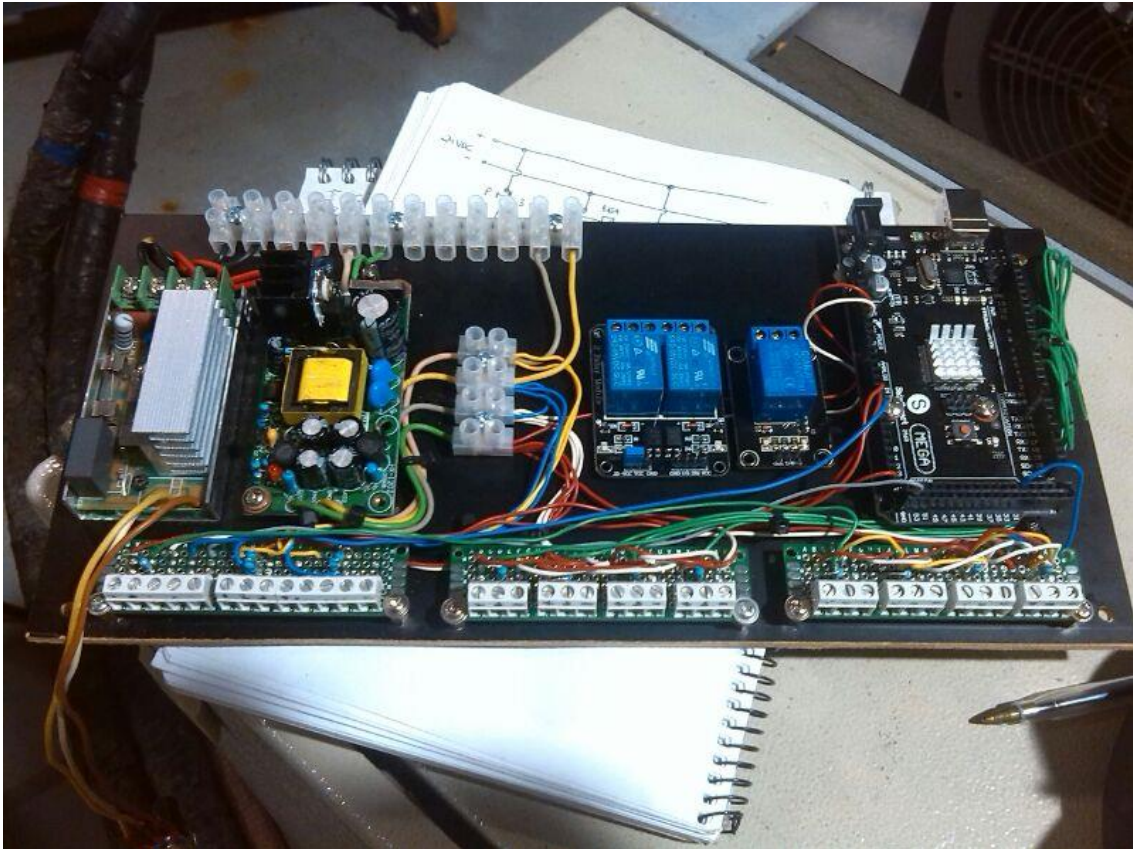
*Ilustración 43 - Imagen 3D del metacrilato donde se coloca las LCD y los reguladores*



*Ilustración 44 - Imagen de las 2 LCD, los reguladores de los ventiladores y los interruptores de los LEDs.*

Para el montaje de la electrónica se opta por el montaje sobre una plancha de madera en la cual se coloca el transformador, los reguladores de tensión para las distintas señales así como el Arduino y todas las entradas analógicas y digitales.

Para maximizar el espacio utilizado se conecta los transformadores a 220 V de los distintos elementos a través de la regleta superior de la imagen, después por la parte inferior se conectarán las salidas que irán a los distintos transductores de medida.



*Ilustración 45 - Imagen de la electrónica ya montada*

## **4.2 Carga del refrigerante y arranque del sistema**

Una vez terminadas las conexiones de las tuberías, se comprueba la estanqueidad del circuito.

Para comprobar la estanqueidad del circuito será necesario asegurarse que la válvula de expansión variable está completamente abierta, es necesario también una botella de nitrógeno con un manorreductor conectado para poder regular la presión deseada a la salida.

Se conecta la botella de nitrógeno al circuito, se abre la válvula de la botella, después actuando sobre la llave de manorreductor ajustar la presión de salida a 1,5 bar. Una vez alcanzada esta presión en el circuito, se cierra la llave del nitrógeno y se comprueba que la presión en los manómetros del circuito no descienda.

Si la presión desciende, significa que existe alguna fuga, el procedimiento para encontrar la fuga es aplicar agua jabonosa en las juntas soldadas para comprobar dónde se encuentra.



*Ilustración 46 - Imagen de la carga del refrigerante en el circuito*

Después de la comprobación de estanqueidad del circuito se procede a la carga del refrigerante R600a.

Primero se realiza el vacío en el circuito para a continuación cargar el refrigerante, la cantidad de masa de refrigerante será aquella que permita al sistema funcionar correctamente en todos los posibles puntos de funcionamiento, se cargan 0.064 Kg de R600a.

Después de esto se conecta el compresor y se arranca el sistema para comprobar el correcto funcionamiento del circuito, así como las presiones de trabajo dependiendo de la apertura de la válvula de expansión.



*Ilustración 47 - Montaje final*

Por último se colocan también los LEDs para la visualización del cambio de fase en los intercambiadores, así como colocar correcta y ordenadamente todos los cables de la instalación. También los ventiladores que generaran el flujo forzado para el intercambio de calor entre el refrigerante y el aire.





## Capítulo 5 - Análisis de resultados, conclusiones y posibles mejoras

### Índice

5.1 - Datos experimentales

5.2 - Conclusiones y posibles mejoras

## 5.1 Datos experimentales

Para el análisis de los resultados se recogen los datos del equipo. El ensayo que se va a realizar es el que deberá realizar el alumno o profesor en las prácticas de laboratorio.

Para poder medir la potencia del circuito se conecta previo al arranque del equipo un amperímetro y voltímetro que calcula la potencia.

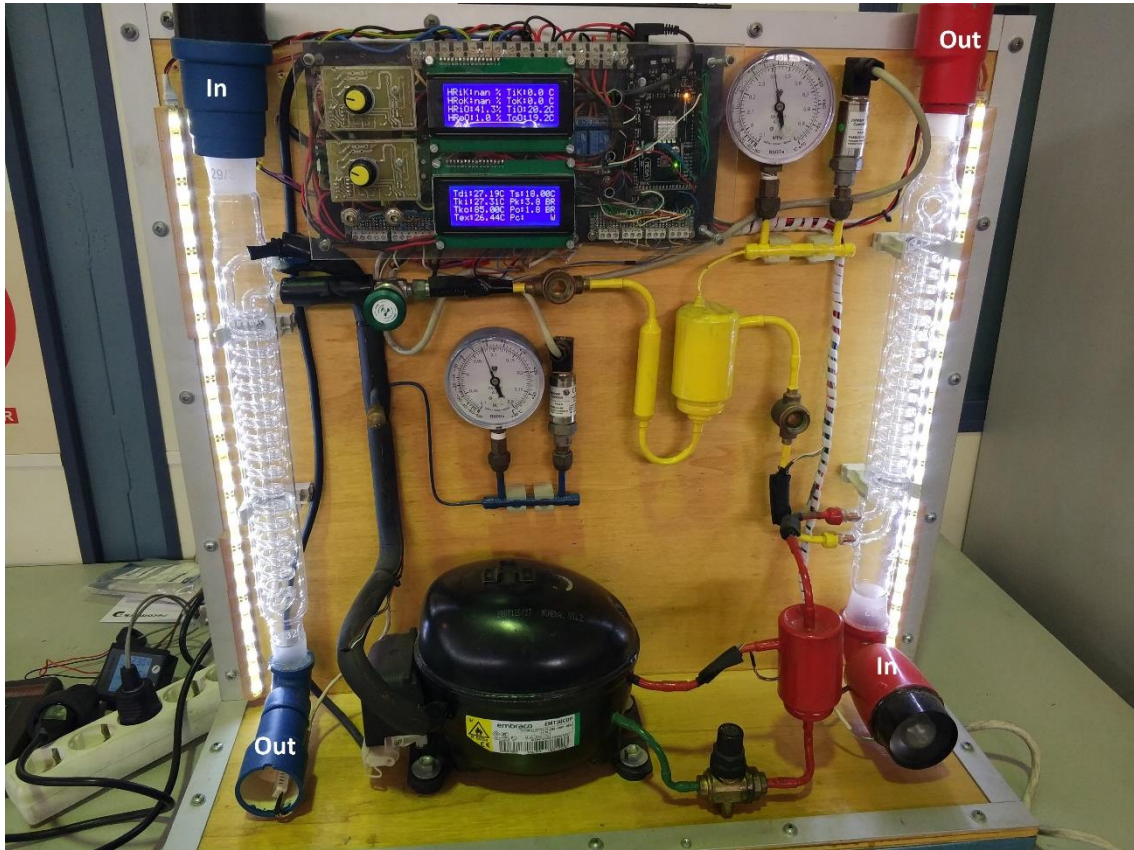
Primero se conecta el equipo a la red, se cierra la válvula de expansión hasta que la presión a la salida de esta sea de 1.1 bar y se espera unos 20 minutos a que el ciclo se estabilice, teniendo cuidado que la presión no baje de 1 bar.

	Evaporador	Condensador
Presión	1,1 bar	6,8 bar

*Tabla 17 - Presiones experimentales*

Segundo apuntar la potencia total del conjunto de adquisición de datos sumado a la potencia consumida por el compresor, que es de  $P = 91,8 \text{ W}$ .

Tercero, se comienzan a medir con un termómetro con sensor de humedad las entradas y salidas del aire en el evaporador y el condensador.



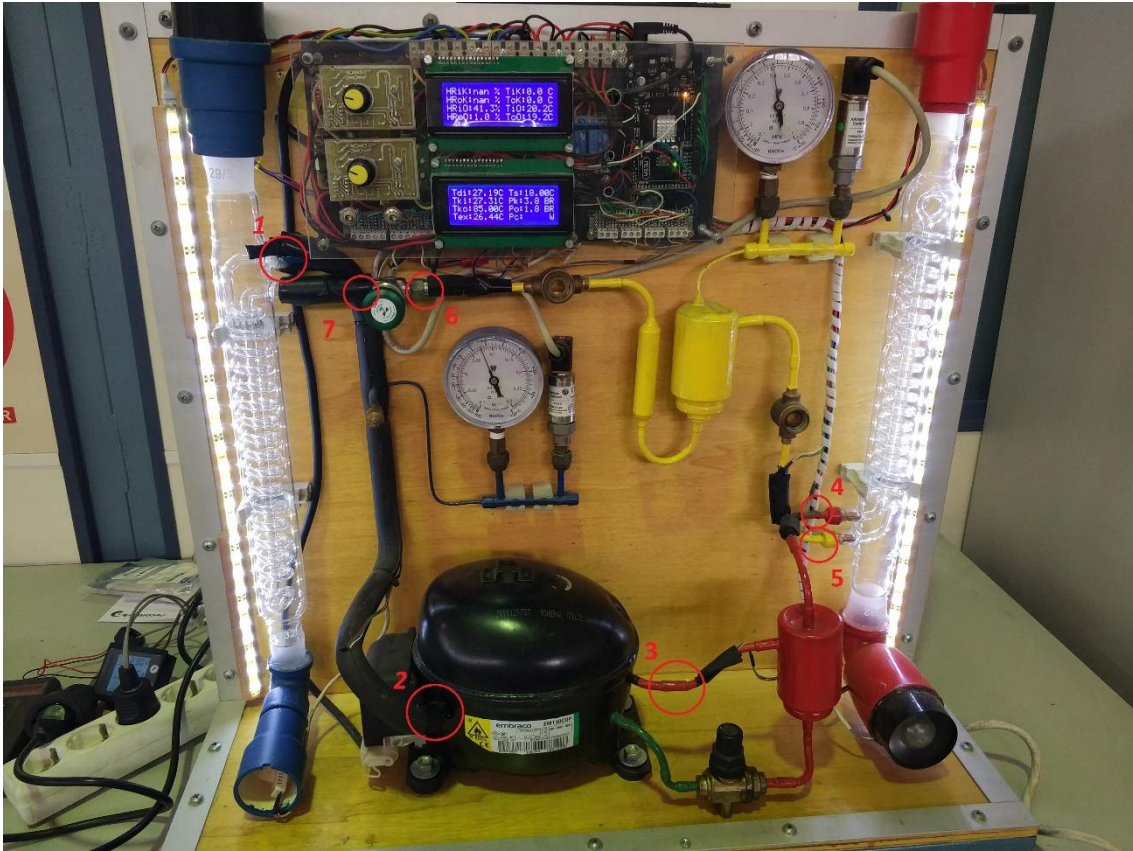
*Ilustración 48 - Imagen del equipo entrada y salida de los intercambiadores*

A continuación se detallan las temperaturas y humedades relativas obtenidas del aire utilizado como fluido de intercambio de calor en los intercambiadores.

