

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Tecnologías Industriales

Mención en Energía

Análisis de un sistema de climatización experimental

Autora: Inés Marín Murillo

Tutores: Francisco Javier Pino Lucena

Miguel Larrañeta Gómez Caminero

**Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2022



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Análisis de un sistema de climatización experimental

Autora:

Inés Marín Murillo

Tutor:

Francisco Javier Pino Lucena
Profesor Titular de Universidad

Tutor:

Miguel Larrañeta Gómez Caminero
Profesor Sustituto Interino

Dpto. de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Trabajo Fin de Grado: Análisis de un sistema de climatización experimental

Autora: Inés Marín Murillo

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

Tutor: Miguel Larrañeta Gómez Caminero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimiento

En primer lugar, a mi familia, por apoyarme y animarme durante toda mi etapa universitaria y por toda la ayuda que me han brindado, en especial mi hermana Blanca, ingeniera, que me ha guiado por el camino y dado infinidad de consejos.

En segundo lugar, a mis profesores, que han hecho que me interese por esta rama y que se han implicado en enseñarme, sobre todo a mi tutor Fco. Javier Pino Lucena por su atención, tiempo y ayuda brindadas. También a Sergio, Gracia y Alan por toda la ayuda que me han proporcionado en el laboratorio.

Por último, a mis amigos y compañeros, quienes me han animado y motivado a lo largo de todos estos años y sin los que probablemente no estaría en el lugar donde estoy ahora.

Inés Marín Murillo

Sevilla, 2022

El drástico incremento a lo largo de los años de los equipos de aire acondicionado es uno de los grandes responsables de los gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera cada año. Este, entre otros, es motivo para que sea un sector en continuo estudio y desarrollo. Para poder mejorar esta situación, se han creado distintas medidas entre los distintos países, fomentando la eficiencia y el ahorro energético.

El objetivo, por tanto, del presente trabajo, es el análisis de un sistema de climatización experimental. A lo largo del mismo se estudiará en detalle el diseño, los componentes del sistema empleado y su funcionamiento para la obtención de resultados a partir del plan de ensayos. De esta manera, se analizarán los datos obtenidos tanto del consumo eléctrico del compresor, como del intercambiador de calor, de la cámara climática y la potencia frigorífica conseguida a través de la planta enfriadora y se compararán unos resultados con otros.

Para finalizar este proyecto se explicarán las conclusiones obtenidas no solo de la parte analítica sino también de la parte experimental, gracias a la cual se han corregido defectos de la máquina y del control automático de la misma.

The drastic increase over the years of air conditioning equipment is one of the major contributors to the greenhouse gases emitted into the atmosphere each year. This, among others, is the reason why it is a sector in continuous study and development. In order to improve this situation, various measures have been created between different countries, promoting efficiency and energy saving.

The objective, therefore, of the present work is the analysis of an experimental air conditioning system. Throughout this work, the design, the components of the system used and its operation will be studied in detail in order to obtain results from the test plan. In this way, the data obtained from the electrical consumption of the compressor, the heat exchanger, the climatic chamber and the cooling capacity obtained through the chiller plant will be analyzed and the results will be compared with others.

To conclude this project, we will explain the conclusions obtained not only from the analytical part but also from the experimental part, thanks to which defects in the machine and its automatic control have been corrected.

Índice

Agradecimiento	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xviii
Índice de Gráficos	xx
Notación	xxi
1 Introducción	25
1.1 <i>Definición</i>	25
1.2 <i>Contexto histórico</i>	26
1.3 <i>Funcionamiento y componentes</i>	26
1.4 <i>Importancia</i>	28
1.5 <i>Principales fabricantes</i>	33
2 Descripción de la planta	37
2.1 <i>Etapas del acondicionamiento de aire</i>	37
2.2 <i>Clasificación</i>	40
2.3 <i>Descripción general</i>	43
2.3.1 <i>Producción de frío y planta enfriadora.</i>	44
2.3.2 <i>Sistema de conductos</i>	44
2.3.3 <i>Cámara climática</i>	44
2.4 <i>Pantalla principal</i>	46
2.5 <i>Modos de operación</i>	48
2.6 <i>Dispositivos adicionales</i>	49
3 Plan de Ensayos y Ejecución	51
3.1 <i>Prácticas y ensayos de prueba</i>	51
3.2 <i>Ensayos reales</i>	53
4 Análisis de resultados	55
4.1 <i>Análisis primer ensayo</i>	55
4.2 <i>Análisis segundo ensayo</i>	60
4.3 <i>Análisis tercer y cuarto ensayo</i>	63
5 Conclusiones	71
Referencias	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicaciones y Tecnología en Refrigeración y Aire Acondicionado. Fuente: (Cooling Emissions and Policy Synthesis Report, 2020)	29
Tabla 2: valor total del mercado de equipos de climatización correspondiente al año 2021. Fuente: (Informe Anual de Mercado Climatización y HVAC de AFEC,2022).....	36
Tabla 3: tabla 1.4.1.1 del RITE: condiciones interiores de diseño	37
Tabla 4: potencias para primera velocidad.....	59
Tabla 5: potencias para la cuarta velocidad.....	59
Tabla 6: COP por velocidades de TACC	60
Tabla 7: Resultados de las diferentes potencias para 1000W	61
Tabla 8: Resultado del COP para el convector externo	62
Tabla 9: Resultados de las diferentes potencias para 500W.....	62
Tabla 10: Resultados del COP para las resistencias	63
Tabla 11: Resultados ensayo 3 hasta cuatro resistencias.....	64
Tabla 12: Resultados ensayo 3 con 5 resistencias.....	65
Tabla 12: Resultados del COP para hasta 4 resistencias	66
Tabla 13: Resultados del COP para cinco resistencias	66
Tabla 14: comparación temperatura de la cámara con 5 resistencias en el ensayo 3 y 4	67
Tabla 15: Muestra de resultados del ensayo cuarto para primeras resistencias	68
Tabla 16: Resultados del cuarto ensayo para 5 resistencias	69
Tabla 17: Resultados para 5 resistencias de la potencia en el condensador	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de Carnot Inverso. Fuente: (Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios, s. f.).....	27
Figura 2: Ciclo de refrigeración por compresión. Fuente: (Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios, s. f.).....	28
Figura 3: etiquetado energético eficiencia C establecido a partir del 1 de marzo 2021. Fuente: (Entra en vigor el nuevo etiquetado energético para fuentes de iluminación, 2021.).....	34
Figura 4: diagrama psicrométrico de ASHRAE.....	38
Figura 5: humedad relativa y el impacto sobre la salud. Fuente: (Style, 2020).....	39
Figura 6: ciclo del aire en verano. Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022).....	39
Figura 7: ciclo del aire en invierno. Fuente: (Luis Pérez-Lombard,2022).....	40
Figura 8: sistema de agua fría centralizado. Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022).....	41
Figura 9: generador térmico de tipo enfriadora (aire-agua). Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)....	42
Figura 10: ejemplo de sistema de refrigerante: autónomo. Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022).....	42
Figura 11: generador térmico: equipo autónomo (aire-aire). Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)...	43
Figura 12: foto general del equipo TACC.....	45
Figura 13: Diagrama de proceso y disposición de los elementos del equipo.....	46
Figura 14: Software del equipo TACC, pantalla principal.....	47
Figura 15: Ejemplo de gráfico del catálogo.....	47
Figura 16: pantalla de SCADA de parámetros de temperatura y humedad.....	49
Figura 17: Resistencias eléctricas en cabina de ensayo.....	50
Figura 18: sensor de temperatura Elitech. Fuente: (Temperature Data Logger, Temperature Controller - Elitecheu.com, s. f.).....	50
Figura 19: medidor de potencia. Fuente: (manual de “the Owl”, s. f.).....	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: Emisiones mundiales de GEI distribuidas por sectores económicos hasta 2019. Fuente: (Climate Watch Historical GHG Emissions, 2022).....	31
Gráfica 2: mercado según el tipo de refrigerante. Fuente: (Global Industrial Refrigeration Market Size, Share, System, Product - 2028, 2021)	32
Gráfica 3: Incremento de la temperatura global respecto a la era industrial. Fuente: (El cambio climático, en datos y gráficos, s. f.).....	32
Gráfica 4: resultados del ventilador al 25%.....	56
Gráfica 5: resultados del ventilador al 50%.....	56
Gráfica 6: resultados del ventilador al 75%.....	57
Gráfica 7: resultados del ventilador al 100%	57

HFC: hidrofluorocarbonos

HCFC: hidroclorofluorocarbonos

CFC: clorofluorocarbonos

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

CO₂: dióxido de carbono

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

AIE: Agencia Internacional de Energía

ICARHMA: Consejo Internacional de Asociaciones de Fabricantes de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción

HVAC: heating, ventilating and air conditioned

SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio. Ratio de eficiencia energética estacional

SCOP: Seasonal Coefficient of Performance. Coeficiente de rendimiento estacional

PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

AFEC: Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización

INE: Instituto Nacional de Estadística

PIB: Producto Interior Bruto

AEFYT: Asociación de Empresas Frigoríficas

RITE: Reglamento Instalaciones Térmicas en Edificios

PPD: porcentaje de personas insatisfechas

Met: unidad de medida del nivel de actividad. (1 met=58 W/m²)

Clo: unidad de resistencia térmica (1 clo=0,155 m²K/W)

ASHRAE: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado

RAC: Room Air Conditioners

VRV: Volumen de Refrigerante Variable

PC: Personal Computer

TACC: Equipo de Aire Acondicionado con Cámara Climática y Enfriador de Agua

R410: refrigerante

W: potencia eléctrica absorbida

L: litros

rpm: revoluciones por minuto

m: metros

s: segundos

K: Kelvin

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

COP: Coefficient Of Performance. Coeficiente de eficiencia energética

1 INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene por objeto el análisis de un sistema de climatización experimental con el que trabaja el Grupo de Termotecnia, ubicado en uno de los laboratorios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla proporcionado por EDIBON. Entre sus diferentes aplicaciones, como la corrección de los distintos errores que presentaba la máquina al comienzo de los ensayos, tiene como objetivo fundamental la obtención de un modelo analítico que permita facilitar su uso.

1.1 Definición

El sector que se dedica a la climatización no solo permite que las personas gocen de unas condiciones de temperatura y humedad adecuadas para vivir mejor, sino que incluso ha conseguido aumentar nuestra esperanza de vida al reducirse la mortalidad relacionada con el calor. Al sector puede asimismo atribuirse la mejora de ciertas capacidades relevantes del individuo como el aprendizaje. Además, hoy en día las personas realizan la mayor parte del tiempo sus actividades en el interior de los edificios, siendo una necesidad por tanto la de controlar las condiciones de confort.

La Real Academia Española define el término “climatizar” como “dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y a veces también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas”. La climatización consiste básicamente en la aplicación de un conjunto de componentes y equipos cuya función es mantener los parámetros ambientales dentro de unos límites confortables. Constituye un sector de la industria con un enorme desarrollo acumulado a lo largo de los años y que sigue evolucionando para alcanzar mayores cotas de eficiencia y tener un menor impacto medioambiental.

Existen diversas maneras de clasificar los sistemas de climatización. En este documento se clasifican los sistemas según la fuente de frío, diferenciando si son equipos centralizados (de agua) o autónomos (de refrigerante). En esta clasificación es importante distinguir cuál es el fluido caloportador, el tipo de intercambiador de calor que emplearán y cuál es el generador térmico, diferenciando entre si lo que se enfría o calienta es el aire o el agua.

1.2 Contexto histórico

El aire acondicionado no es un invento que haya aparecido en los últimos años, sino que ya en la antigüedad tenían en cuenta aspectos como la sombra, orientación solar y otros diseños de construcción como por ejemplo en el antiguo Egipto, donde usaban variedad de técnicas para poder combatir el calor y que el faraón disfrutara de una temperatura agradable, para ello transportaban piedras al desierto ya que las temperaturas eran muy bajas por la noche para después volver a trasladarlas al palacio.

Como lo conocemos hoy en día, el aire acondicionado tiene sus orígenes en 1842 debido a Lord Kelvin, que ideó un sistema de refrigeración cerrado capaz de absorber calor mediante gas refrigerante. Muchos otros sitúan el inicio del aire acondicionado en 1902 cuando el estadounidense Willis Haviland Carrier desarrolló la tecnología necesaria para resolver los problemas causados por la humidificación excesiva del aire enfriado.

Pronto Carrier diseñaría una máquina capaz de controlar la temperatura del ambiente y la humedad a través de una serie de tubos refrigerados. Este invento se puede considerar la primera máquina de aire acondicionado y fue patentada en 1906, aunque el término no se usó hasta la patente del ingeniero Stuart Kramer de un inyector de vapor en la industria textil.

En 1915 Carrier junto con varios ingenieros fundarían Carrier Engineering Company y ya en 1921 se patentó una máquina que permitía refrigerar superficies mayores. A partir del final de la Segunda Guerra Mundial empezó a extenderse por todo el mundo. Hoy en día Carrier es una de las empresas más importantes en el ámbito internacional.

Desde el 1990 hasta la actualidad las ventas de aires acondicionado se han visto triplicadas a casi 100 millones de unidades al año según la Agencia Internacional de Energía. Eso significa que cada hora se venden más de 10000 máquinas de aire acondicionado residenciales nuevos en algún lugar del planeta lo que equivale a que ese número está creciendo hasta en 10 dispositivos cada segundo. Se estima que hay 3.600 millones de aparatos de refrigeración en uso en todo el mundo hoy en día. Este crecimiento aumentará drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero del sector, haciendo que se caliente aún más el planeta por lo que se va a discutir a continuación la importancia de este sector.

1.3 Funcionamiento y componentes

El principio básico de la refrigeración es la existencia de un fluido con una temperatura más baja que otro al que se desea bajar su temperatura. Esta transferencia de energía térmica se realiza en una serie

de etapas y requiere distintos componentes.

En la mayoría de los sistemas de climatización, aire acondicionado, refrigeración doméstica e industria se emplea el ciclo de compresión de vapor. Este ciclo termodinámico está basado en el suministro y disipación de calor. El más sencillo de los ciclos es el que se compone de cuatro etapas, puesto que existen otros más complejos como puede ser el ciclo de refrigeración en cascada o el multietapa, este ciclo es una modificación del ciclo de Carnot inverso (Figura 1), en el que se sustituye el proceso de la turbina por el de un dispositivo de expansión (válvula) (Figura 2)

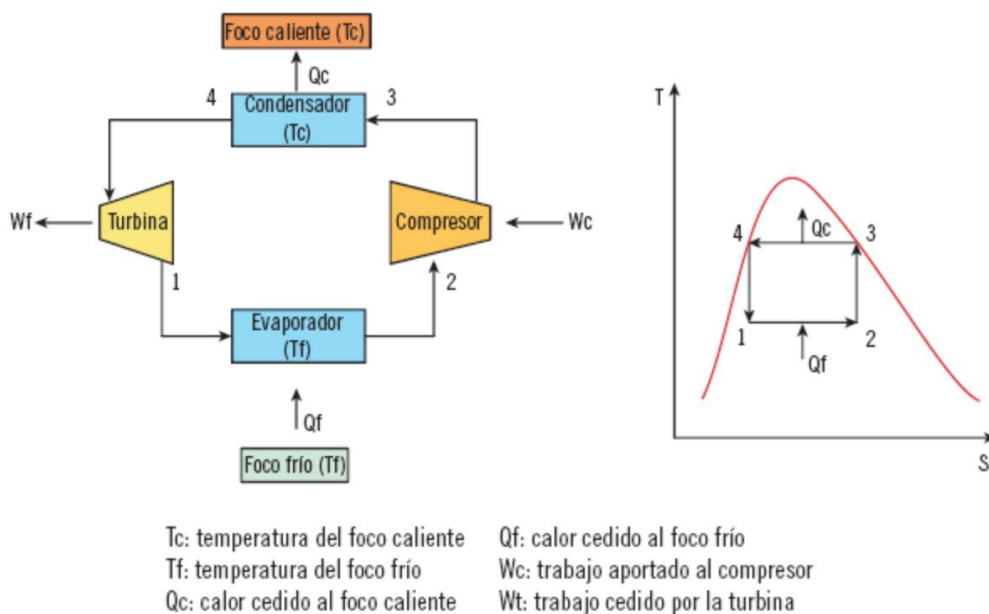


Figura 1: Ciclo de Carnot Inverso. Fuente: (Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios, s. f.)

En la modificación del ciclo de Carnot inverso los procesos son los siguientes según la numeración de la Figura 2:

- 1-2: Compresión adiabática en un compresor. El fluido llega al compresor en estado vapor saturado, el compresor eleva la presión del sistema a la vez que se aumenta la temperatura.
- 2-3: Disipación de calor a presión constante en el condensador. En este proceso se cambia de estado vapor a líquido, se cede calor al foco caliente.
- 3-4: Estrangulamiento en un dispositivo de expansión. A la válvula de expansión llega en forma líquida, posteriormente se disminuye su presión y temperatura.
- 4-1: Absorción de calor a presión constante en el evaporador. El evaporador absorbe la energía térmica a baja temperatura y cambia la fase del refrigerante de líquido a vapor.

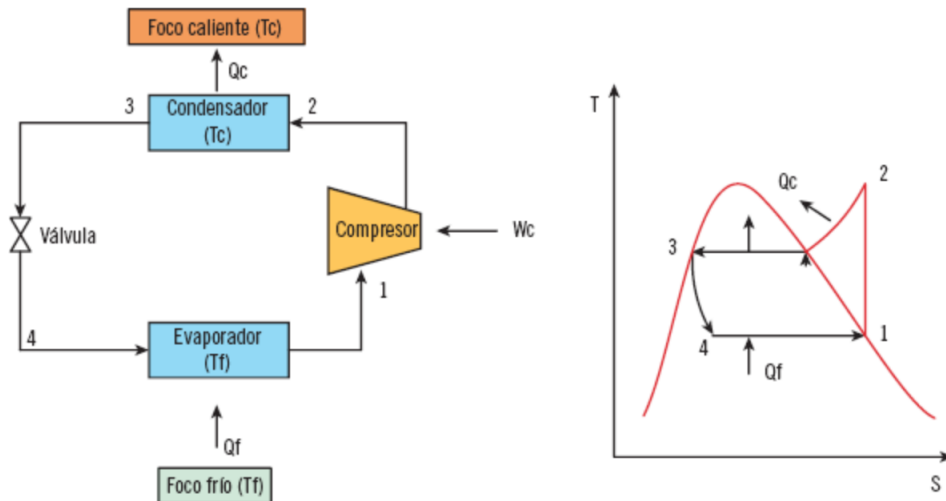


Figura 2: Ciclo de refrigeración por compresión. Fuente: (Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios, s. f.)

A parte de los cuatro componentes básicos que componen el ciclo de refrigeración existen:

- Termostato: este monitorea y regula la temperatura dentro del sitio donde se esté utilizando el aire acondicionado, su función es la de manejar el compresor, así, cuando se detecta una temperatura demasiado baja se apaga el compresor, es por esto que si se estropea este dispositivo puede llegar a presentar fallos de congelamiento.
- Ventilador: empuja el aire gracias a un pequeño motor eléctrico que permite girar a distintas velocidades, de esta forma también se puede subir o bajar la temperatura.
- Red de tuberías: por donde se mueven los distintos fluidos, para la alta presión serán tuberías más estrechas y viceversa para las presiones más bajas.
- Presostatos: cortan la alimentación eléctrica en el compresor. Hay ocasiones en las que el motor puede controlar presiones irregulares, aunque el presostato se encargará de pausar la alimentación para evitar daños.

1.4 Importancia

Numerosos estudios recientes exploran los impactos ambientales y económicos de un gran incremento del uso de aire acondicionado debido a la conciencia social que existe del cambio climático. Los equipos de calefacción, refrigeración y tratamiento de aire son vitales para el ser humano hoy en día por lo que es un sector en constante estudio ya que necesitamos de estos para proteger a las personas vulnerables de las olas de calor, evitar que se desperdicien alimentos con la

capacidad de mantenerlos frescos, mantener las vacunas viables, etc. También es importante para el correcto desarrollo y equidad de los diferentes países, especialmente cuando el cambio climático eleva las temperaturas globales. Avanzar en este sector ofrece la posibilidad de retener y frenar el calentamiento global mejorando la calidad la vida de cientos de millones de personas y obteniendo también enormes ahorros financieros.















	Thermal comfort		Removing heat and maintaining stable temperatures for industrial and commercial purposes		Maintaining stable temperatures for food and medicine transport and preservation			
Application	Mobile Air Conditioning	Space Cooling	Industrial Refrigeration	Commercial Refrigeration	Transport Refrigeration	Domestic Refrigeration		
	Cooling in passenger cars, commercial vehicles, buses, trains, planes etc. 	Indirect district cooling and room air conditioning or fans for human comfort and safety in buildings 	Used on farms, and in food processing (including marine) and pharmaceutical factories and product distribution centres 	Used in supermarkets, restaurants and other retail premises, e.g. display cabinets and cold rooms 	Movement of goods over land and sea, preserving their safety and quality, and extending shelf life 	Safe storage of food and extension of its shelf life 		
Technology	Mobile ACs 	Heat pumps 	Unitary ACs 	AC chillers 	Industrial refrigeration equipment 	Commercial refrigeration equipment 	Transport refrigeration units (TRUs) including shipping containers 	Domestic refrigerators 

Tabla 1: Aplicaciones y Tecnología en Refrigeración y Aire Acondicionado. Fuente: (Cooling Emissions and Policy Synthesis Report, 2020)

El mercado de la refrigeración industrial está dividido en distintas clasificaciones: según el componente, tipo de refrigerante, aplicación, tipo y región. Por componente se segrega en compresor, condensador, evaporador, control, otros. Dependiendo del tipo de refrigerante, se clasifica en amoníaco, dióxido de carbono, hidrofluorocarbono y otros. Sobre la base de la aplicación, el mercado se divide en frutas y verduras frescas; carne, aves y pescado; lácteos y helados; bebidas; productos químicos; productos farmacéuticos y otros. Por tipo, se clasifican en refrigeración estacionaria y refrigeración de transporte. Por región, se analiza en América del Norte, Europa y Asia-Pacífico. De manera más detallada:

- Según el componente:
 - Compresor: recibe el refrigerante en estado gaseoso y lo comprime, elevando así la presión y la temperatura. Entre los más usados de la industria se encuentran los compresores de pistón, los helicoidales o los de tornillo.
 - Condensador: encargado de disminuir la temperatura del refrigerante para convertirlo en líquido. Los más utilizados en la industria son los condensadores evaporativos, los remotos y

las unidades condensadoras, es decir, compuestas por condensador, motor de ventilación y compresor.

- Sistema de expansión: formado principalmente por válvulas, controla el flujo del refrigerante que entra al evaporador. Las válvulas de expansión termostáticas controlan el flujo de los refrigerantes que entran al evaporador en expansión directa, también se encuentran en el mercado otras como las válvulas de bola, reguladoras de presión...
- Evaporador: intercambiador de calor que absorbe el calor evaporando el líquido refrigerante como por ejemplo de superficie de placa, de doble tubo, etc.

➤ Según el tipo de refrigerante:

- Refrigerantes sintéticos: estos son los hidrofluorocarbonos (HFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los clorofluorocarbonos (CFC).
- Refrigerantes naturales: dióxido de carbono, amoníaco e hidrocarburos.

➤ Según la aplicación:

Entre los distintos sectores en los que participa la refrigeración en la industria se pueden encontrar la industria alimenticia, la farmacéutica, la industria química, la encargada de generar energía (con equipos de combustión interna que necesitan refrigeración) y otras industrias como tratamientos biológicos.

➤ Según el tipo:

Estacionario o de transporte. Aunque la mayoría será estacionaria, la industria de transporte es muy importante para mantener la cadena de frío de la mayoría de los procesos.