Ciclo	Evaporador	Condensador
<b>Temperatura aire IN</b>	20,5°C	20,2°C
<b>Temperatura aire OUT</b>	12,9°C	35,8°C
<b>Humedad relativa aire IN</b>	40%	20,3%
<b>Humedad relativa aire OUT</b>	57,3%	42,1%

*Tabla 18 - Datos experimentales del aire de los intercambiadores*

Y por último con un termómetro con sonda, se miden las temperaturas de los puntos marcados en la ilustración siguiente.



*Ilustración 49 - Imagen del equipo con los puntos del ciclo*

Los puntos corresponden a:

- Punto 1: Salida del evaporador
- Punto 2: Aspiración compresor
- Punto 3: Descarga del compresor
- Punto 4: Entrada condensador
- Punto 5: Salida del condensador
- Punto 6: Entrada válvula expansión
- Punto 7: Salida válvula de expansión

Punto del ciclo	Temperatura
1	17°C
2	29,3°C
3	43°C
4	41°C
5	40,1°C
6	39°C
7	5,5°C

Tabla 19 - Temperaturas refrigerante R600a en distintos puntos del ciclo

A continuación los resultados del cálculo del ciclo con los datos obtenidos.

Punto	T(°C)	P(bar)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	x
1	17	1.1	585.2	2.455	1
2	29.3	1.1	605.9	2.525	
3	43	6.8	708.7	1.353	
4	41	6.8	686.3	2.525	
5	40	6.8	297	1.407	0
6	39	6.8	294.5	1.408	0.0001764
7	5.5	1.1	294.5		0.2339

Tabla 20 - Datos de los distintos puntos del ciclo

<b>COP</b>	0,9224
<b>Q<sub>r</sub> (W)</b>	247,78
<b>W<sub>dot</sub> (W)</b>	268,72

Tabla 21 - Resultados del cálculo del ciclo

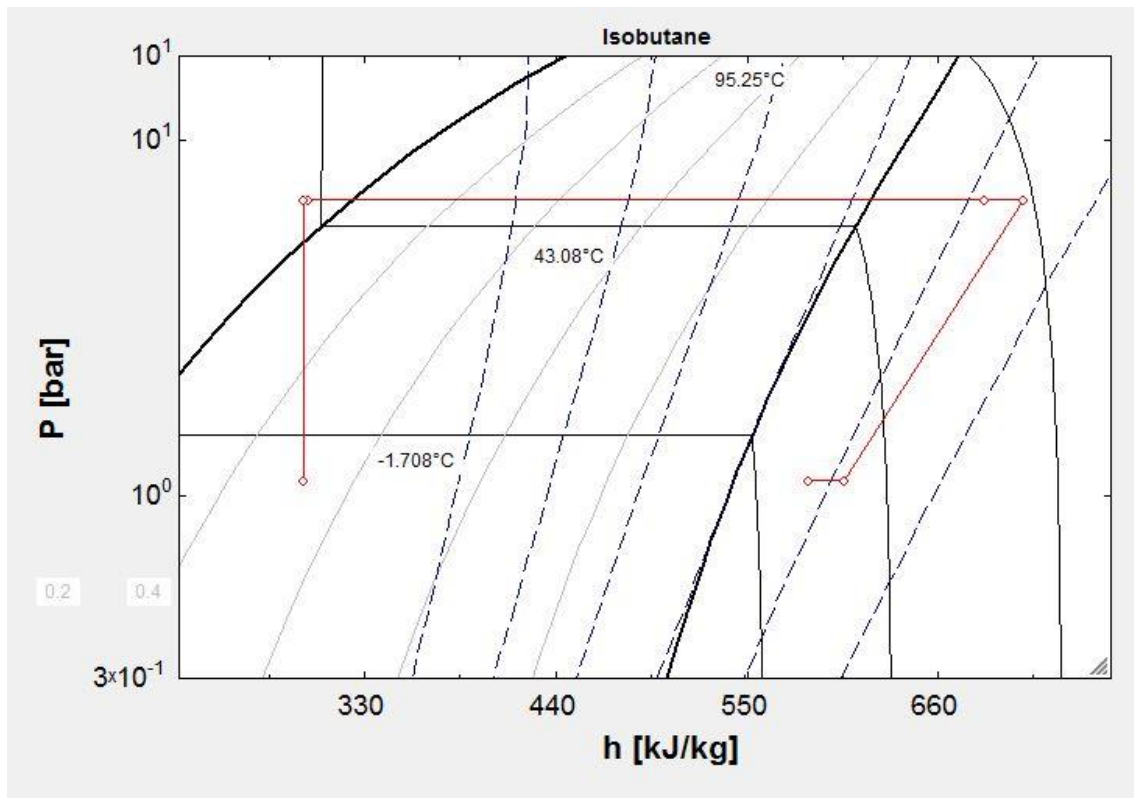


Ilustración 50 - Diagrama Presión-Entalpía del ciclo sacado del EES

## 5.2 Conclusiones y posibles mejoras

Como último apunte y después de analizar el estado del equipo se proponen distintas opciones para mejorar el proyecto en una posible segunda versión de este.

- Instalar protecciones eléctricas para el compresor y los transformadores.
- Cubrir completamente la parte eléctrica con metacrilato de forma que esta quede visible pero no se pueda tener acceso desde la parte frontal, esto evita posibles desconexiones de cables y proporciona más seguridad para la manipulación por parte del alumno.
- Equilibrar el peso en el centro de la estructura para que sea más fácil de transportar.
- Reducir el tamaño de los intercambiadores y el tamaño total del equipo.
- Diseñar placas PCB propias para el conexionado de sensores a Arduino, ya que el conexionado hecho a mano ha dado problemas.

## **II - Anexos**

### **Índice**

**1 Cálculo sistema de refrigeración**

**2 Cálculos evaporador y compresor**

**3 Cálculos electrónica sistema de adquisición de datos**

**4 Guía práctica de laboratorio**

# Anexos

## 1 Cálculo sistema de refrigeración

Ciclo	Evaporador	Condensador
Rango de temperaturas	5°C/-10°C	40°C/65°C

Tabla 22 - Rangos de temperaturas del ciclo

Ciclo	Salida del condensador	Salida del evaporador
Título de vapor	0	1

Tabla 23 - Título de vapor de los puntos 1 y 5

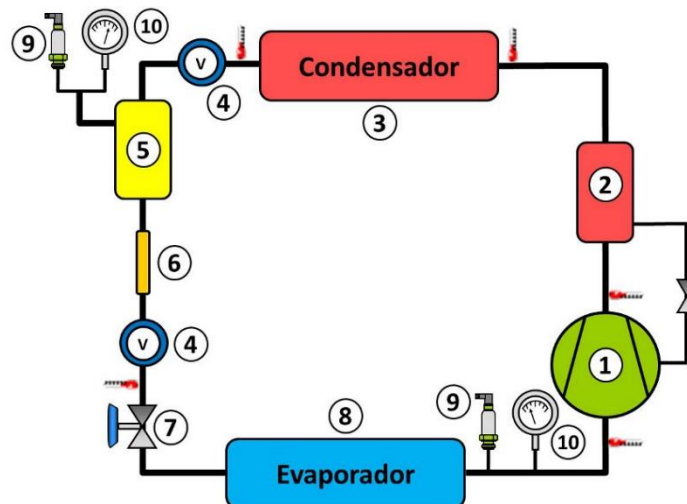


Ilustración 51 - Esquema ciclo compresión simple

Dentro del proyecto la numeración de los distintos puntos de éste se corresponde de la siguiente manera:

Punto 1 Salida del evaporador

Punto 2 Aspiración compresor

Punto 3 Descarga del compresor



Punto 4 Entrada condensador

Punto 5 Salida del condensador

Punto 5' Salida deposito intermedio

Punto 6 Entrada evaporador

El punto 5 y 5' se va a considerar en las mismas condiciones

### Cálculo temperaturas 0°C, 35°C

A continuación se realizan los cálculos para las siguientes temperaturas:

Ciclo	Evaporador	Condensador
Temperatura	0°C	35°C
Recalentamiento útil	0°C	5°C

Tabla 24 - Temperaturas de funcionamiento y recalentamiento útil

A partir del diagrama entalpia-presión del refrigerante R600a se pueden obtener las presiones para los puntos 1 y 5.

Ciclo	Punto 1	Punto 5
Presión	1,567 bar	4,645 bar

Tabla 25 - Presiones del punto 1 y del punto 5

### Cálculo del Punto 5

Ya que se conoce la temperatura a la que se encuentra el punto 5 y la presión de este punto es de 4,645 bar. Por lo tanto el Punto 5 queda definido con estas dos variables y se puede obtener su entalpia, que será:

$$h_5 = 284,3 \frac{kJ}{kg}$$

### Cálculo del Punto 6

Al ser este punto isoentálpico con el punto 5 y no considerar las pérdidas la entalpía del punto 6 será la siguiente:

$$h_6 = 284,6 \frac{kJ}{kg}$$

Al conocer la temperatura del punto 6 que es la misma que la del punto 1, este punto queda definido y se pueden obtener también la presión y el título de vapor:

$$P_6 = 1,567 \text{ bar}$$

$$x_6 = 0,23$$

### Cálculo del Punto 1

Ya que se conoce la temperatura a la que se encuentra el punto 1 y la presión de este punto es de 1,567 bar. Por lo tanto el punto 1 queda definido con estas dos variables y se puede obtener su entalpía, que será:

$$h_1 = 555 \frac{kJ}{kg}$$

### Calculo del Punto 2

Este punto queda definido por la presión del punto anterior y la suma de un recalentamiento útil. Esto hace que quede definido y se puedan obtener tanto la entalpía como la entropía:

$$T_2 = T_1 + RU = 0^\circ C + 5^\circ C = 5^\circ C$$

$$h_2 = 563,2 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = 2,33 \frac{kJ}{kgK}$$

### Cálculo del Punto 3

Este punto queda definido por la presión de la línea después del compresor que es de 5,25 bar y la entropía del punto anterior, así pues se puede obtener tanto la entalpia como la temperatura:

$$s_3 = 2,36 \frac{kJ}{kgK}$$

$$h_3 = 617,5 \frac{kJ}{kg}$$

$$T_3 = 43,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Cálculo del rendimiento interno del compresor

Para poder ubicar el punto 4 será necesario calcular el rendimiento interno del compresor y poder aplicar la siguiente fórmula para calcular la entalpia Una vez calculado el rendimiento interno del compresor, utilizamos la fórmula que lo relaciona con las entalpías.

$$\eta_v = \frac{(h_3 - h_2)}{(h_4 - h_2)}$$

Los siguientes datos necesarios para el cálculo del rendimiento interno del compresor se han obtenido del estudio de comparación de refrigerantes: Sánchez, D., Cabello, R., Llopis, R., Arauzo, I., Catalán-Gil, J., Torrella, E., 2017a. Energy performance evaluation of R1234yf, R1234ze(E), R600a, R290 and R152a as low-GWP R134a alternatives. International Journal of Refrigeration 74, 267-280.

$$\eta_v = 0.7505 + 0.03799 * P_2 - 0.01212 * P_3 + 0.001658 * T_2$$

$$\eta_v = 0,762$$

De este estudio también se ha obtenido el dato de la eficiencia global del compresor que es:

$$\eta_g = 0,3078$$

#### Calculo del Punto 4

La entalpia  $h_4$  es la entalpia que tendría en punto 3 si la compresión se produjera idealmente de una forma isoentropica. Por lo tanto mediante la presión en el punto 3 y sabiendo que la entropía del punto 2 es igual a la del punto 3 obtenemos la entalpia del punto 3 (ideal).