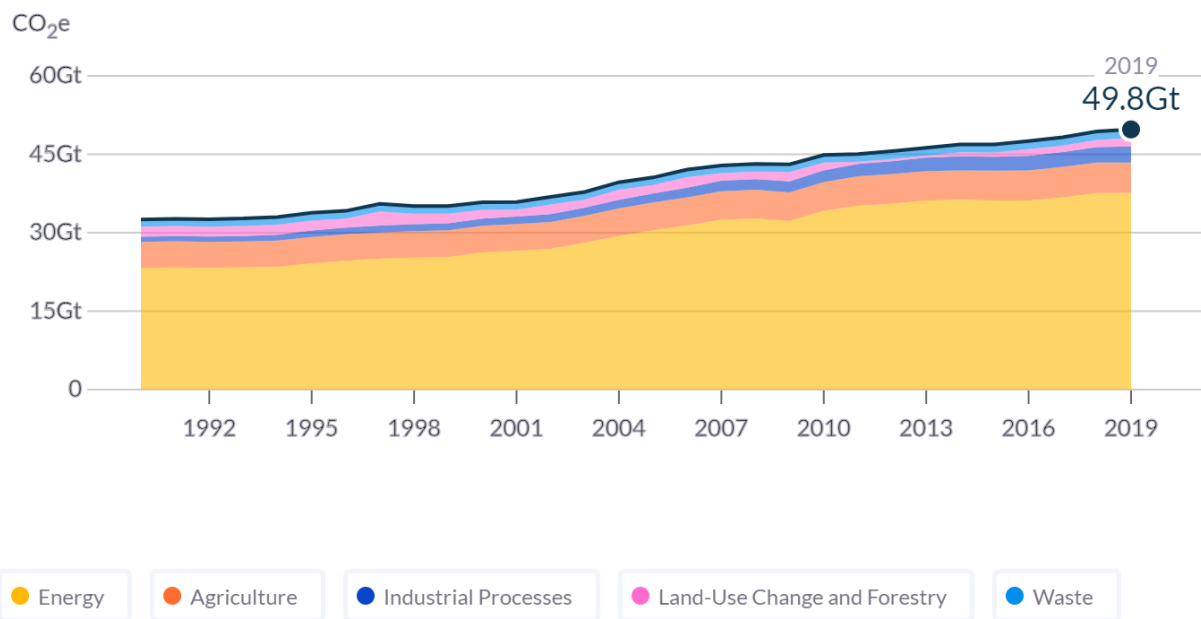
➤ Según la región:

Las regiones de Asia-Pacífico y Norteamérica son las que mayor porcentaje de participación tienen en el mercado, aunque el mercado LAMEA (América Latina, Medio Oriente y África) será el que experimente un mayor crecimiento. Detrás de ese crecimiento están diferentes estudios que indican que la subida de actividades comerciales y el incremento de la industria de manufactura en África harán crecer esta industria en un 6,7%.

La industria de la refrigeración se valoró en 19,307.3 millones de dólares estadounidenses en 2020 y se espera que llegue a alcanzar 29,193.9 millones para 2028, registrando una tasa compuesta anual de 5.4% de 2021 a 2028.

Según un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), si se mejorara la eficiencia energética de la industria de la climatización se podrían reducir entre 210.000 y 460.000 millones de toneladas de dióxido de carbono en los próximos cuarenta años. Esto es aproximadamente igual a 4-8 años de emisiones globales anuales totales de gases de efecto invernadero, según los niveles de 2018.

Como se puede observar en el Gráfico 1 uno de los mayores contribuyentes de las emisiones es la producción de energía.

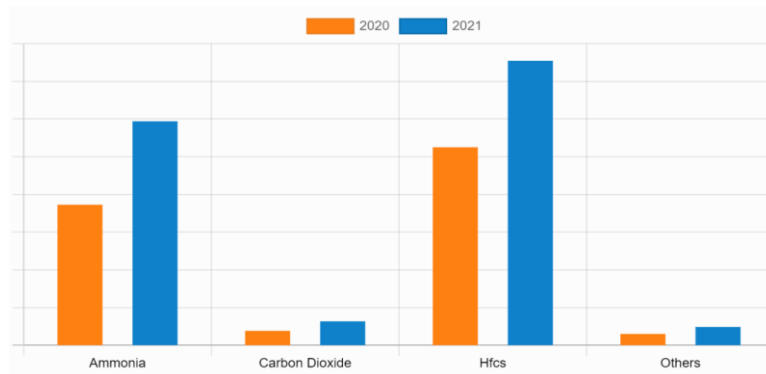


Gráfica 1: Emisiones mundiales de GEI distribuidas por sectores económicos hasta 2019. Fuente: (Climate Watch Historical GHG Emissions, 2022)

Otro impacto de la creciente demanda en este sector es que está ejerciendo una enorme presión sobre los sistemas eléctricos además de aumentar las emisiones como se ha dicho anteriormente. En ciertos países como pueden ser Estados Unidos la refrigeración de superficies puede representar más del 70% de la demanda eléctrica, siendo el promedio de todos los países alrededor del 14% de la demanda máxima en 2016.

Por último, hay que señalar que los refrigerantes utilizados en el aire acondicionado son en sí mismos un potente gas de efecto invernadero que aumenta el impacto ambiental. En la mayoría de los casos para los refrigerantes se hace uso de los hidrofluorocarbonos (HFC), gases de efecto invernadero muy potentes que requieren gran cantidad de energía para poder funcionar. Los sectores relacionados con la refrigeración representan alrededor del 86 % del uso de HFC en CO2. En la Gráfica 2 se puede observar la diferencia de los gases HFC con respecto a los demás en los últimos años. Si no interviniera el sector político, se prevé que las emisiones directas e indirectas del aire acondicionado

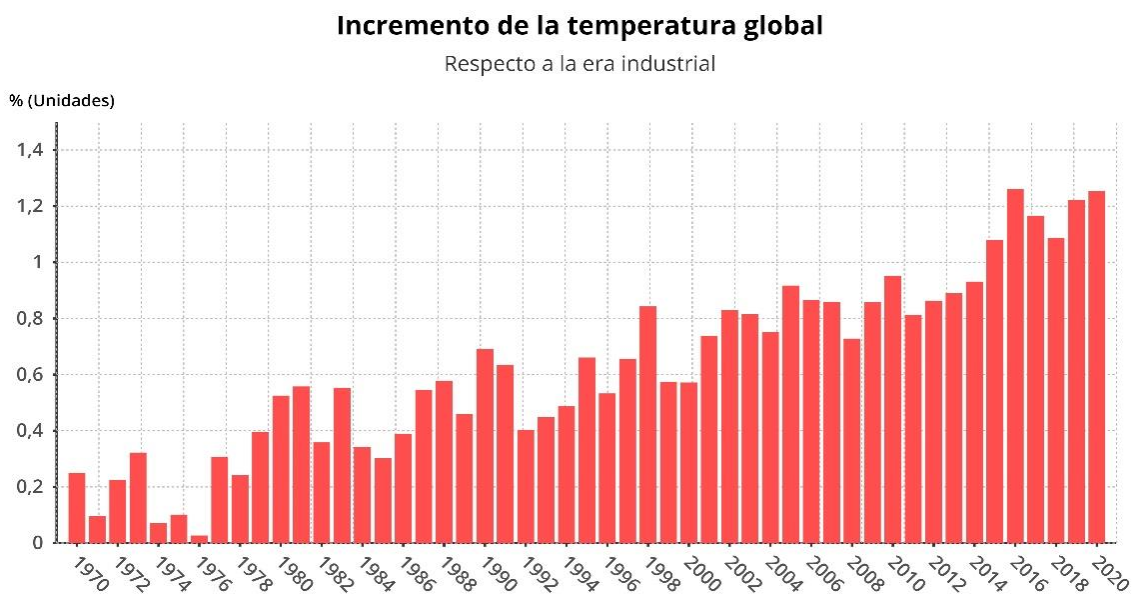
y la refrigeración aumenten un 90 % por encima de los niveles de 2017 para el año 2050.



Gráfica 2: mercado según el tipo de refrigerante. Fuente: (Global Industrial Refrigeration Market Size, Share, System, Product - 2028, 2021)

A lo largo de los años la temperatura del planeta ha aumentado debido a la actividad industrial teniendo repercusión en las personas, la naturaleza y los medios de vida (Gráfica 3)

Es por ello por lo que hacer una transición hacia un enfriamiento del medio ambiente y eficiente energéticamente evitaría estos problemas anteriormente comentados contribuyendo a su vez con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, estos son 17 Objetivos y en concreto en los apartados número 7, 9 y 11 se explica cómo llegar a conseguir esta mejora del calentamiento global respecto al sector de la climatización.



Gráfica 3: Incremento de la temperatura global respecto a la era industrial. Fuente: (El cambio climático, en datos y gráficos, s. f.)

Para poder llevar a cabo esta transición existen diversos informes, pactos y acuerdos internacionales que garantizan que pueda suceder, como por ejemplo el Acuerdo de París, que quiere limitar el aumento de la temperatura mundial a 2 °C y hacer todo lo posible por restringirlo a 1,5 °C. Para ello los responsables políticos deben aprovechar las soluciones viables para fortalecer sus contribuciones determinadas a nivel nacional en virtud de dicho acuerdo. Otro trabajo como el de la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (Colección de Tratados de las Naciones Unidas 2019) reducirá gradualmente la producción y el uso de hidrofluorocarbonos y podría evitar hasta 0,4°C de calentamiento global para 2100.

Por ahora, gracias a los años transcurridos desde la entrada al vigor del Acuerdo de París, cada vez más países, ciudades y empresas están estableciendo los objetivos de neutralidad de carbono, para 2030 las soluciones de cero emisiones de carbono podrían llegar a presentar más del 70% de emisiones mundiales si esto se cumpliera.

En el aspecto económico se estima que gracias al Protocolo de Montreal se podría llegar a ahorrar casi 3 billones de dólares en energía, costes de generación y transmisión, también reducirá las facturas mensuales de electricidad, protegiendo además la salud pública y la productividad agrícola al reducir la contaminación del aire.

La industria del aire acondicionado es sin embargo una gran potencia empleadora en todo el mundo, con muchos centros de producción y venta al por menor (y centros de innovación) y contratistas que dirigen empresas que instalan sistemas de aire acondicionado. En el mundo en desarrollo, las buenas soluciones para la refrigeración tienen el potencial de proporcionar importantes oportunidades económicas y de empleo y es por ello por lo que se tratará en el próximo punto los principales fabricantes en el ámbito internacional y nacional.

1.5 Principales fabricantes

Existen distintas asociaciones que trabajan en diversas iniciativas para conseguir una mayor sostenibilidad, como por ejemplo el Consejo Internacional de Asociaciones de Fabricantes de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ICARHMA) que representa una gran parte del mercado HVAC. Es una organización de compañías global compuesta por once asociaciones comerciales nacionales y regionales de prácticamente todos los continentes que representan casi 100 mil millones de dólares en el mercado global. Ha participado activamente en el apoyo a sus

asociaciones miembro en varios temas globales relacionados con esta industria, incluyendo políticas de eficiencia energética y de gestión ambiental.

En el último año 2021 entró en vigor gracias a la Comisión Europea un nuevo etiquetado energético, impulsado por la mejora de la eficiencia energética. Han desaparecido las clases energéticas A+, A++ y A+++ y se ha establecido una escala de clasificación que va de la A a la G, como resultado los electrodomésticos que antes eran más eficientes quedan asignados como mucho a la clase B, haciendo que la clase más eficiente pueda mejorar. Entre las mejoras de este nuevo etiquetado se encuentra novedades como un código QR y que los datos están referidos al programa ECO de los electrodomésticos. Aunque este etiquetado se puso en marcha en marzo de 2021 con frigoríficos, lavavajillas y otros hasta 2022 no se ha utilizado en aires acondicionados. En la Figura 3 encontramos un ejemplo de etiquetado energético.

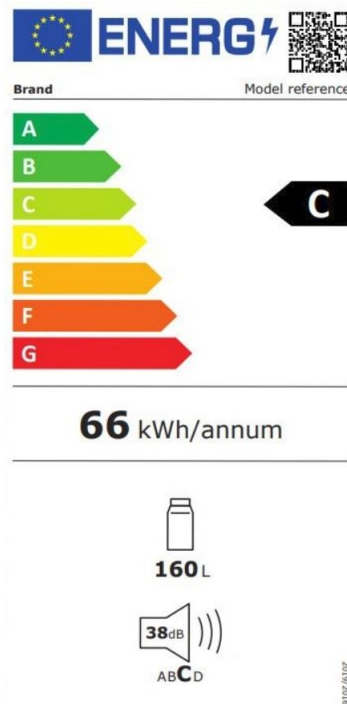


Figura 3: etiquetado energético eficiencia C establecido a partir del 1 de marzo 2021. Fuente: (Entra en vigor el nuevo etiquetado energético para fuentes de iluminación, 2021.)