Una vez obtenida la entalpia ideal podemos despejar la entalpia real del punto 2 de la ecuación anterior.

$$h_4 = \frac{h_3 - h_2}{\eta_v} + h_2$$

$$h_4 = 605,2 \frac{kJ}{kg}$$

Al tener la entalpia y la presión ya se puede ubicar el punto y obtener la temperatura.

$$P_4 = 4,645 \text{ bar}$$

$$T_4 = 36,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para el cálculo de la potencia cedida por el evaporador y el condensador y la potencia del compresor será necesario conocer el flujo másico, éste dato se calcula a continuación con la siguiente fórmula:

$$\dot{V}_G = \text{cilindrada} * \frac{N}{60}$$

$$\eta_v = \frac{v_{asp} * \dot{m}}{\dot{V}_G}$$

Para poder realizar los siguientes cálculos, se debe seleccionar previamente un compresor para poder hacer una primera iteración y comprobar si se ajusta al ciclo comparándolo con la energía que es capaz de disipar el condensador y el evaporador.

El compresor es el EMT26CLP, de la marca Embraco.

Los datos necesarios para el cálculo del flujo másico son:

<b>Cilindrada (cm3)</b>	<b>5,19</b>
<b>N (rpm)</b>	<b>2900</b>
<b>Vasp(m<sup>3</sup>/kg)</b>	<b>0,03464</b>

*Tabla 26 - Datos para el cálculo del flujo másico*

$$\dot{m} = 7,82 \frac{kg}{h}$$

Potencia del compresor:

$$\frac{54,3 \frac{kJ}{kg} * 7,82 \frac{kg}{h}}{0,307} = 1415,59 \frac{kJ}{h} = 393,21 \text{ W}$$

Potencia cedida por el evaporador:

$$278,9 \frac{kJ}{kg} * 7,82 \frac{kg}{h} = 2181,26 \frac{kJ}{h} = 605,90 W$$

Potencia absorbida por el condensador:

$$320,9 \frac{kJ}{kg} * 7,82 \frac{kg}{h} = 2509,74 \frac{kJ}{h} = 697,15 W$$

Punto	T(°C)	P(bar)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	x
<b>1</b>	0	1,567	555	2,3	1
<b>2</b>	5	1,567	563,2	2,33	-
<b>3</b>	43,23	4,645	617,5	2,369	-
<b>4</b>	36,75	4,645	605,2	2,33	-
<b>5</b>	35	4,645	284,3	1,288	0
<b>6</b>	0	1,567	284,3	-	0,2375

Tabla 27 - Resultados del cálculo con el EES

Después de los resultados obtenidos anteriormente se realizan los cálculos correspondientes a las temperaturas de condensación de 35°C, 45°C y 55°C; y las temperaturas de evaporación de 0°C, -5°C y -10°C.

A continuación una gráfica de los resultados más reseñables del cálculo frigorífico del ciclo:

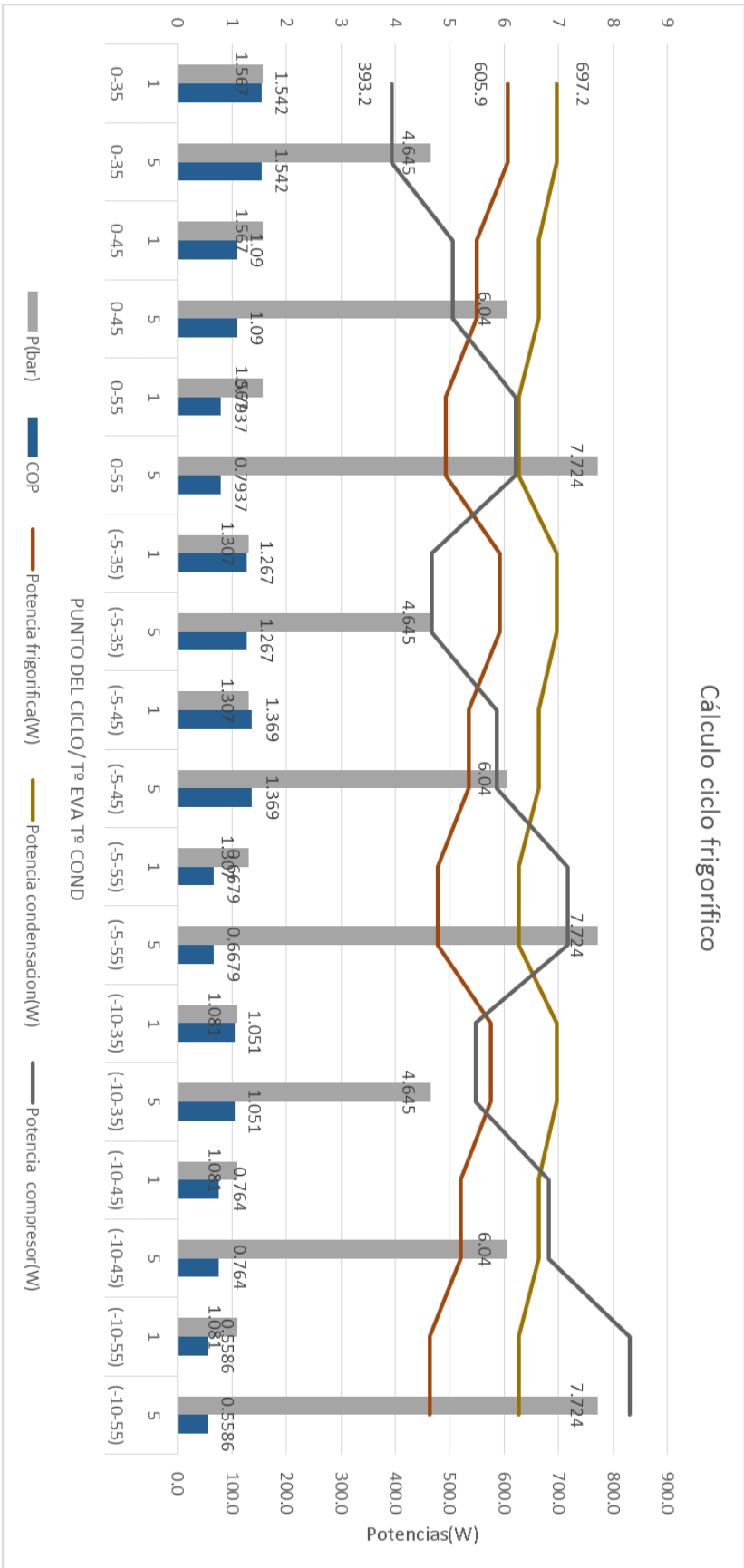


Ilustración 52-Gráfica con los datos claves del cálculo del ciclo

Para comprobar si el compresor es adecuado para los intercambiadores, se calcula las potencias que son capaces de disipar los intercambiadores.

Para dimensionar el sistema se toma la potencia máxima que disipa el condensador, en el peor de los casos, este caso es el de 0°C de temperatura de evaporación y 35°C de condensación. La potencia a disipar es de 697,2 W

También se validan que las temperaturas y presiones de funcionamiento son correctas y ninguna excede los límites marcados en el diseño.

## 2 Cálculo condensador y del evaporador

Para calcular las potencias que son capaces de disipar el condensador y el evaporador es necesario calcular el coeficiente global de transmisión de calor.

Como la potencia frigorífica es menor que la del compresor se considera que el intercambiador elegido y calculado será válido tanto para el evaporador como el condensador.

Para el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor serán necesarias las resistencias térmicas del sistema.

$$U * A = \frac{1}{R_{aire} + R_{vidrio} + R_{R600a}}$$

$$R_{aire} = \frac{1}{2 * \pi * L * r_{ext} * h_{aire}}$$

$$R_{R600a} = \frac{1}{2 * \pi * L * r_{int} * h_{R600a}}$$

$$R_{vidrio} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 * \pi * L * k_{vidrio}}$$



Los datos para calcular las resistencias son los siguientes,

$h_{R600a}$	1700 W/m <sup>2</sup> K
$k_{vidrio}$	1,2 W/mK
$h_{aire}$	10 W/m <sup>2</sup> K
$r_{int}$	3,18x10 <sup>-3</sup> m
$r_{ext}$	3,98x10 <sup>-3</sup> m
L	2,31 m

Tabla 28-Datos para el cálculo de las resistencias térmicas

El dato del coeficiente de convección del refrigerante R600a se ha obtenido del estudio *Experimental study on heat transfer characteristics of R600a/POE/CuO nano-refrigerant flow condensation*.

Los radios interior y exterior son datos obtenidos del tubo de cobre utilizado.

El coeficiente de conducción del vidrio se obtiene del programa EES al igual que el coeficiente de convección del aire.

Y la longitud del intercambiador se calcula con el número de espirales, el radio de estas y la longitud.

$$R_{aire} = \frac{1}{2 * \pi * L * r_{ext} * h_{aire}} = 0,004933 \frac{^{\circ}C m^2}{W}$$

$$R_{aire} = \frac{1}{2 * \pi * L * r_{ext} * h_{aire}} = 0,0072 \frac{^{\circ}C m^2}{W}$$

$$R_{vidrio} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 * \pi * L * k_{vidrio}} = 0,0083 \frac{^{\circ}C m^2}{W}$$

$$U * A_s = \frac{1}{R_{aire} + R_{vidrio} + R_{R600a}} = 49,334 \frac{W}{m^2K}$$

Una vez calculado el coeficiente global de transmisión de calor, comprobamos que la potencia que es capaz de disipar el condensador sea suficiente.

Para ello se necesita la diferencia de temperatura logarítmica media y definimos la disposición como contracorriente por lo que tenemos las siguientes ecuaciones a resolver.

$$\dot{Q} = U * A_s * \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{c,in} - T_{f,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{c,out} - T_{f,in}$$

Nomenclatura	Temperatura (°C)
$T_{c,in}$	36,75
$T_{c,out}$	35
$T_{f,in}$	25
$T_{f,out}$	30

Tabla 29 - Temperaturas del fluido caliente y del fluido frío para el condensador

$$\Delta T_1 = T_{c,in} - T_{f,out} = 6,75^{\circ}C$$

$$\Delta T_2 = T_{c,out} - T_{f,in} = 10^{\circ}C$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = 12,54^\circ C$$

$$\dot{Q} = U * A_s * \Delta T_{lm} = 618,64 W$$

Como se puede comprobar, el condensador no será capaz de disipar todo el calor necesario del circuito con lo que, debemos elegir otro compresor con menor cilindrada y volver a realizar el cálculo del ciclo para comprobar si es adecuado el compresor.

Se selecciona el compresor EMT 30 CDP, de la marca Embraco.

Los datos necesarios para el cálculo del flujo másico son:

<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>5,19</b>
<b>N (rpm)</b>	<b>2900</b>
<b>V<sub>asp</sub>(m<sup>3</sup>/kg)</b>	<b>0,03464</b>

*Tabla 30 - Datos para el cálculo del flujo másico*

Puesto que la potencia que es capaz de disipar el condensador seleccionado es de 618,64 W y la potencia cedida por el ciclo con el compresor EMT 30 CDP es de 604,5 W en el caso más desfavorable, cuándo condensa a 35°C y evapora a 0°C.

Una vez comprobado el condensador, que es el más restrictivo, se calcula la potencia que es capaz de absorber el evaporador:

<b>Nomenclatura</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>T<sub>c,in</sub></b>	25
<b>T<sub>c,out</sub></b>	20
<b>T<sub>f,in</sub></b>	0
<b>T<sub>f,out</sub></b>	0

*Tabla 31-Temperaturas del fluido caliente y del fluido frío para el evaporador*

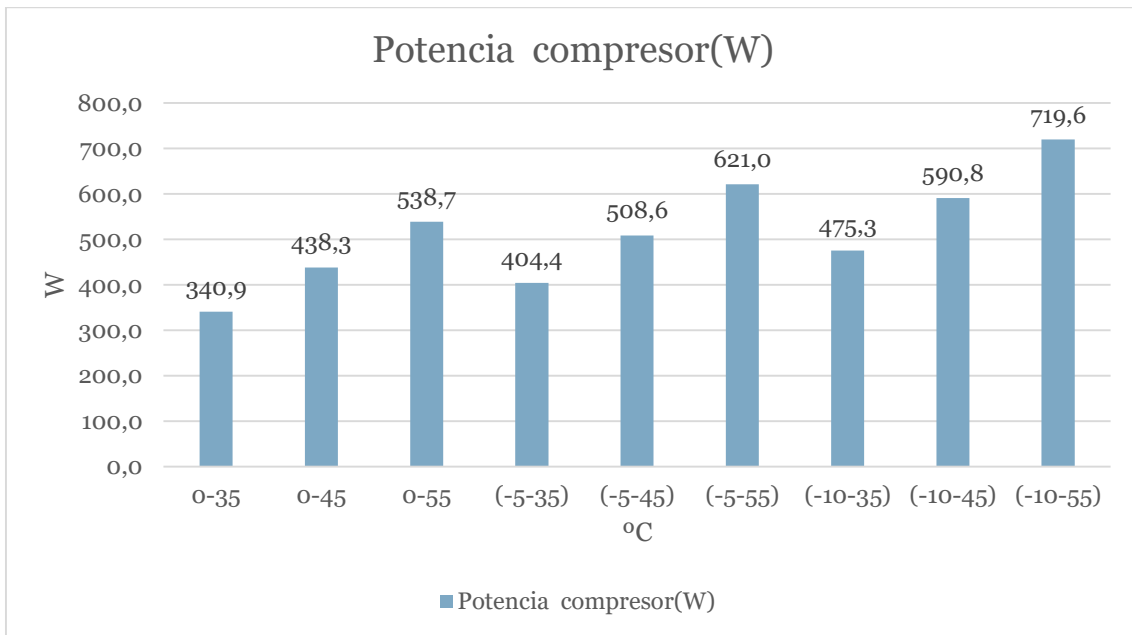
$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = 22,4^\circ C$$

$$U * A_s = \frac{1}{R_{aire} + R_{vidrio} + R_{R600a}} = 23,57 \frac{W}{m^2 K}$$

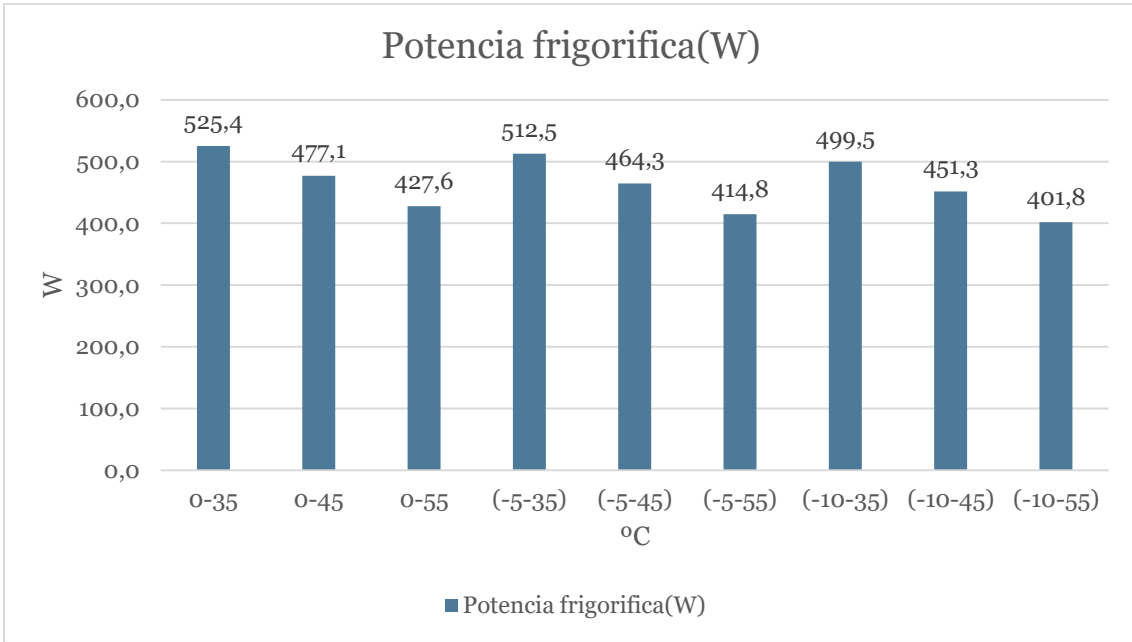
$$\dot{Q} = U * A_s * \Delta T_{lm} = 528,22W$$

Se comprueba que el evaporador es capaz de absorber la potencia que demanda el ciclo en el caso más desfavorable.

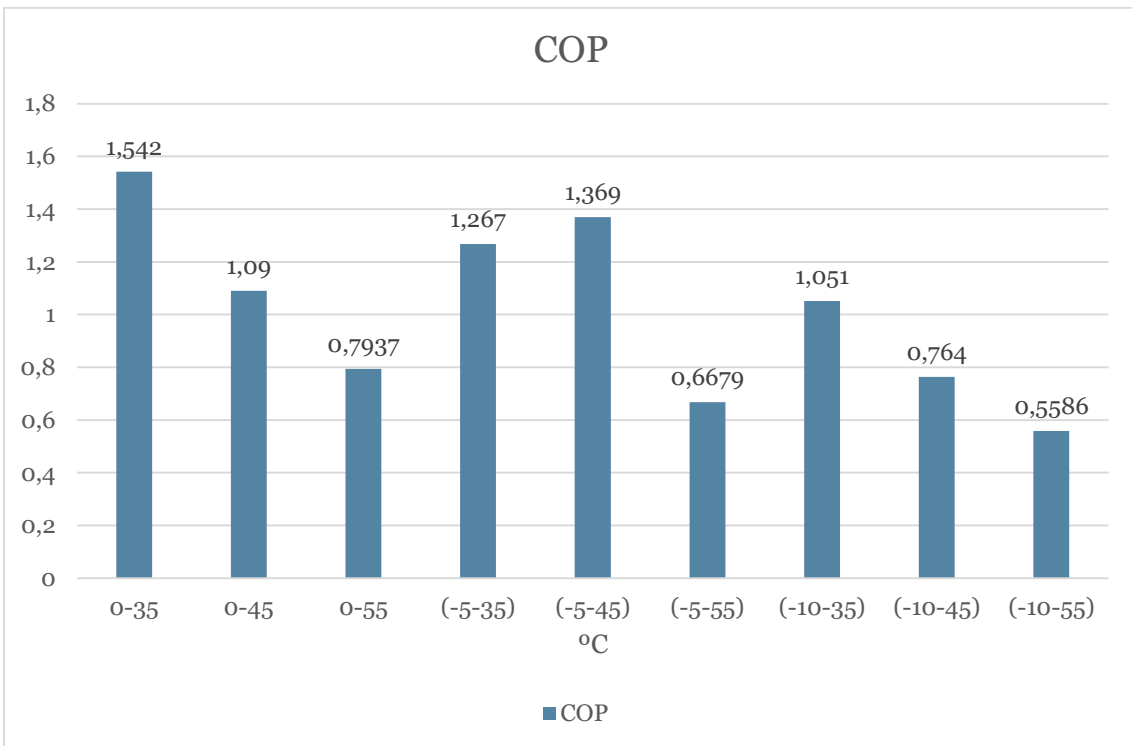
A continuación unas gráficas resumen con los cálculos del ciclo. Como se puede comprobar el compresor seleccionado es válido para el ciclo y para el condensador y el evaporador seleccionados.



*Ilustración 53 - Potencia Consumida frente a las temperaturas de condensación y evaporación*



*Ilustración 54 - Potencia frigorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación*



*Ilustración 55 - COP frente a la temperaturas de condensación y evaporación*

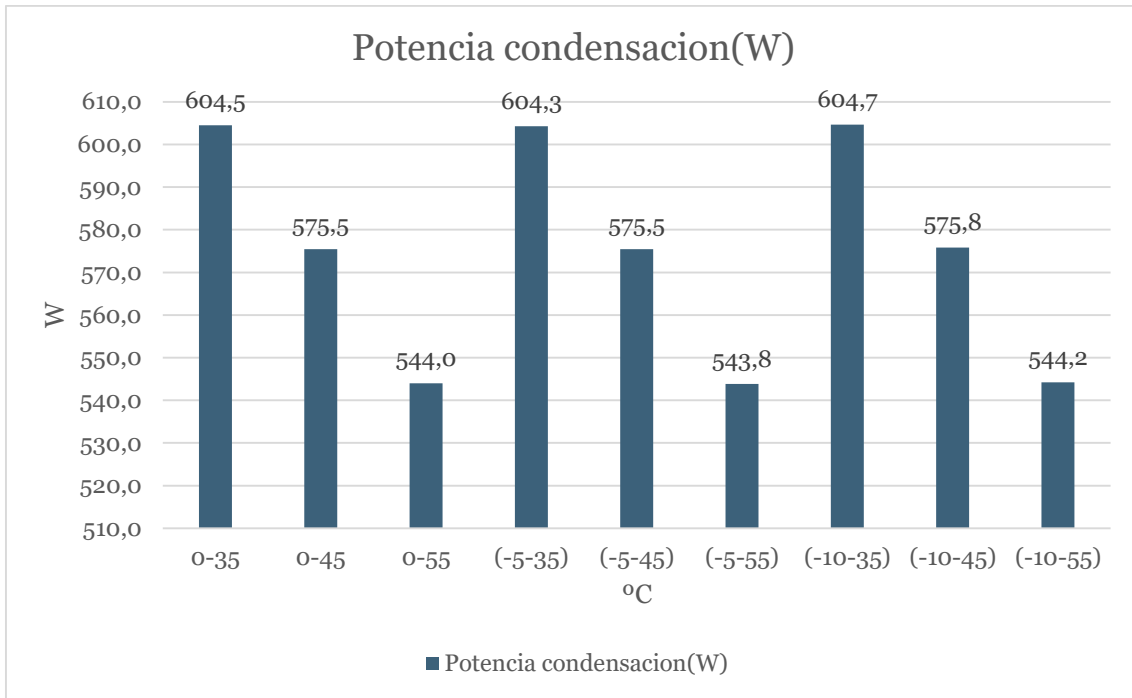


Ilustración 56 - Potencia calorífica frente a la temperaturas de condensación y evaporación