Las empresas están trabajando en mejoras creando planes de acción apoyados por políticas y reconociendo a los activistas ambientales. Entre las empresas más importantes del sector distinguimos:

- Daikin Industries Ltd
- Mitsubishi Electric Corporation

- Toshiba International Corporation
- Fujitsu Limited
- Panasonic Corporation
- Samsung Electronics Ltd
- LG Electronics Inc
- Haier Group
- Daitsu Electric
- Gree Electric Appliances Inc
- Hisense Co Ltd
- Carrier Corporation

Entre ellas por ejemplo Daikin cuenta con un centro de investigación dedicado a tecnologías ecológicamente avanzadas y sus acciones están relacionadas con ODS específicos, la empresa Mitsubishi que está clasificada en “The A List” en las categorías de “Climate Change” y “Water Security” durante años consecutivos o Toshiba estableciendo programas que incluyan sistemas sustentables y gestión responsable. En general, cada vez más empresas cumplen con las normativas medioambientales más estrictas haciendo uso de equipos ecoeficientes A+++ (plan antiguo), con ahorro de energía, etc. Hoy en día el sector de la refrigeración en la zona Asia-Pacífico y los principales fabricantes que tienen sede en esos países son de los más punteros del sector, como puede ser Fujitsu o Mitsubishi Electric.

Las normativas que la Unión Europea ha desarrollado son un conjunto de medidas que reducen el consumo energético en edificios que incluye a la calefacción, ventilación y aire acondicionado. Entre estas medidas se encuentran reglamentos sobre el diseño ecológico, una nueva manera de medir la eficiencia con ratios como el SEER o el SCOP y el etiquetado energético (Figura 3).

En concreto en España no somos ajenos a los objetivos de la Unión Europea como se puede observar en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), además durante el 2021 debido al COVID-19 este sector se ha visto en la obligación de mejorar la calidad del aire interior y el aumentar la eficiencia energética también debido a los diferentes reglamentos de ecodiseño.

El valor total del mercado de equipos de climatización siguió una evolución positiva frente a los años anteriores como se observa en la tabla 2, según el informe anual de mercado de AFEC. Ya en 2019 se facturaron más de 1200 millones de euros en este sector, manteniendo al igual que un crecimiento del 4% de las ventas con respecto a 2018.

Mercado HVAC (mill €)	2021	2020	'21 vs '20
Equipos de climatización, bombas de calor y producción de ACS	990,85	877,60	12,91%
UTAs + UV con recuperación de calor	81,47	78,85	3,33%
Distribución y difusión de aire	54,07	47,71	13,32 %
Ventilación residencial	21,27	20,39	4,34 %
Ventiladores	120,47	107,26	12,31 %
Total mercado	1.268,13	1.131,82	12,05%

Tabla 2: valor total del mercado de equipos de climatización correspondiente al año 2021. Fuente: (Informe Anual de Mercado Climatización y HVAC de AFEC, 2022)

En España es fundamental la refrigeración industrial para el crecimiento a su vez de sectores como el de alimentos y bebidas o el de producción de fármacos y químicos. La industria de alimentación y bebidas representa el 23,3% del sector industrial y según el INE al 2021 es la primera rama manufacturera industrial del país. Un 2,5% de PIB es lo que aporta este sector a la economía. Con respecto a la industria farmacéutica en 2020 superó los 22000 millones de euros de facturación por lo que los sistemas aplicados en este sector como la refrigeración por aire comprimido son fundamentales.

Según datos de la Asociación de Empresas Frigoríficas (AEFYT), la refrigeración juega un papel fundamental en las empresas ya que aportan más del 40% del PIB nacional. Este sector en España factura aproximadamente 5.000 millones de euros al año y genera más de 22.000 puestos de trabajo, con tasas de empleabilidad del 100%. Estos datos son posibles debido a las casi cinco mil empresas instaladoras certificadas y más de 200 empresas dedicadas a la fabricación, comercialización y consultoría.

Este Trabajo de Fin de Grado está realizado con el Equipo de Aire Acondicionado con Cámara Climática y Enfriador de Agua, desarrollado por la empresa EDIBON, es por ello por lo que se va a ahondar más sobre sus proyectos actuales y su importancia en la industria.

2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

2.1 Etapas del acondicionamiento de aire

Según la época del año, los aires acondicionados deberán cumplir una serie de funciones, en verano se requerirá, en términos generales, las etapas de enfriamiento y deshumidificación y en invierno se necesitarán la de calentamiento y humidificación. También habrá fases comunes en ambos periodos como la ventilación o el filtrado. Estos procesos se deben realizar automáticamente, sin ruidos molestos y con el menor consumo energético posible.

- Ventilación: el objetivo de ventilar es el de renovar el aire de recirculación para que exista un adecuado nivel de contaminantes de acuerdo con las distintas actividades que se realicen en los locales, así por ejemplo el aire deberá estar completamente renovado en lugares como hospitales o laboratorios.

Respecto al enfriamiento y calentamiento y humidificación y deshumidificación, según el RITE para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met (unidad que corresponde al metabolismo de una persona sana), con grado de vestimenta de 0,5 clo (unidad de medida del índice de indumento) en verano y 1 clo en invierno y un PPD (porcentaje de personas insatisfechas) menor al 10%, los valores de la temperatura operativa y de la humedad relativa, asumiendo un nivel de velocidad de aire bajo ($<0,1$ m/s), estarán comprendidos entre los límites indicado en la tabla 1.4.1.1 (Tabla 3). Debido a esto el rango de operación de TACC es de 22°C a 26°C, haciendo posible el confort térmico en la cabina de ensayo.

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño				
Estación		Temperatura operativa °C		Humedad relativa %
verano	"	23 ... 25	"	45 ... 60
Invierno	"	21...23	"	40 ... 50

Tabla 3: tabla 1.4.1.1 del RITE: condiciones interiores de diseño

Para entender estos procesos se va a tener en cuenta el diagrama psicrométrico, entendiéndose así la relación entre la temperatura y la humedad.

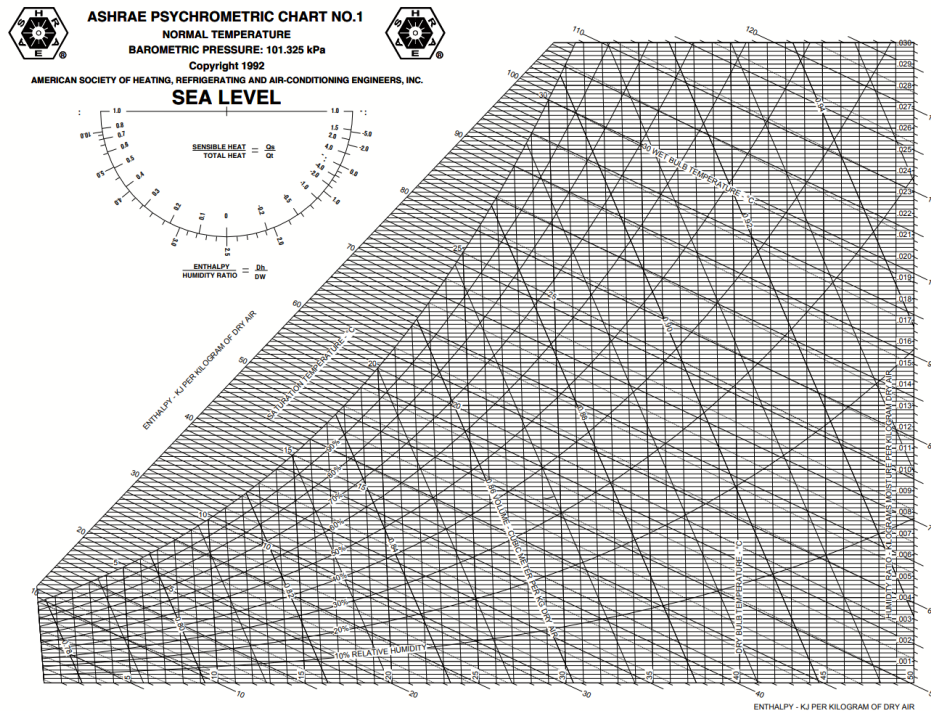


Figura 4: diagrama psicométrico de ASHRAE

La humedad absoluta definida como gramos de agua por kilogramo de aire es función de la temperatura porque a mayor temperatura del aire supone una mayor solubilidad de agua en aire, por lo que se explicará la evolución en las distintas etapas:

- Enfriamiento: se realiza en verano, se ha de tener en cuenta el porcentaje de humedad relativa ya que el aire frío lo aumentará de manera considerable provocando sensación térmica que incumple los límites medioambientales. La humedad contenida se eliminará por condensación, teniendo que trabajar la batería por debajo de la línea de saturación del diagrama psicométrico (punto de rocío).
- Calentamiento: se realiza en invierno, es el proceso contrario al enfriamiento.
- Humidificación: aporte de agua en forma de niebla al aire circulante. En invierno si se calienta el aire sin entregar humedad, el descenso provoca molestias como irritación y sequedad, al contrario que para el verano que promueve el crecimiento de hongos y en general de cualquier microorganismo al que le favorezca el ambiente húmedo.

En la figura 5 se muestra un gráfico con respecto al malestar que proporciona un indebido cumplimiento de la humedad relativa en el ambiente:

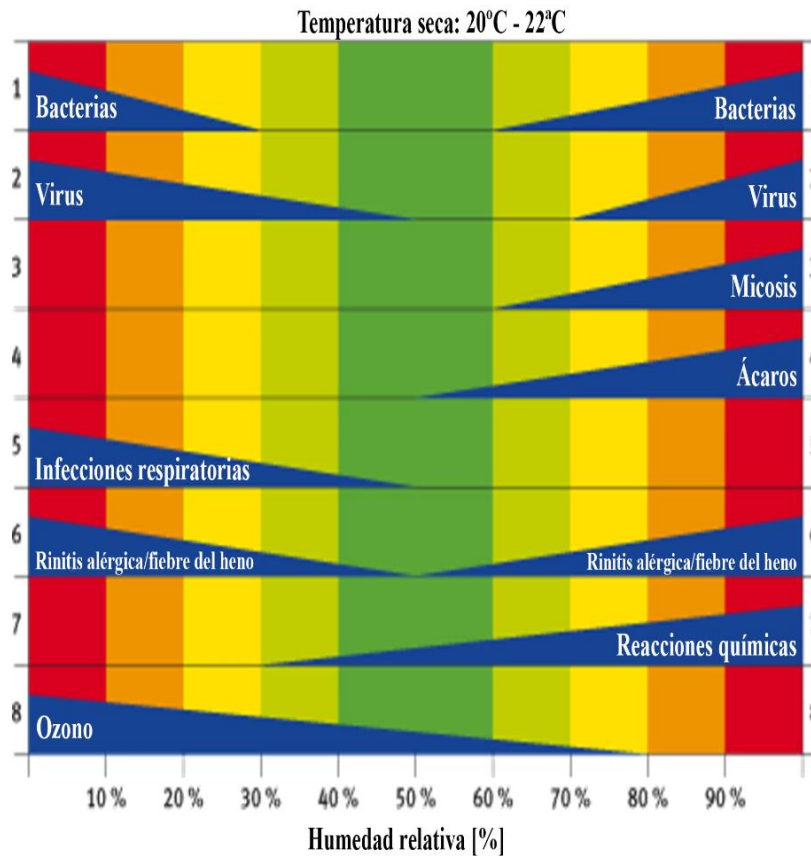


Figura 5: humedad relativa y el impacto sobre la salud. Fuente: (Style, 2020)

En la planta experimental TACC se presta especial atención a las distintas fases del acondicionamiento del aire y al diagrama psicrométrico, ya que las posibles medidas son los sensores de temperatura y de humedad.