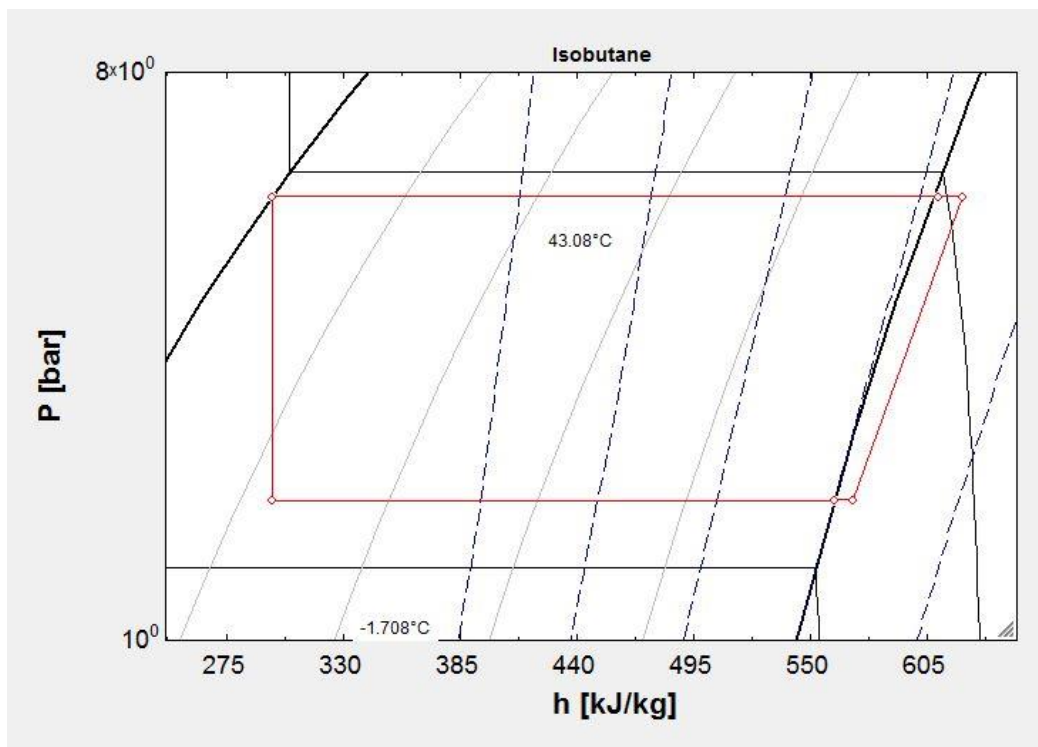


Ilustración 57 - Diagrama Presión-Entalpía R600a del ciclo sacado del EES para 0°C en el evaporador y 35°C en el condensador

### 3 Cálculos electrónica sistema de adquisición de datos

#### 3.1 Primer transformador 24VAC

##### 3.1.1 Cálculos 12V

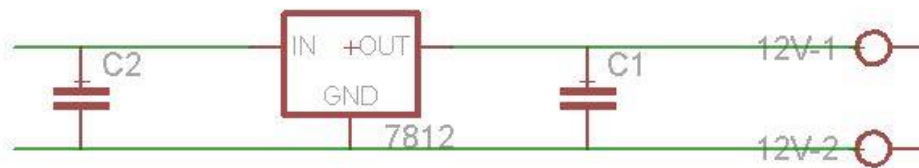


Ilustración 58 - Circuito 12V

La información sobre los componentes de la tabla se encuentra en el manual del componente MC7812B, preseleccionado para realizar los siguientes cálculos.

Características	Datos
Rechazo al rizado	<b>60 dB</b>
Rizado de salida	<b>2,2mV</b>
Caída de tensión mínima	<b>2V</b>

Tabla 32 - Características regulador de tensión MC7812B

Se necesita una salida  $V_N = 12V \pm 0,5V$ , por lo tanto se utilizará un regulador 7812, por ejemplo el MC7812B de la marca On components. Este regulador tiene un rechazo al rizado de 60dB, por lo que para un rizado de salida de 2,2 mV el rizado de entrada es de:  $2,2mV * 10^{60/20} = 2,2V$ .

La caída de tensión mínima es de 2V según las especificaciones del fabricante, por lo que la tensión mínima de entrada debe ser mayor que  $12V + 2V = 14V$  para que no deje de regular en ningún caso.

La tensión del condensador tendrá un valor medio mayor de  $14,6V + 2 * 0,7V = 17V$  y un rizado de 2,2V por lo que la tensión mínima del condensador será 19,2V.

$$V_N > \frac{19,2 + 2 * V_D}{\sqrt{2}} \approx \frac{19,1}{\sqrt{2}} = 13,5V$$

Se supone una caída máxima en los diodos de 1V. Para tener la caída de tensión adicional del transformador debida al pico de corriente (los diodos solo conducen durante un pequeño intervalo en el que se recarga el condensador), se tomará un valor  $V_N = 15V$

La intensidad de entrada al regulador de tensión es

$$I_0 = 0,5 A$$

El valor del condensador de filtro se obtendrá del rizado.

$$\Delta V = \frac{I_0}{f_p * C} \rightarrow C = \frac{0,5}{100 * 2,2} = 2272,72 \mu F$$

Se elegirá un condensador comercial de 2200  $\mu F$

Para el peor de los casos, que es cuando la fuente esté en vacío la tensión del secundario será bastante mayor, será (30% o más)

$$V_N > 1,3 * (\sqrt{2} * V_N - 2V_D) = 26V$$



Por lo tanto se elegirá un condensador de 3300  $\mu F$  que soporte 30V.

A continuación se calcularán las potencias consumidas por cada elemento del circuito.

La potencia disipada por cada diodo será

$$P_D = V_D * \frac{I_0}{2} = 1 * \frac{0.5}{2} = 0,25W$$

Potencia máxima disipada por el regulador de tensión con el fin de prever su evacuación (mediante un disipador de calor si fuera necesario):

$$P_{\text{reg12V MAX}} = (V_{C\text{media}} - V_L) * I_0 = \left(24 * \sqrt{2} - \frac{2,2}{2} - 2 * 0,7 - 12\right) * 0.5 = 9,72W$$

Si se admite una diferencia de temperatura de 90°C entre la unión y el ambiente cuyas temperaturas son dadas por el *datasheet* del regulador en cuestión.

Características	Datos
Temperatura máxima de la unión ( $T_{\text{max}}$ )	<b>125°C</b>
Temperatura ambiente ( $T_{\text{amb}}$ )	<b>40°C</b>
Resistencia térmica mínima ( $R_{\theta JA}$ )	<b>65 <math>\frac{^{\circ}C}{W}</math></b>
Resistencia térmica de la unión al encapsulado ( $R_{\theta JC}$ )	<b>5 <math>\frac{^{\circ}C}{W}</math></b>

Tabla 33 - Datos Regulador 7805

$$R_{\theta JAmb} \leq \frac{85^{\circ}C}{9,72W} = 8,74 \frac{^{\circ}C}{W} < 65 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Como se necesita una resistencia térmica menor que la que tiene el regulador sin disipador, se necesita añadir un disipador.

$$R_{\theta JAmb} \leq 8,74 \frac{^{\circ}C}{W} = R_{\theta JC} + R_{\theta CAmb}$$

$$R_{\theta JC} \leq 8,74 - 5 = 3,74 \frac{^{\circ}C}{W}$$

En este caso, se necesitará un disipador de resistencia menor que  $3,72 \frac{^{\circ}C}{W}$

### 3.1.2 Cálculos 24V

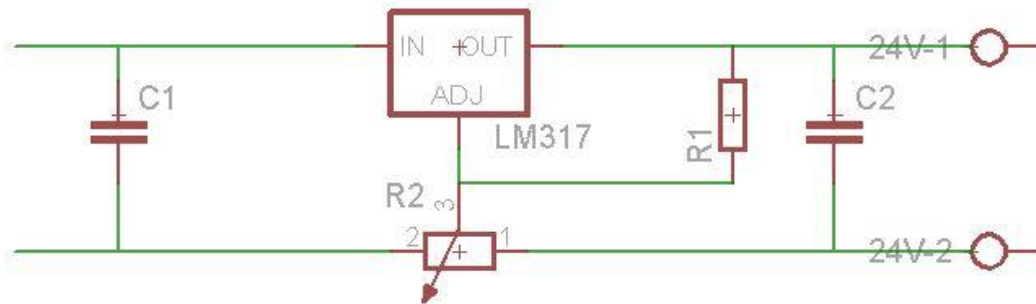


Ilustración 59 - Circuito 24V

Primero se calculará el regulador de voltaje variable para los ventiladores que moverán el flujo en los intercambiadores de cristal.

La información sobre los componentes de la tabla se encuentra en el manual del componente LM317, preseleccionado para realizar los siguientes cálculos.

Características	Datos
Tensión de funcionamiento mínima	<b>1,2V</b>
Tensión de funcionamiento máxima	<b>37V</b>
Rechazo al rizado	<b>60dB</b>
Rizado de salida para tensión de salida mínima	<b>5mV</b>

Tabla 34 - Características regulador de tensión variable LM317

Sabiendo estos datos se definen la tensión máxima y mínima a la salida del circuito como las siguientes.

Características	Datos
Tensión de salida mínima	<b>5V</b>
Tensión de salida máxima	<b>24V</b>

*Tabla 35- Características salida circuito 24V*

Según el circuito el dispositivo produce una caída de tensión de 1,25V entre el pin de salida y el pin de ajuste. Al incluir el divisor resistivo, la tensión de salida se calcula como:

$$1,25 = V_L * \frac{R_1}{R_2 + R_1}$$

Despejando la Tensión de salida quedaría.

$$V_L = 1,25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Se le da un valor a la resistencia fija  $R_1$  de  $1000 \Omega$ . Por lo tanto se puede calcular el valor máximo y mínimo de la resistencia variable  $R_2$ .

$$24 = 1,25 * \left(1 + \frac{R_2}{1000}\right)$$

$$R_{2max} = 18.200\Omega$$

Y para el valor mínimo de la resistencia variable

$$5 = 1,25 * \left(1 + \frac{R_2}{1.000}\right)$$

$$R_{2max} = 3.000\Omega$$

Con estos datos se puede utilizar un potenciómetro comercial *Bourns 3310Y* comercial.

Sabiendo que hay una caída de tensión de 1,25V la entrada al regulador de tensión será de 24,5V

Este regulador tiene un rechazo al rizado de 60dB, por lo que para un rizado de salida de 5 mV el rizado de entrada es de:  $5\text{mV} * 10^{60/20} = 5\text{V}$ .

La caída de tensión mínima es de 2V según las especificaciones del fabricante, por lo que la tensión mínima de entrada debe ser mayor que  $24\text{V} + 1,25\text{V} = 25,25\text{V}$  para que no deje de regular en ningún caso.

La tensión mínima para del regulador para que el ventilador funcione al máximo es de 20+5V

Tensión en el condensador, teniendo en cuenta la tensión de los diodos.

$$25,25\text{V} + 1,4\text{V} = 26,65\text{V}$$

$$V_N > \frac{26,65 + 1,4}{\sqrt{2}} \approx 19,83\text{V}$$

Por lo tanto se puede utilizar un transformador comercial de 24V

El valor del condensador de filtro se obtendrá del rizado.

$$\Delta V = \frac{I_0}{f_p * C} \rightarrow C = \frac{0,5}{100 * 5} = 1000 \mu F$$

Se elegirá un condensador comercial de 1000  $\mu F$

Para el peor de los casos, que es cuando la fuente esté en vacío la tensión del secundario será bastante mayor, será (30% o más)

$$V_N > 1,3 * (\sqrt{2} * V_N - 2V_D) = 41,52V$$

Por lo tanto se elegirá un condensador de 1000  $\mu F$  que soporte 50V.

A continuación se calcularán las potencias consumidas por cada elemento del circuito.