En verano y en invierno seguirán los ciclos dispuestos en las Figura 6 y 7:

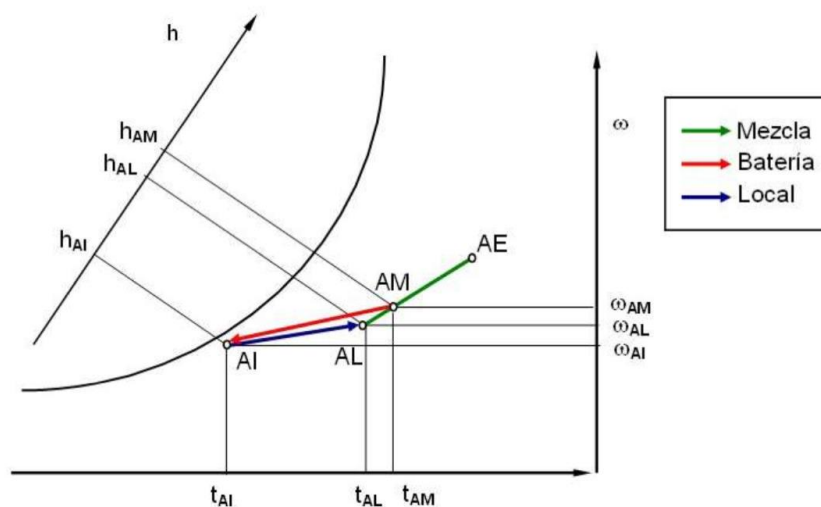


Figura 6: ciclo del aire en verano. Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)

Las temperaturas AI, AL y AM representan la temperatura de impulsión, del local y de mezcla, este último es la combinación del aire exterior y del aire de retorno. En verano la temperatura de impulsión debe ser menor que la deseada en el local para alcanzar la zona de confort. El ciclo comienza introduciendo aire exterior a alta temperatura, que disminuye al encontrarse con el aire recirculado (a menor temperatura que el exterior). Este aire actuará con el debido intercambiador de calor en un proceso en el que a la vez que se enfría también se humidifica, llegando al local y alcanzando la temperatura deseada.

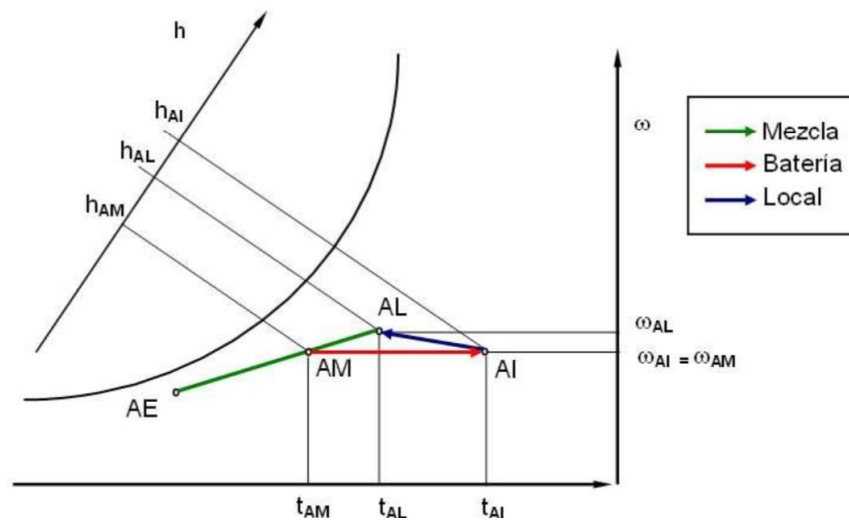


Figura 7: ciclo del aire en invierno. Fuente: (Luis Pérez-Lombard,2022)

En comparación con el ciclo del aire en verano, el ciclo en invierno presenta una diferencia, como se observa en la Figura 7, la línea de color rojo es horizontal debido a que en el proceso de calentamiento también se produce una deshumidificación, es por ello por lo que una vez calentado el aire se deberá humidificar para alcanzar los límites confortables.

Para hacer más eficientes los aires acondicionados, sea invierno o verano, existen diferentes maneras de aprovechar el ciclo como puede ser la incorporación de un recuperador de calor o la opción de hacer free-cooling.

Posteriormente se va a hacer una clasificación, descripción y estudio de los diferentes modos de operación de la planta climatizadora.

2.2 Clasificación

En esta sección se hace un estudio detallado de los distintos elementos que componen el sistema de climatización y para ello empezamos por definir los distintos tipos de sistemas que existen.

Según la fuente de frío se distinguen dos clasificaciones, según el fluido que utilizan como fluido caloportador, de este modo existirán los sistemas centralizados, son en los que el aire se enfría con agua fría y los autónomos o equipos que enfrían el aire gracias a la evaporización de un refrigerante. El generador térmico en los centralizados es una enfriadora (aire-agua o agua-agua) y en los autónomos se le llamara equipo autónomo (aire-aire o agua-aire).

En las Figuras 8-11 se ve un dibujo simplificado de ambos tipos de sistemas y el esquema de sus respectivos generadores térmicos.

Los sistemas centralizados también se pueden denominar sistemas hidrónicos o no autónomos. Tienen su propia clasificación dentro de la rama, en la que se distinguen los sistemas todo-aire de caudal constante o variable, los sistemas mixtos aire-agua como por ejemplo los conocidos fan-coil o los sistemas todo-agua como los paneles radiantes o los radiadores.

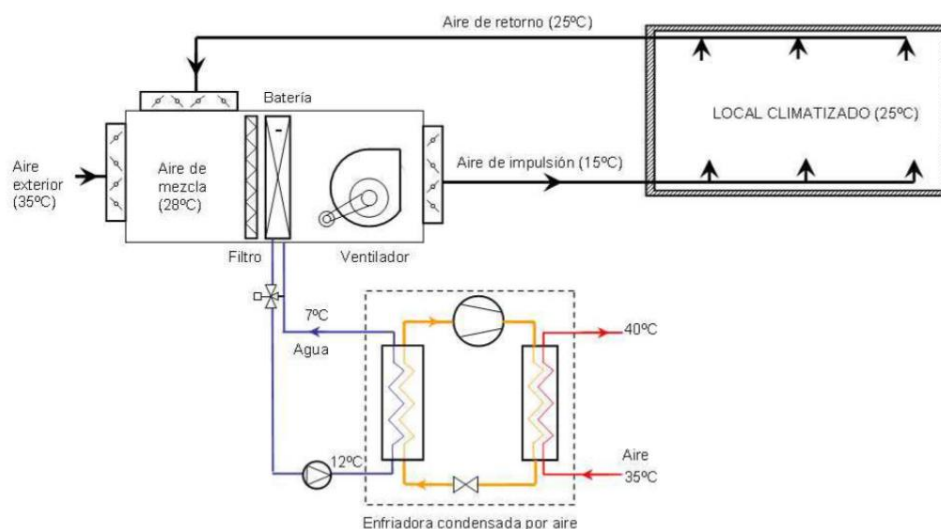


Figura 8: sistema de agua fría centralizado. Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)

Los equipos que componen el sistema centralizado, también conocidos como equipos de expansión indirecta son especialmente prácticos para grandes sistemas de acondicionamiento de aire puesto que tiene ventajas respecto a su distribución del frío.

El agua será el refrigerante secundario, es enfriada gracias a la transferencia de calor con un refrigerante. Las plantas enfriadoras se subdividen en grupos:

- Equipos agua-agua:

Estos equipos requieren una red de suministro de agua y los emisores serán radiadores, fan-coils o suelo radiante, que permiten mantener un COP constante y elevado durante todo el período.

- Equipos aire-agua:

Se toma aire del ambiente por lo que será necesario el uso de ventiladores para moverlo. Su uso cada vez es más común en comparación con los equipos agua-agua debido a los costes en el precio del metro cúbico del agua.

En la Figura 9 se muestra un ejemplo de generador térmico aire-agua.

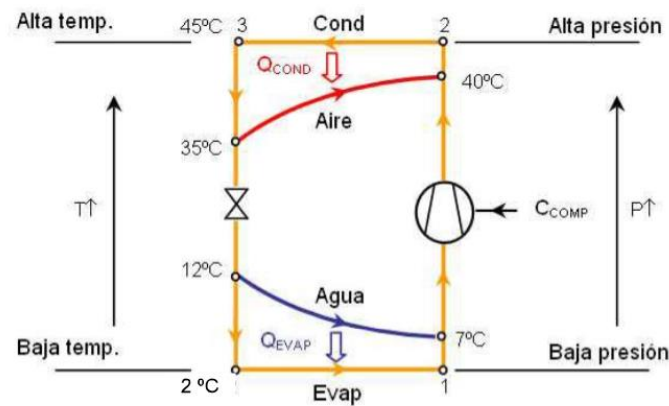


Figura 9: generador térmico de tipo enfriadora (aire-agua). Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)

Dentro de la rama de sistemas autónomos también existen distintas clasificaciones. Otras denominaciones con las que conocemos estos sistemas son: sistemas de expansión directa, sistemas unitarios, acondicionadores de aire, package systems o room air conditioners (RAC). Según el tipo de condensación existen los condensados por aire, agua o por el terreno y otra clasificación por el número de unidades en que se divide el ciclo de refrigeración estarán los compactos o divididos, siendo muy comunes los split, los multi-split y los VRV. (Figuras 10 y 11)

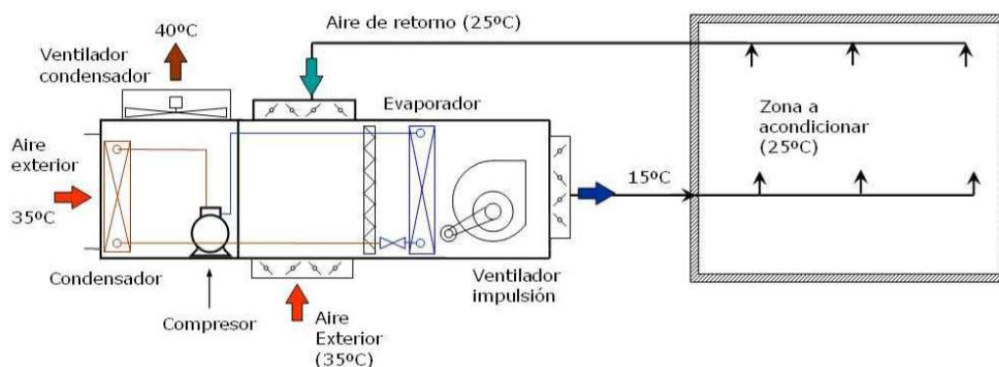


Figura 10: ejemplo de sistema de refrigerante: autónomo. Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)

Al igual que los sistemas centralizados, los equipos autónomos o de expansión directa también se distinguen en diferentes clases según el fluido con el que esté en contacto, así tendremos:

- Equipos condensados por aire o aire-aire: extraen calor del aire exterior y lo transfieren al local mediante conductos. En la Figura 11 se muestra un ejemplo del ciclo aire-aire.

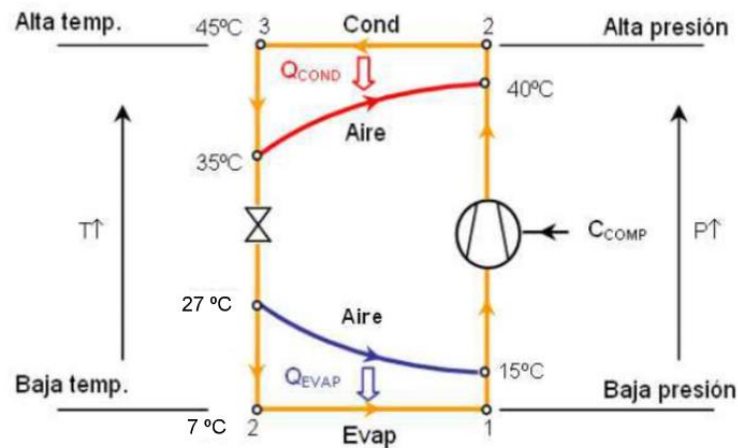


Figura 11: generador térmico: equipo autónomo (aire-aire). Fuente: (Luis Pérez-Lombard, 2022)

- Equipos condensados por agua o agua-aire: el agua que se utiliza en el proceso de condensación puede proceder de distintos lugares como una torre de enfriamiento o de agua de ríos, pozos, etc. Los rendimientos energéticos serán mayores que los que utilizan aire exterior debido a una menor temperatura de condensación.