La potencia disipada por cada diodo será

$$P_D = V_D * \frac{I_0}{2} = 1 * \frac{0,5}{2} = 0,25W$$

Potencia máxima disipada por el regulador de tensión con el fin de prever su evacuación (mediante un disipador de calor si fuera necesario):

$$P_{\text{reg24V MAX}} = (V_{C\text{media}} - V_L) * I_0 = \left(24 * \sqrt{2} - \frac{5}{2} - 2 * 0,7 - 24\right) * 0,5 = 4,09W$$

Si se admite una diferencia de temperatura de 90°C entre la unión y el ambiente cuyas temperaturas son dadas por el *datasheet* del regulador en cuestión.

Características	Datos
Temperatura máxima de la unión( $T_{max}$ )	<b>125°C</b>
Temperatura ambiente( $T_{amb}$ )	<b>40°C</b>
Resistencia térmica mínima ( $R_{\theta JA}$ )	<b>65 <math>\frac{^{\circ}C}{W}</math></b>
Resistencia térmica de la unión al encapsulado ( $R_{\theta JC}$ )	<b>5 <math>\frac{^{\circ}C}{W}</math></b>

Tabla 36 - Datos Regulador LM317

$$R_{\theta JAmb} \leq \frac{85^{\circ}C}{4,09W} =, \frac{^{\circ}C}{W} 20,78 < 65 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Como se necesita una resistencia térmica menor que la que tiene el regulador sin disipador, se necesita añadir un disipador.

$$R_{\theta JAmb} \leq 20,78 \frac{^{\circ}C}{W} = R_{\theta JC} + R_{\theta CAmb}$$

$$R_{\theta JC} \leq 20,78 - 5 = 15,78 \frac{^{\circ}C}{W}$$

En este caso, se necesitará un disipador de resistencia menor que 15,78  $\frac{^{\circ}C}{W}$

## 3.2 Segundo transformador 15VDC

### 3.2.1 Cálculos 5V

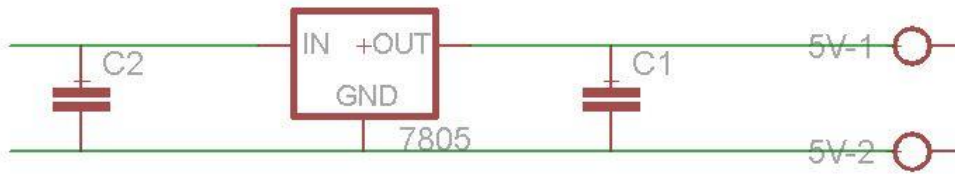


Ilustración 60 - Circuito 5V

La información sobre los componentes de la tabla se encuentra en el manual del componente MC7805B, preseleccionado para realizar los siguientes cálculos.

Características	Datos
Rechazo al rizado	<b>60 dB</b>
Rizado de salida	<b>1,3mV</b>
Caída de tensión mínima	<b>2V</b>

Tabla 37 - Características regulador de tensión MC7805B

Se necesita una salida  $V_N = 5V \pm 0,25V$ , por lo tanto se utilizará un regulador 7805, por ejemplo el MC7809B de la marca On components. Este regulador tiene un rechazo al rizado de 60dB, por lo que para un rizado de salida de 1,3 mV el rizado de entrada es de:

$$\Delta V = 1,8 \text{ mV} * 10^{60/20} = 1,3V.$$

La caída de tensión mínima es de 2V según las especificaciones del fabricante, por lo que la tensión mínima de entrada debe ser mayor que  $5,25V + 2V = 7,25V$  para que no deje de regular en ningún caso.

La tensión del condensador tendrá un valor medio mayor de  $7,25V + 2 * 0,7V = 8,65V$  y un rizado de 1,3V por lo que la tensión mínima del condensador será 9,95V.

$$V_N > \frac{9,95 + 2 * V_D}{\sqrt{2}} \approx \frac{11,5}{\sqrt{2}} = 8,45V$$

Se supone una caída máxima en los diodos de 1V. Para tener la caída de tensión adicional del transformador debida al pico de corriente (los diodos solo conducen durante un pequeño intervalo en el que se recarga el condensador), se tomará un valor  $V_N = 15V$

La intensidad de entrada al regulador de tensión es

$$I_0 = 0,5 A$$

El valor del condensador de filtro se obtendrá del rizado.

$$\Delta V = \frac{I_0}{f_p * C} \rightarrow C = \frac{0,5}{100 * 1,3} = 3846,15 \mu F$$

Se elegirá un condensador comercial de  $3900 \mu F$

Para el peor de los casos, que es cuando la fuente esté en vacío la tensión del secundario será bastante mayor, será (30% o más)

$$V_N > 1,3 * (\sqrt{2} * V_N - 2V_D) = 25,75V$$

Por lo tanto se elegirá un condensador de  $3300 \mu F$  que soporte 30V.

A continuación se calcularán las potencias consumidas por cada elemento del circuito.

La potencia disipada por cada diodo será



$$P_D = V_D * \frac{I_0}{2} = 1 * \frac{0.5}{2} = 0,25W$$

Potencia máxima disipada por el regulador de tensión con el fin de prever su evacuación (mediante un disipador de calor si fuera necesario):

$$P_{reg5V MAX} = (V_{Cmedia} - V_L) * I_0 = \left(15 * \sqrt{2} - \frac{1,3}{2} - 2 * 0,7 - 5\right) * 0.5 = 7,081W$$

Si se admite una diferencia de temperatura de 85°C entre la unión y el ambiente cuyas temperaturas son dadas por el *datasheet* del regulador en cuestión.

Características	Datos
Temperatura máxima de la unión (T <sub>max</sub> )	125°C
Temperatura ambiente (T <sub>amb</sub> )	40°C
Resistencia térmica mínima (R <sub>θJA</sub> )	65 $\frac{°C}{W}$
Resistencia térmica de la unión al encapsulado (R <sub>θJC</sub> )	5 $\frac{°C}{W}$

Tabla 38 - Datos Regulador 7805

$$R_{\theta JAmb} \leq \frac{85}{7.081} = 12 \frac{°C}{W} < 65 \frac{°C}{W}$$

Como se necesita una resistencia térmica menor que la que tiene el regulador sin disipador, se necesita añadir un disipador.

$$R_{\theta JAmb} \leq 12 \frac{°C}{W} = R_{\theta JC} + R_{\theta CAmb}$$

$$R_{\theta JC} \leq 12 - 5 = 7 \frac{°C}{W}$$

En este caso, se necesitará un disipador de resistencia menor que 7  $\frac{°C}{W}$

### 3.2.2 Cálculos 9V

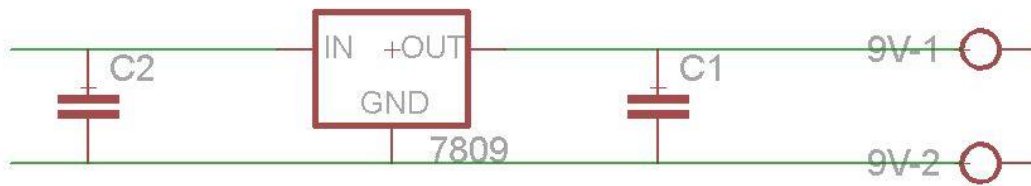


Ilustración 61 - Circuito 9V

La información sobre los componentes de la tabla se encuentra en el manual del componente MC7809B, preseleccionado para realizar los siguientes cálculos.

Características	Datos
Rechazo al rizado	<b>60 dB</b>
Rizado de salida	<b>1,8mV</b>
Caída de tensión mínima	<b>2V</b>

Tabla 39 - Características regulador de tensión MC7809B

Se necesita una salida  $V_N = 9V \pm 0,5V$ , por lo tanto se utilizará un regulador 7809, por ejemplo el MC7809B de la marca On components. Este regulador tiene un rechazo al rizado de 60dB, por lo que para un rizado de salida de 1,8 mV el rizado de entrada es de:

$$\Delta V = 1,8 \text{ mV} * 10^{60/20} = 1,8V.$$

La caída de tensión mínima es de 2V según las especificaciones del fabricante, por lo que la tensión mínima de entrada debe ser mayor que  $9,5V + 2V = 11,5V$  para que no deje de regular en ningún caso.

La tensión del condensador tendrá un valor medio mayor de  $11,5V + 2 * 0,7V = 12,9V$  y un rizado de 1,8V por lo que la tensión mínima del condensador será 14,7V.

$$V_N > \frac{14,7 + 2 * V_D}{\sqrt{2}} = 11,38V$$

Se supone una caída máxima en los diodos de 1V. Para tener la caída de tensión adicional del transformador debida al pico de corriente (los diodos solo conducen durante un pequeño intervalo en el que se recarga el condensador), se tomará un valor  $V_N = 15V$

La intensidad de entrada al regulador de tensión es

$$I_0 = 0,5 A$$

El valor del condensador de filtro se obtendrá del rizado.

$$\Delta V = \frac{I_0}{f_p * C} \rightarrow C = \frac{0,5}{100 * 1,8} = 2777,77 \mu F$$

Se elegirá un condensador comercial de  $2700 \mu F$

Para el peor de los casos, que es cuando la fuente esté en vacío la tensión del secundario será bastante mayor, será (30% o más)

$$V_N > 1,3 * (\sqrt{2} * V_N - 2V_D) = 25,75V$$

Por lo tanto se elegirá un condensador de  $820 \mu F$  que soporte 30V.

A continuación se calcularán las potencias consumidas por cada elemento del circuito.

La potencia disipada por cada diodo será

$$P_D = V_D * \frac{I_0}{2} = 1 * \frac{0.5}{2} = 0,25W$$

Potencia máxima disipada por el regulador de tensión con el fin de prever su evacuación (mediante un disipador de calor si fuera necesario):

$$P_{\text{reg9V MAX}} = (V_{\text{Cmedia}} - V_L) * I_0 = \left(15 * \sqrt{2} - \frac{1,8}{2} - 2 * 0,7 - 9\right) * 0.5 = 4,95W$$

Si se admite una diferencia de temperatura de 90°C entre la unión y el ambiente cuyas temperaturas son dadas por el *datasheet* del regulador en cuestión.

Características	Datos
Temperatura máxima de la unión (T <sub>max</sub> )	125°C
Temperatura ambiente (T <sub>amb</sub> )	40°C
Resistencia térmica mínima (R <sub>θJA</sub> )	65 $\frac{°C}{W}$
Resistencia térmica de la unión al encapsulado (R <sub>θJC</sub> )	5 $\frac{°C}{W}$

Tabla 40 - Datos Regulador 7805

$$R_{\theta JAmb} \leq \frac{85°C}{4,95W} = 17,17 \frac{°C}{W} < 65 \frac{°C}{W}$$

Como se necesita una resistencia térmica menor que la que tiene el regulador sin disipador, se necesita añadir un disipador.

$$R_{\theta JAmb} \leq 17,17 \frac{°C}{W} = R_{\theta JC} + R_{\theta CAmb}$$

$$R_{\theta JC} \leq 17,17 - 5 = 12,17 \frac{°C}{W}$$

En este caso, se necesitará un disipador de resistencia menor que 12,17  $\frac{°C}{W}$

### 3.2.3 Cálculos 12V

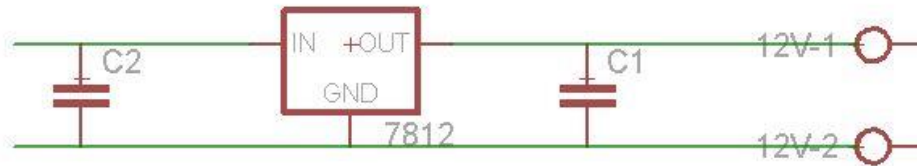


Ilustración 62 - Circuito 12V

La información sobre los componentes de la tabla se encuentra en el manual del componente MC7812B, preseleccionado para realizar los siguientes cálculos.

Características	Datos
Rechazo al rizado	<b>60 dB</b>
Rizado de salida	<b>2,2mV</b>
Caída de tensión mínima	<b>2V</b>

Tabla 41 - Características regulador de tensión MC7812B

Se necesita una salida  $V_N = 12V \pm 0,6V$ , por lo tanto se utilizará un regulador 7812, por ejemplo el MC7812B de la marca On components. Este regulador tiene un rechazo al rizado de 60dB, por lo que para un rizado de salida de 2,2 mV el rizado de entrada es de:

$$\Delta V = 2,2 \text{ mV} * 10^{60/20} = 2,2V.$$

La caída de tensión mínima es de 2V según las especificaciones del fabricante, por lo que la tensión mínima de entrada debe ser mayor que  $12,6V + 2V = 14,6V$  para que no deje de regular en ningún caso.

Si la intensidad de entrada al regulador de tensión es de.

$$I_0 = 0,5 \text{ A}$$

El valor del condensador de filtro se obtendrá del rizado.

$$\Delta V = \frac{I_0}{f_p * C} \rightarrow C = \frac{0,5}{100 * 2,2} = 2272,72 \mu F$$

Se elegirá un condensador comercial de 2200  $\mu F$

Para el peor de los casos, que es cuando la fuente esté en vacío la tensión del secundario será bastante mayor, será (30% o más)

$$V_N > 1,3 * (\sqrt{2} * V_N - 2V_D) = 25,75V$$

Por lo tanto se elegirá un condensador de 2700  $\mu F$  que soporte 30V.

A continuación se calcularán las potencias disipadas por cada elemento del circuito.

La potencia disipada por cada diodo será

$$P_D = V_D * \frac{I_0}{2} = 1 * \frac{0,5}{2} = 0,25V$$

Potencia máxima disipada por el regulador de tensión con el fin de prever su evacuación (mediante un disipador de calor si fuera necesario):

$$P_{\text{Reg12V MAX}} = (V_{C\text{media}} - V_L) * I_0 = \left(15 * \sqrt{2} - \frac{2,2}{2} - 2 * 0,7 - 12\right) * 0,5 = 3,35W$$

Si se admite una diferencia de temperatura de 85°C entre la unión y el ambiente cuyas temperaturas son dadas por el *datasheet* del regulador en cuestión.

Características	Datos
Temperatura máxima de la unión( $T_{max}$ )	<b>125°C</b>
Temperatura ambiente( $T_{amb}$ )	<b>40°C</b>
Resistencia térmica mínima ( $R_{\theta JA}$ )	<b>65 <math>\frac{^{\circ}C}{W}</math></b>
Resistencia térmica de la unión al encapsulado ( $R_{\theta JC}$ )	<b>5 <math>\frac{^{\circ}C}{W}</math></b>

Tabla 42 - Datos Regulador 7805

$$R_{\theta JAmb} \leq \frac{85^{\circ}C}{3,35W} = 25,37 \frac{^{\circ}C}{W} < 65 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Como se necesita una resistencia térmica menor que la que tiene el regulador sin disipador, se necesita añadir un disipador.

$$R_{\theta JAmb} \leq 25,37 \frac{^{\circ}C}{W} = R_{\theta JC} + R_{\theta CAmb}$$

$$R_{\theta JC} \leq 25,37 - 5 = 20,37 \frac{^{\circ}C}{W}$$

En este caso, se necesitará un disipador de resistencia menor que  $20,37 \frac{^{\circ}C}{W}$





## 4 PRÁCTICA DE REFRIGERACIÓN.

### 4.1 Objetivo de la práctica

- Visualizar el proceso de Refrigeración por compresión de refrigerante R600a bajo condiciones reales de funcionamiento.
- Determinar la capacidad de Refrigeración.
- Determinar el trabajo del Compresor.
- Determinar el coeficiente de operación del ciclo de refrigeración ideal.
- Determinar el coeficiente de operación del ciclo de refrigeración experimental o real.
- Representar de forma gráfica las condiciones de funcionamiento del ciclo.

### 4.2 Equipos y materiales a utilizar

- Equipo didáctico de Refrigeración por compresión de Vapor con Refrigerante R600a.
- Termómetro digital de temperatura.
- Sensor de humedad digital.
- Tabla de Refrigerante R 600a.
- Diagrama P-h del Refrigerante 600a.
- Textos relacionados con ciclos de Refrigeración.

**NOTA: Se debe tener en cuenta que es un prototipo y no ha pasado certificaciones oficiales de seguridad y se debe tratar el equipo como tal y bajo la supervisión de un profesor o técnico de laboratorio.**

- Si la presión supera los 10 bares apagar inmediatamente el equipo.
- Si la presión baja de 1 bar apagar inmediatamente el equipo o abrir la válvula de expansión

### 4.3 Procedimiento experimental

Trabajo previo a la sesión de laboratorio, identificación de equipos, revisión de la teoría, evaluación preliminar de la práctica.

### 4.3.1 Práctica

Cuya ejecución consiste en:

- 1- Arranque del equipo didáctico de refrigeración por compresión de vapor, encender los ventiladores, y esperar a que se estabilice., esperar 25 min de tiempo para la estabilización de la presión, hasta que la presión de baja sea de 1,4 bares,
- 2- Tomar muestra de presiones de las líneas de alta y baja presión a través del Arduino,
- 3- Tomar muestras de las temperaturas de todos los puntos necesarios para el cálculo del ciclo, los puntos 1 y 7 deberá medirlos el alumno manualmente con un termómetro facilitado por el profesor.
- 4- Tomar muestras de temperaturas y humedad de la entrada y salida de condensador y de evaporador
- 5- Variar la válvula de expansión hasta que la presión de baja sea de 1.2 bar, esperar a que se estabilice y repetir el proceso de mediciones.
- 6- Variar la válvula de expansión hasta que la presión de baja sea de 1.1 bar, esperar a que se estabilice y repetir el proceso de mediciones.

### 4.3.2 Memoria de prácticas

- 1- Datos experimentales obtenidos de la práctica.
- 2- Cálculos relacionados con la obtención de los resultados.
- 3- Resultados obtenidos.
- 4- Graficar el ciclo de refrigeración para el refrigerante empleado basado en las condiciones de funcionamiento del banco, en el respectivo diagrama  $P-h$ .
- 5- Graficar en el mismo diagrama el ciclo de refrigeración ideal, haciendo las suposiciones teóricas que sean necesarias, bajo las condiciones de funcionamiento del equipo. Analizar las diferencias representadas en los gráficos.
- 6- Calcular los coeficientes de operación en los ciclos real e ideal; basados en las condiciones planteadas en la práctica. Analizar las diferencias o similitudes.

### 4.3.3 Esquemas funcionamiento

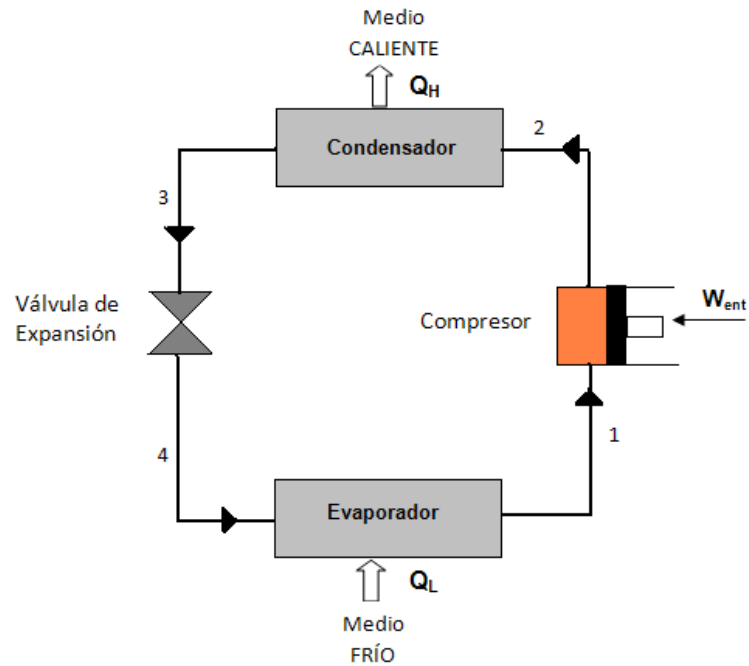


Ilustración 63 - Esquema del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

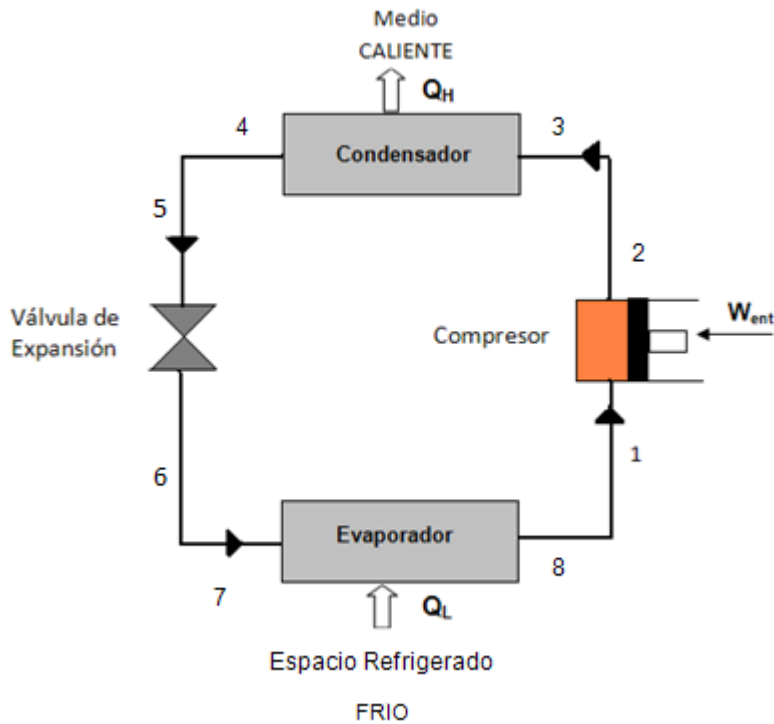


Ilustración 64 - Esquema del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

#### 4.4 Datos suministrados:

Se facilitaran los manuales de los distintos componentes del equipo por si fuera necesario la consulta de cualquier dato a la hora de realizar los cálculos, como por ejemplo el flujo másico que es capaz de suministrar el compresor o los coeficientes de convección del aire y del refrigerante.

### **III - Pliego de condiciones técnicas**

#### **Índice**

- ❖ **1 Pliego de condiciones generales**
- ❖ **2 Elementos estandarizados y comerciales**

# III - Pliego de condiciones técnicas

## 1 Pliego de condiciones generales

El presente proyecto como ya se ha mencionado anteriormente, es de marcado carácter multidisciplinar por lo que se deberá cumplir normativas de diferentes tipologías para que el proyecto sea ejecutable:

Referentes al sistema de refrigeración simple:

- 2014/29/UE: Trata legislación sobre recipientes a presión simples.
- 2014/68/UE: Directiva referente a comercialización de equipos a presión superiores máximas admisibles a 0,5bar
- 2014/35/UE: Legislación comprendida entre 50V y 1000V en corriente alterna.
- 2006/42/CEE: Normativa de marcado CE para máquinas **Excepciones:** *las máquinas especialmente diseñadas y fabricadas con vistas a la investigación para uso temporal en laboratorios.*
- BOE-A-2011-4292: Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.