En este caso, como el intercambiador de calor es de agua-aire se establece que el aire acondicionado es de tipo autónomo agua-aire, donde el agua enfría el aire que posteriormente se podrá tratar de distintas maneras, ya sea añadiendo una resistencia eléctrica, que aumentará la temperatura y deshumidificará, humidificándolo con el respectivo humidificador, permitir la entrada de más o menos aire exterior gracias a la compuerta regulable, etc.

2.3 Descripción general

El equipo al que se va a realizar la caracterización experimental ha sido fabricado por la empresa Edibon y su denominación es TACC, Equipo de Aire Acondicionado con Cámara Climática y Enfriador de Agua, Controlado desde Computador (PC). Este consiste en una instalación de aire acondicionado real con cámara climática apropiada para la estancia de personas.

2.3.1 Producción de frío y planta enfriadora.

La parte inferior de la unidad es la enfriadora de agua controlada desde el computador, tiene una potencia de 5,4 kW y emplea el refrigerante R410 (mezcla de gases HFC), el intercambiador existente dentro de la enfriadora es de titanio y el rango de control está entre los 5 y los 38 grados centígrados, lo que quiere decir que también puede emplearse en modo calefacción. Cuenta con una bomba de circulación monofásica con una potencia de 370 W y permite un caudal máximo de hasta 80 L/min que impulsa el agua fría que se produce en la máquina y que desemboca en el intercambiador de calor aire-agua. Esta enfriadora se abastece de un depósito de agua hecho de plástico con una capacidad de 40 litros, aunque para los experimentos se establece en el manual que se debe utilizar a la mitad de lo permitido, es decir, 20 litros. El depósito también lo emplea el equipo humidificador que aumenta el contenido de agua en el aire con un rango de caudal de pulverización de hasta 1,5 L/h y una potencia de 23 W. La bomba lleva a ambos equipos el agua enfriada.

2.3.2 Sistema de conductos

Está formado por un túnel de sección cuadrada 300x300 mm de acero inoxidable de 4 m de longitud, donde existen ventanas que permiten visualizar el proceso interior y en el que se encuentran los distintos equipos que permiten tratar el aire. Incorpora un ventilador axial de velocidad variable que alcanza los 2500 rpm y un caudal máximo de 130 L/s que introduce aire en el conducto. El aire se encuentra con un intercambiador de calor (aire-agua) que lo enfría, aumentando también su humedad relativa, el salto de temperatura máximo permitido es de 12 grados. Dispone de distintos tipos de sensores para medir la temperatura seca, húmeda, humedad relativa y caudal que permiten la toma de datos de los distintos ensayos y hacen poder cuantificar la capacidad de enfriamiento de la máquina.

Entre los distintos tipos de dispositivos que hacen que se pueda ajustar la temperatura y la humedad relativa hasta los valores deseados emplearemos una resistencia eléctrica de calentamiento de 2 kW que disminuye la humedad relativa y una compuerta regulable que permite la posibilidad de que se pueda trabajar con aire exterior o con aire de recirculación, pudiéndose medir ambos caudales gracias a los debidos sensores.

2.3.3 Cámara climática

Por último, una cabina de ensayos adecuada para la estancia de personas de dimensiones 1125x1125x2100 que tiene capacidad de aislamiento gracias a una capa de 60 mm de grosor y con un silenciador instalado en la entrada del aire a la cámara, se ha incorporado en su interior una serie de resistencias eléctricas dispuestas en hilera de 100 W de potencia que se pueden encender o apagar

con el sistema de control.

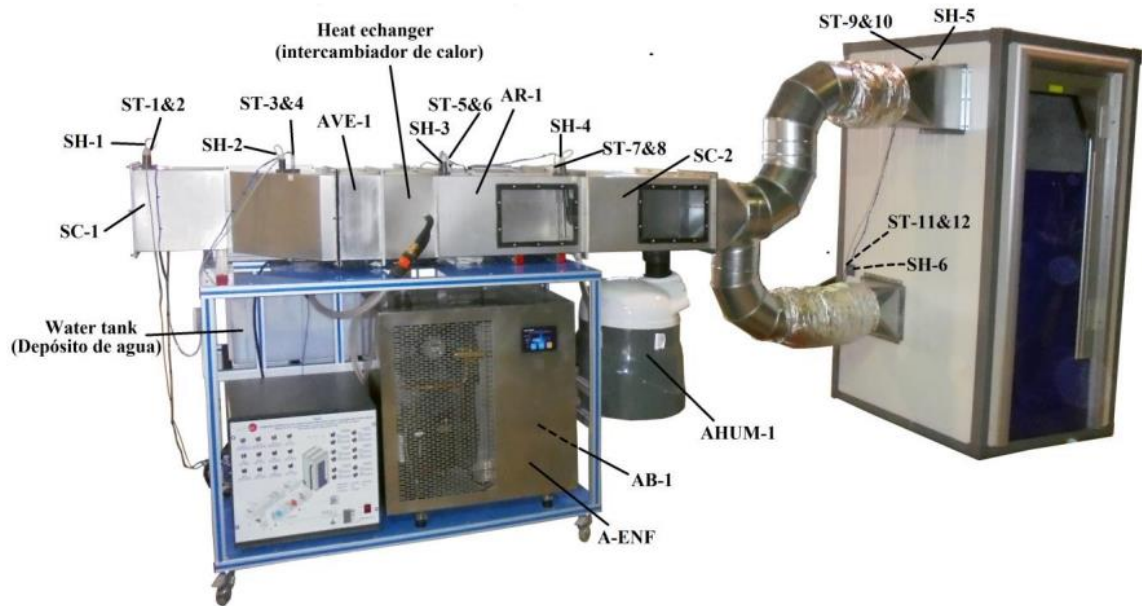


Figura 12: foto general del equipo TACC

En la figura 12 se muestran los distintos equipos y sensores, en total existen 23 sensores que controlan la temperatura seca y húmeda y de caudal que se pueden controlar y que trabajan simultáneamente.

Equipos:

1. AVE-1: ventilador axial
2. IC-1, intercambiador de calor: radiador por el que circula agua, situado en el interior del túnel.
3. AR-1: resistencia eléctrica
4. AHUM-1: humidificador.
5. A-ENF: enfriadora de agua.
6. AB-1: bomba centrífuga que distribuye el refrigerante (agua) a lo largo del intercambiador (aire-agua), generador de vapor y enfriador.
7. DA-1, depósito de agua: tanque de polietileno en circuito cerrado para abastecer de manera continuada el agua en el equipo enfriador.
8. ST-1/12: sensores de temperatura distribuidos por parejas (bulbo seco-húmedo) en diferentes puntos.

9. ST-13/16: sensores de temperatura individuales distribuidos a lo largo del circuito de refrigeración de agua.
10. SC-1/3: sensores de caudal para la admisión de aire exterior, en recirculación y en el intercambiador respectivamente.
11. SH-1/6: sensores para la medida de humedad relativa en el aire.

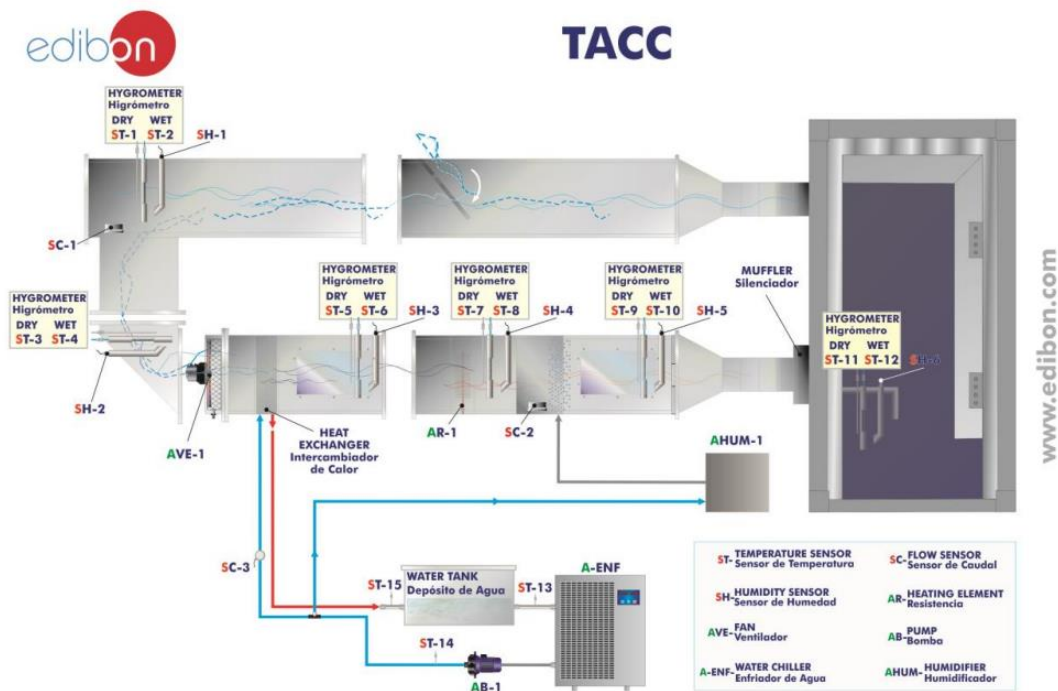


Figura 13: Diagrama de proceso y disposición de los elementos del equipo

2.4 Pantalla principal

Para la toma de datos es importante contar con un sistema de control y adquisición de datos, donde podremos ver en tiempo real las medidas de los distintos sensores, encender o apagar los distintos elementos o ponerlo en modo automático. Para guardar los datos basta con introducir un pendrive en el controlador, indicar el período de guardado y pulsar el botón de “Start Saving”. En la Figura 14 se muestra en la zona 1 los correspondientes controles para la obtención de datos.

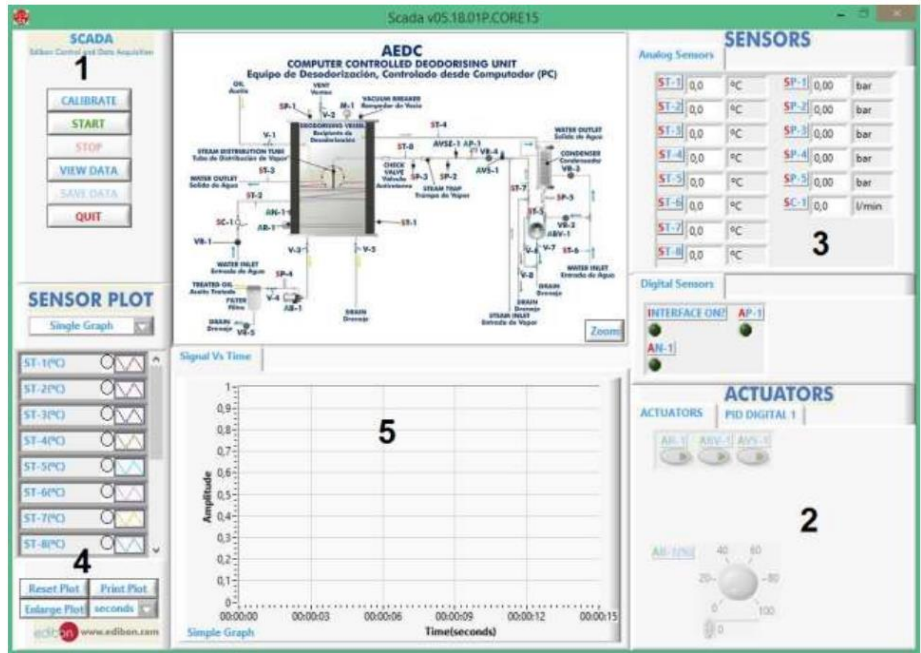


Figura 14: Software del equipo TACC, pantalla principal

Para elegir el período es recomendable elegir períodos grandes para procesos lentos y períodos pequeños para procesos rápidos, para evitar el exceso de datos.

Durante los procesos es posible ver en la pantalla la evolución de los distintos sensores y comparar dos sensores entre ellos, como por ejemplo ST9 frente a ST6. En la Figura 15 se observa un ejemplo de gráfica visualizada en la pantalla principal.