Referentes al sistema de adquisición de datos:

- 2014/30/UE: Compatibilidad Electromagnética (EMC)
- 2011/65/EU: Restricción uso de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrodoméstico, **excepción:** *los aparatos específica y exclusivamente diseñados para fines de investigación y desarrollo*

## 2 Elementos estandarizados y comerciales

En el presente proyecto se han decidido utilizar elementos comerciales y por lo tanto estandarizados a fin de ahorrar costes, ya que el coste unitario es menor al haber sido producido en masa por los fabricantes. A continuación se muestran los elementos comerciales y estandarizados que se deben de adquirir a fin de conseguir el ensamblado del sistema de refrigeración:

Elementos para el sistema de compresión simple			
Cantidad	Elemento	Descripción	Fabricante
2	Depósito	Genérico 8 cm	-
2	Intercambiador	DRO3-201-001	LABBOX
1	Compresor	EMBRACO EMT30CDP	EMBRACO

1	Válvula de expansión	Swagelok SS-4L	Swagelok
1	Válvula de retorno	Castel 6410	Castel
1	Tubería ¼"	Bobina de cobre 15m	Pecomark
1	Visor	Visor líquido	Pecomark
1	Filtro deshidratador	Filtro deshidratador	Pecomark
1	Tes	Tes de cobre ¼"	Pecomark
1	Refrigerante	R600a, botella rellenable 0,9L	Salvador Escoda
1	Aislante	Bobina de 25m aislante PKTape	Pecomark

Tabla 43 - Tabla con elementos del sistema de compresión simple

Elementos para el sistema de adquisición de datos			
Cantidad	Elemento	Descripción	Fabricante
4	Sensor temperatura	18b20	Merssavo
4	Sensor humedad y temperatura	DHT22	WINGONEER
2	Sensor de presión	Johnson Control P499	Johnson Control
1	Placa Arduino	Arduino Mega 2560	Arduino CC
2	Ventilador radial	RL48-19/14	Embpapst
2	LED 1m	RS Pro 5500	RS

Tabla 44 - Tabla con elementos del sistema de adquisición de datos





## **IV-Presupuesto**

### **Índice**

- ❖ **1 Coste ejecución material**
- ❖ **2 Coste de diseño y desarrollo**
- ❖ **3 Coste de ejecución total**

# IV - Presupuesto

---

## 1 Coste de ejecución material

En este proyecto existen dos presupuestos, el atribuible al cliente y el atribuible a la empresa que lo decide implementar. En la memoria se ha especificado el coste atribuible al cliente, y en esta sección será el asociado a la empresa.

Como ya se había mencionado en el capítulo 1 de la memoria, el coste base del equipo es el siguiente:

Elementos para el sistema de compresión simple				
Cantidad	Elemento	Descripción	Precio unitario (€)	Precio total (€)
2	Depósito	Genérico 8 cm	15	30
2	Intercambiador	DRO3-300-001	18,80	37,60
1	Compresor Embraco	Embraco EM T30CDP	156	156
1	Válvula de expansión	Válvula de expansión Swagelok	63,7	63,7
1	Válvula de retorno	Castel 6610	25	25
1	Tubería ¼"	Bobina de cobre 15m	27,58	27,58
2	Visor	Visor líquido	4,70	9,40
1	Filtro deshidratador	Filtro deshidratador	5,60	5,60
2	Tes	Tes de cobre ¼"	3,70	7,40
1	Refrigerante	R600a, botella desechable 0,9Kg	42	42
1	Aislante	Bobina de 25m aislante PKTape	10,80	10,80
2	Manómetros		12	24

1	Toma de carga	Toma carga por obús refrigerante para el compresor de ¼"	2,45	2,45
1	Soldador	Soldador Propileno MAP Pro 1L	59	59
15	Varilla soldar		3,08	45,8
1	Bomba vacío	VE225N5V	120	120
1	Asa		17,95	17,95
1	Madera	Madera contrachapada	19,95	19,95
2	Perfil de acero	Barra de 2m de acero	8	16
1	Plancha metacrilato	1 x 0,5 m x 2,5 mm.	8,95	8,95
			<b>Total</b>	<b>729,18€</b>

Tabla 45-Presupuesto material equipo refrigeración

Elementos para el sistema de adquisición				
Cantidad	Elemento	Descripción	Precio unitario (€)	Precio total (€)
2	Sensor de presión	Johnson Controls P 499	99	198
2	Ventilador 24 V	40x40x10mm 0.8W	12	24
2	1 m luz LED	RS Pro	12	24
4	Sensor Temperatura y humedad	DHT22	4,41	17,64
5	Sensor temperatura	18b20	1,52	7,6
2	Pantalla	Pantalla LCD	11,91	23,82
1	Módulo LCD	PCF8574	2,70	2,70
1	Controlador	Arduino Mega 2560 R3	11,99	11,99
1	Fuentes de alimentación	Conjunto material fuentes de alimentación	30	30
2	1m cable conexiones arduino	0,5mm diametro	1,23	2,46

1	PCB	5 Placas PCB para conexión	4,99	4,99
1	Elementos electrónicos varios	Estaño, resistencias, punteras de conexión	7	7
2	Interruptor	Mininterruptor de palanca Cylewet	1,98	3,96
1	Interruptor	Interruptor 20A 250V	2,62	2,62
			<b>Total</b>	<b>360,78€</b>

Tabla 46 - Presupuesto sistema de adquisición de datos

### Coste Equipo 1.003,96 €

Este coste no se tiene en consideración al poder ser un proyecto de carácter aplicable a otros equipos, por lo que se le tendría que sumar el coste de la carcasa y la refrigeración. En nuestro caso haciendo un desglose de precios del ciclo híbrido:

## 2 Coste de diseño y desarrollo

Elementos diseño, desarrollo y puesta a punto				
Cantidad	Personal	Tiempo empleado(horas)	Precio por hora(€)	Coste total(€)
2	Ingeniero Mecánico	40	30	1200
			<b>Total aproximado</b>	<b>2400€</b>

Tabla 47 - Coste personal puesta a punto del sistema

## 3 Coste de ejecución total

Coste de ejecución total	
<b>Coste equipo refrigeración</b>	1.089,96 €
<b>Coste diseño y desarrollo</b>	2.400 €
<b>Total</b>	<b>3.489,96€</b>

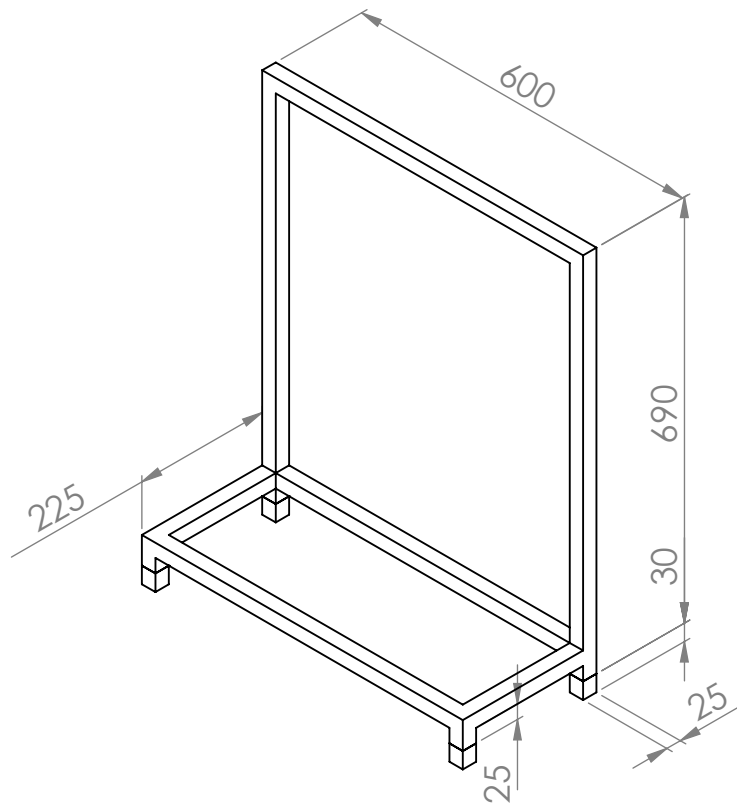
Tabla 48-Coste total del proyecto

## **IV-Planos**

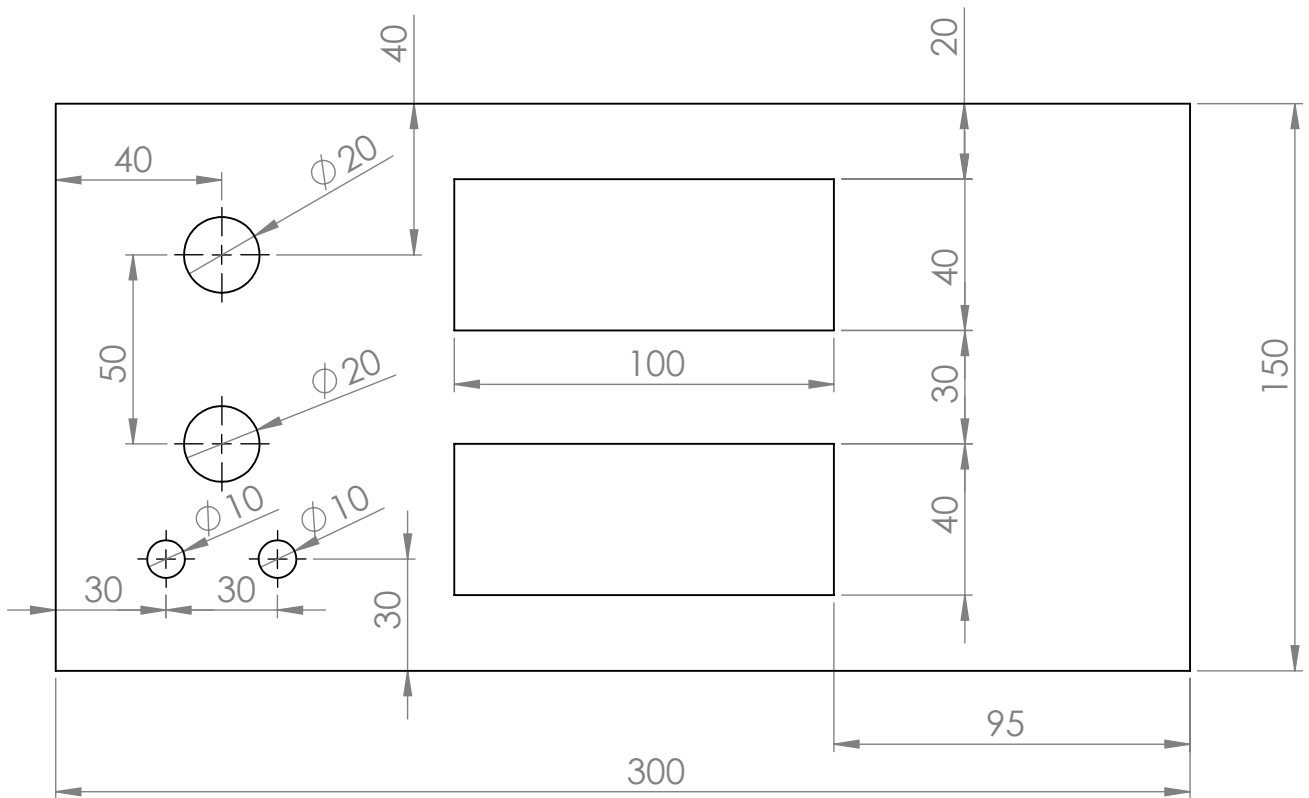
### **Índice**

**1 - Plano estructura**

**2 - Plano Visor metacrilato**



Autor:		David Conesa Sorolla		FECHA	Febrero 2018	1
Observaciones		Un. dim. mm.		Proyecto:		
28/02/18		Plano N°1		DESARROLLO Y MONTAJE DE UN EQUIPO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN CICLO DE COMPRESIÓN DE VAPOR		
Edición de estudiante de SolidWorks.		ESCALA:1:10		TÍTULO:		
Sólo para uso académico.				Estructura del equipo		
				Firma		A4



Autor: David Conesa Sorolla

FECHA

Febrero 2018 1

Proyecto:

DESARROLLO Y MONTAJE DE UN EQUIPO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN CICLO DE COMPRESIÓN DE VAPOR

Observaciones <sup>28/02/18</sup>

Un. dim. mm.

Plano N°2

TÍTULO:

Metacrilato sistema adquisición de datos

**Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.**

Firma

ESCALA: 1:2

A4