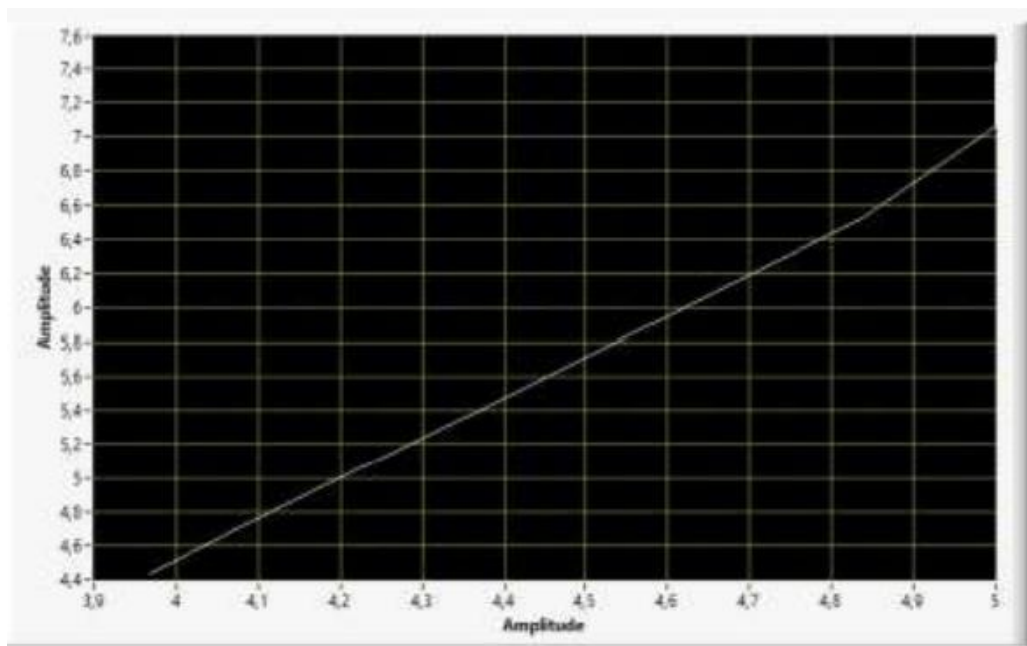


Figura 15: Ejemplo de gráfico del catálogo

2.5 Modos de operación

- Manual:

De esta manera el usuario es capaz de actuar sobre los elementos que el software permite manejar, estos son el ventilador (AVE-1), la enfriadora (A-ENF), la resistencia eléctrica (AR-1) y el humidificador (AHUM-1), aparte de los que se pueden manejar por ordenador existe una trampilla con la que podremos permitir la entrada de aire exterior o cerrarla para que el aire sea recirculado, gracias a los sensores SC-1 y SC-2 podremos conocer los respectivos caudales y así se podrá evaluar la influencia de estas variaciones sobre el aire circulante.

Se debe seguir un orden a la hora de empezar el ensayo, primero se enciende la enfriadora y posteriormente la bomba (AB-1), el ventilador se puede regular desde cero al cien por cien, los demás elementos simplemente se podrán encender o apagar. Para comenzar a encender o apagar parámetros es obligatorio dejar que primero llegue la enfriadora a una temperatura aceptable (11°C-13°C)

- Automático:

La mayor parte de los ensayos se han realizado de este modo. Bajo control remoto basta con fijar las condiciones de temperatura y humedad deseadas para la cámara climática. Estas condiciones están limitadas: se podrá modificar la temperatura de 22 a 26°C y la humedad relativa (por rangos) de 30 hasta 60%. Es importante saber que el modo de control automático tiene una manera de operar fija que es la siguiente:

- Primero se encienden AB-1 y A-ENF
- Transcurrido un minuto se enciende AVE-1 al 90% y queda fijo durante el resto del tiempo
- En caso de que se necesite aumentar temperatura y disminuir o aumentar la humedad relativa se encienden de manera intermitente AR-1 y A-HUM

En la Figura 16 se muestra un ejemplo de la configuración automática:

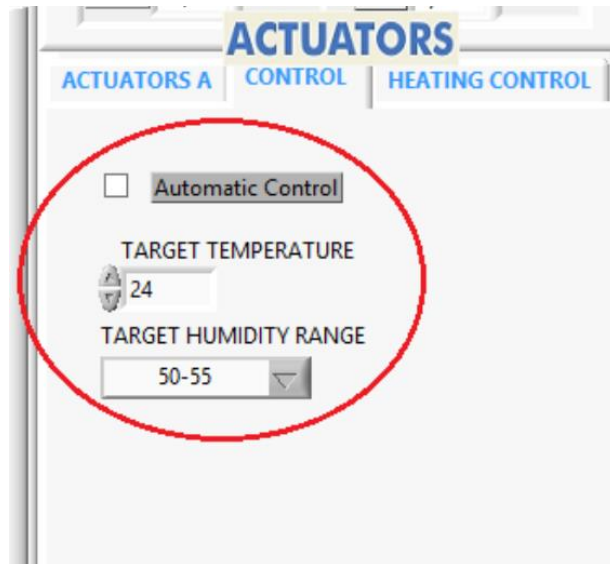


Figura 16: pantalla de SCADA de parámetros de temperatura y humedad

- Manual y automático:

Para ambos cabe la posibilidad de encender una serie de resistencias (10) que se han instalado dentro de la cámara climática. Cada una de ellas tiene una potencia de 100 W, es decir, los Vatios promedio que desprendería una persona si estuviera dentro de la cámara en reposo.

2.6 Dispositivos adicionales

Para los distintos ensayos se ha incluido una serie de dispositivos para obtener más información sobre el proceso del acondicionamiento de aire. En la cámara climática existen dentro 10 resistencias eléctricas explicadas en el apartado anterior como se observa en la siguiente imagen (Figura 17).



Figura 17: Resistencias eléctricas en cabina de ensayo

También se han añadido dos tipos de dispositivos distintos. El primero de ellos es un medidor de temperatura y humedad relativa que se encuentra a la entrada y salida del condensador que forma parte de la enfriadora de agua, para poder saber el salto de temperaturas que existe y su humedad.



Figura 18: sensor de temperatura Elitech. Fuente: (Temperature Data Logger, Temperature Controller - Elitecheu.com, s. f.)

El segundo tipo es un medidor de potencia de la marca “the Owl” que nos permite obtener los datos brutos en amperios, los kW y los costes de la potencia de la instalación por cada minuto con la capacidad de almacenar los datos diarios de la electricidad consumida durante 720 días. También permite ver los costes de la electricidad basados en las tarifas de ese mismo día y la cantidad de emisiones de CO2.



Figura 19: medidor de potencia. Fuente: (manual de “the Owl”, s. f.)

3 PLAN DE ENSAYOS Y EJECUCIÓN

Para la caracterización del sistema se han realizado diferentes tipos de ensayo donde se recogen las temperaturas a lo largo de todo el proceso, caudales, la humedad relativa y la potencia eléctrica necesaria que emplea el equipo. Para empezar, habiendo explicado las distintas fases por las que transcurre el aire y la manera de operar de la máquina de aire acondicionado, se explicará el análisis de los distintos tipos y días de ensayos.

3.1 Prácticas y ensayos de prueba

Previamente a los ensayos se ha realizado una primera toma de contacto con la máquina poniéndola en funcionamiento para solucionar posibles fallos que pudieran incidir en la correcta realización de los ensayos reales. Con tal fin se realizaron de las dos primeras de las prácticas que propone el fabricante.

- **Primera práctica (MODO MANUAL):** compresión y manejo de los principales componentes y etapas de una instalación de acondicionamiento de aire: enfriamiento, calentamiento, humidificación y secado:

Al comienzo de la práctica se dispone la instalación con la trampilla móvil cerrada por completo por lo que el aire se encuentra en recirculación. Una vez encendida la bomba y enfriadora y alcanzados los 7°C en la enfriadora, se apagan ambos elementos. Posteriormente se encendió el ventilador al nivel máximo y se mantuvo así durante 10 minutos. Anotados los datos se repite el mismo proceso de encendido de ambos elementos y se vuelve a esperar 10 minutos antes de recoger nuevamente los datos. En este punto la enfriadora, por estar por debajo del punto de consigna (8°C) no se encendió hasta pasados 2 minutos. Aquí se encuentra la primera falla de la maquinaria.

El manual indica que se ha de seleccionar un mínimo caudal de humidificación, imposible porque el humidificador AHUM-1 solo tiene dos opciones, encender o apagar, y lo mismo ocurre con la resistencia eléctrica AR-1 ya que, según se indica, debe fijarse una temperatura superior en 6°C a la temperatura ambiente y esto no se puede realizar ni en modo manual ni en modo automático. Otra característica fácilmente verificable es la influencia de la resistencia eléctrica de calor ya que, al encenderse esta, la humedad comienza a decrecer rápidamente.

- **Segunda práctica (MODO MANUAL):** comprensión y manejo del diagrama psicrométrico del aire a partir de medidas con bulbo seco y bulbo húmedo:

Se procede a operar paso a paso el punto 7.5.2.3 Procedimiento experimental del manual y no se observó ningún tipo de anomalía aparte de las ya comentadas anteriormente. Una vez recopilados los distintos datos se procedió a apagar la máquina.

Días más tarde se realizó una simple prueba para comprobar que los datos se almacenan correctamente con el comando “Save data” del monitor al introducir la memoria USB.

- **Día de prueba de toma de datos (MANUAL Y AUTOMÁTICO):**

El 10 de marzo se realizaron diferentes tomas de datos con rangos de distintos tiempos para comprobar si se guardaban correctamente en el ordenador y con condiciones de consigna también distintas para ver si se alcanzaba la temperatura deseada. Se efectuaron 5 tomas de datos distintas.

En la primera prueba el rango de datos se fijó por cada 300 segundos, con una temperatura de 23°C y una humedad relativa de 40/45% y se pudo comprobar cómo superaba el límite de consigna y llegaba a alcanzar una temperatura de 20°C, indicio de que no funcionaba correctamente el control automático.

La segunda prueba, con rango fijado en 120 segundos, duró 10 minutos siendo la temperatura de consigna de 24°C y el de humedad relativa era de 50/55%. En este experimento se encendieron cinco de las resistencias que existen dentro de la cámara, con lo que se comprobó cómo efectivamente no funcionaba el modo automático, ya que el ventilador no se encendió en ningún momento según lo establecido en el Manual 7 y el sensor ST-9 llegaba a alcanzar temperatura de 45°C, valor próximo al límite recomendable.

En una tercera prueba con un rango de 60 segundos sigue sin funcionar el ventilador y se sobrepasan los 50°C por lo que se decide quitar todas las resistencias impuestas.

La cuarta prueba (modo manual) se empleó para bajar la temperatura de la cámara activando manualmente el ventilador. Por último, una quinta prueba de mayor brevedad (termina en 500 segundos) con un rango de 60 segundos al igual que las anteriores.

- **Días de prueba fallidos:**

Antes de la realización de los ensayos definitivos se emplearon dos días de prueba fallidos. En el primero se comprobó que la instalación no soportaba la inclusión del convector externo a su máxima potencia (nivel dos) por lo que en los siguientes días se estableció que el límite para encender el convector sería el nivel uno, que aporta a la cámara climática unos 1000 W de potencia, no los 2000

W que se intentaron aportar anteriormente.

El segundo día fue el software de “The Owl” el que no dejó proceder con el ensayo ya que a no ser que se reiniciara el ordenador no dejaba exportar ningún tipo de dato. Posteriormente se solucionó el problema con dicho medidor y se pudieron empezar los ensayos.

3.2 Ensayos reales

ENSAYO 1

Este ensayo se realizó en modo manual para poder observar la influencia de los distintos niveles del ventilador en la máquina de aire acondicionado, también debido a que todavía no se había solucionado el problema del control automático. Se exportaron cuatro veces las medidas con periodos de 60 segundos durante 20 minutos cada una de ellas, con las velocidades del ventilador al 25,50,75 y 100 por ciento. El convector externo se dejó encendido al nivel 1.

Después de este ensayo, EDIBON arregló el control automático por lo que los siguientes ensayos fueron todos automáticos con ciertas condiciones de consigna impuestas.

ENSAYO 2

Una vez dejada la máquina a enfriar hasta que la enfriadora llega a los 8°C se pone el control automático a 25°C y 40/45% de humedad y el convector nuevamente al nivel 1, se comprueba que funciona bien dicho control automático ya que encendía el ventilador de manera automática un minuto después de haberlo activado, observamos que la máquina no es capaz de llegar a estas condiciones de temperatura y humedad. Como mucho llega a alcanzar los 31°C. Esto nos lleva a la conclusión de que no podemos usar el calefactor como resistencia eléctrica ya que se sobrecalienta demasiado la cámara climática. Se deja enfriar otra vez apagando primero el calefactor, y acto seguido probamos con las resistencias eléctricas (5). Se observa también que no baja de los 30°C.

ENSAYO 3

En este ensayo las condiciones de operación eran de 26°C, máximo valor que permite poner la máquina, y 50/55% de humedad relativa. No se va a emplear el convector externo por lo antes mencionado. Cuando la enfriadora (de manera manual) ha conseguido que se ponga en un valor de 24°C el sensor de temperatura de la cámara se procede a activar el control automático para ver cómo evolucionan las temperaturas y humedades. Lentamente se van añadiendo resistencias empezando por una y llegando hasta cinco resistencias, ya que este parece ser que es el máximo que soporta la cámara.

Durante el ensayo se puede observar que, aunque la temperatura esté por ejemplo a 27,6°C el control automático enciende la resistencia eléctrica. Esto permite plantear la cuestión de si se prioriza el bajar la humedad antes que bajar la temperatura de la cámara. Otra conclusión a la que se llega es respecto al máximo de resistencias que se pueden encender para que llegue a 26°C ya que no llega a alcanzar esa temperatura en todo el ensayo. El rango de medidas es de 60 segundos y se va haciendo cambios, primero se espera 15 minutos y después se van añadiendo las resistencias cada 5 minutos.

Por último, se hace una prueba con 5 resistencias y con la cámara climática cerrada, llegando a una temperatura de 30°C por lo que pasados 15 minutos desde el inicio se abre la cámara y se observa que si puede alcanzar los 26 grados.

ENSAYO 4

Similar al ensayo número 3 aunque con distintas condiciones de consigna. Se aumentaron el número de resistencias hasta observar el límite de trabajo, con las condiciones impuestas de 25°C y 50/55% de humedad relativa. Se comprueba que, al igual que el anterior ensayo, el máximo número de resistencias que soporta la cámara son cuatro, ya que no baja de 26,6°C. El ensayo dura 5000 s y los datos están tomados de 60 segundos en 60 segundos.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según el primer principio de la termodinámica la energía no se crea ni se destruye, en este apartado se estudian las distintas transformaciones entre los elementos de la instalación TACC, para ello se realizarán distintos balances de energía de la siguiente manera:

Ecuación de la energía transferida en forma de calor sensible:

$$Q_a = m_a \cdot C_{pa} \cdot \Delta T$$

En donde:

Q_a = Calor cedido/absorbido

m_a = Caudal másico [kg/s]

C_{pa} = Calor específico del fluido [kJ/C° kg]

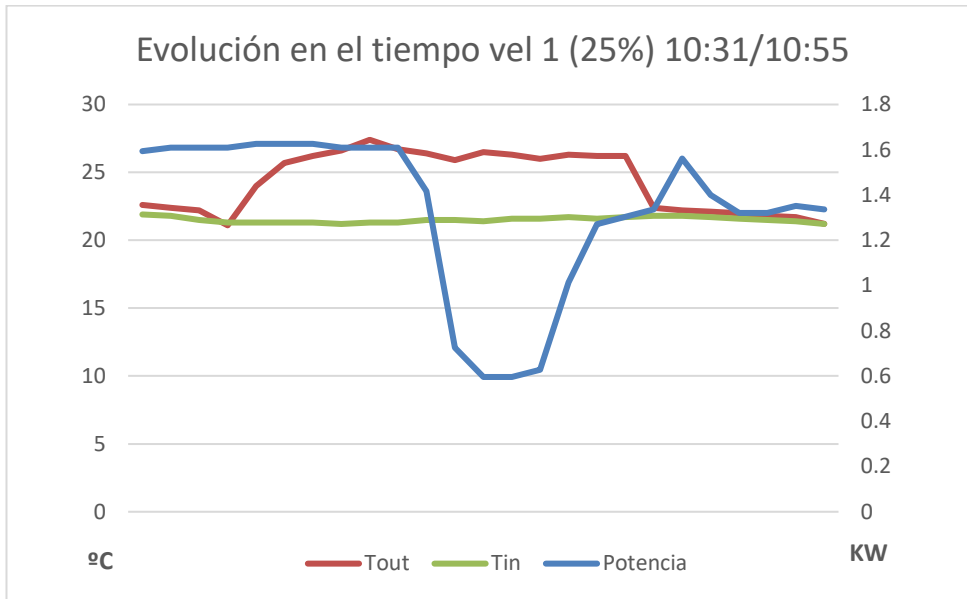
ΔT = Diferencia de temperaturas [C°]

Para este capítulo se ha empleado la herramienta Excel, tanto para la recopilación de datos como para la comparación entre los distintos elementos que componen la máquina.

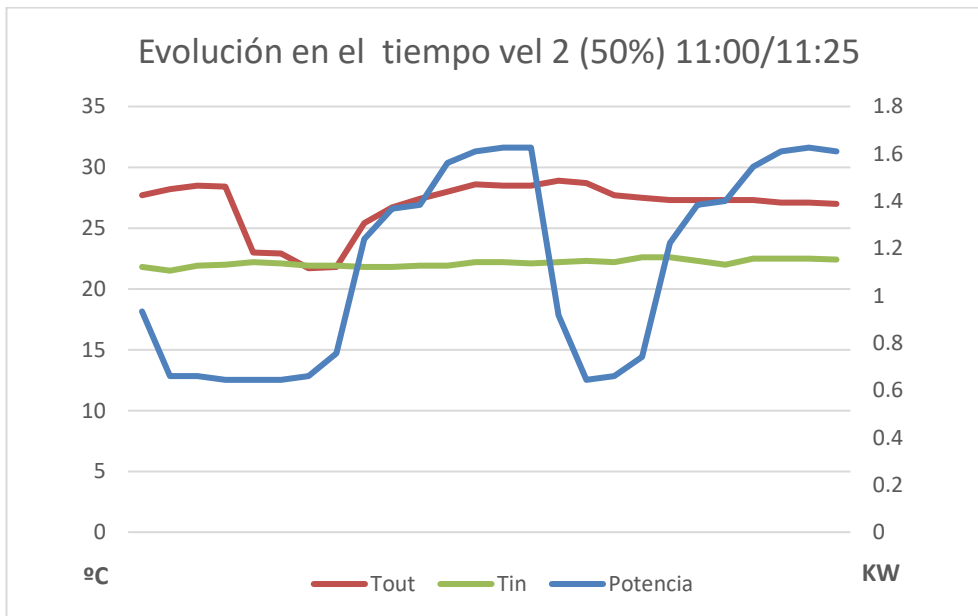
Al haber ensayos con un procedimiento distinto el análisis será diferente para cada uno de ellos. El primer ensayo explicado en el capítulo anterior, al ser manual, se va a analizar la influencia de las distintas velocidades del ventilador con respecto a las distintas temperaturas.

4.1 Análisis primer ensayo

Según las gráficas se puede observar cómo a medida que el ventilador aumenta de velocidad, también debido al haber alcanzado un régimen más permanente, los valores son cada vez más regulares, así, para la primera velocidad las gráficas tendrán más altibajos y para la última velocidad del ventilador serán prácticamente horizontales. Las líneas representadas en este tipo de gráficos serán la temperatura de entrada y salida del condensador y la energía eléctrica consumida por la máquina en su totalidad.

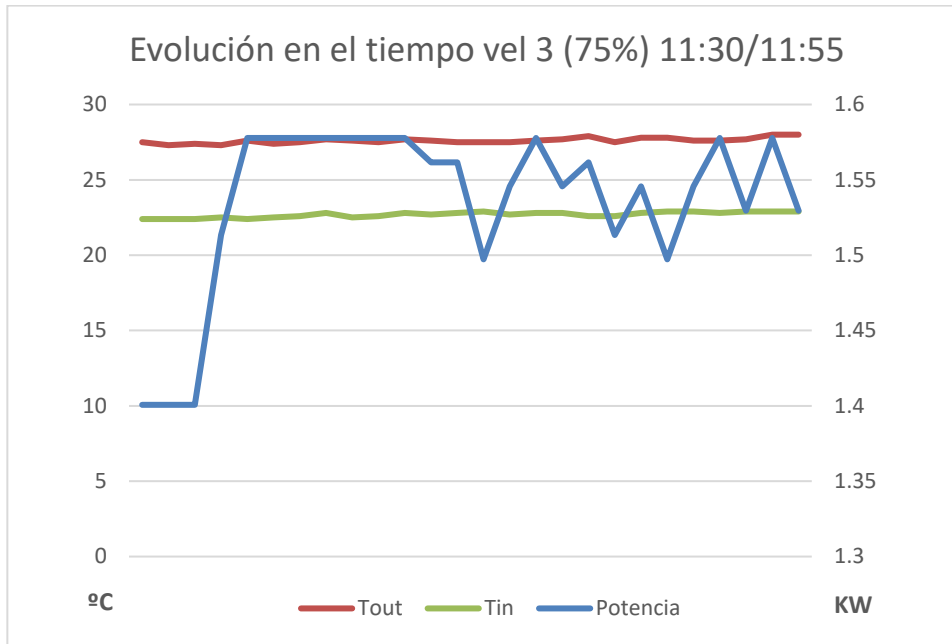


Gráfica 4: resultados del ventilador al 25%

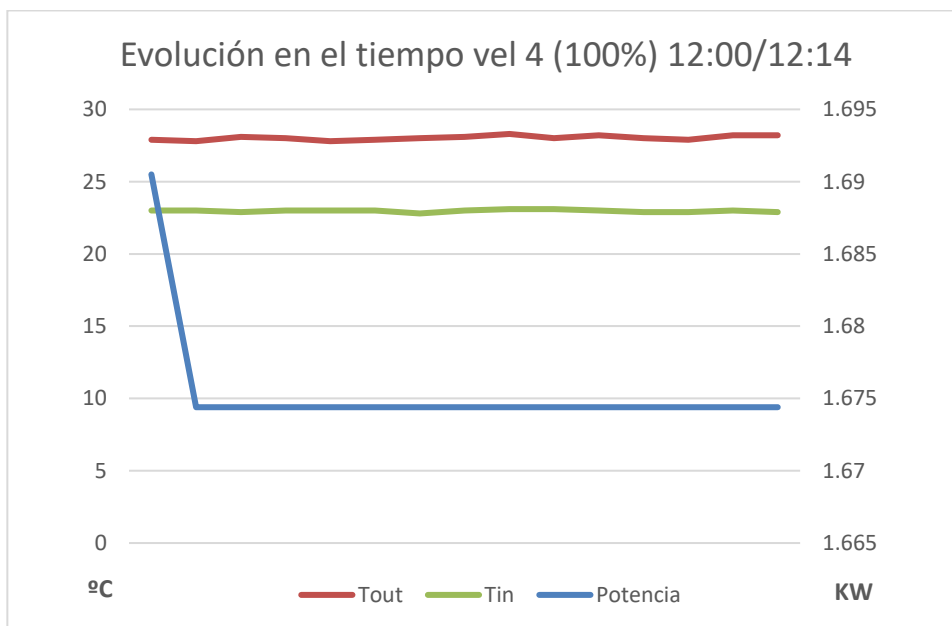


Gráfica 5: resultados del ventilador al 50%

A partir del 75% de velocidad la máquina está estabilizada:



Gráfica 6: resultados del ventilador al 75%



Gráfica 7: resultados del ventilador al 100%

También se puede observar como el consumo total es mayor a medida que el ventilador aumenta su velocidad, aunque al buscar una relación entre potencia y diferencia de temperatura los resultados en Excel no son los esperados ya que haciendo una “Estimación Lineal” entre potencia y diferencia de temperaturas se obtiene un valor de R^2 menor a 0,5 y no en torno a 1.

Respecto a las distintas potencias obtenidas a lo largo del ensayo a medida que aumenta la velocidad del ventilador todas las demás potencias van creciendo a la par. Se muestra a continuación una tabla

por cada velocidad distinta.

Las tres potencias que aparecen son las siguientes:

Potencia sensible del intercambiador de calor agua-aire:

$$Q_{frig} = m_{aire} \cdot C_{paire} \cdot \Delta T$$

Donde la diferencia de temperatura será la temperatura seca medida después del ventilador con ST3 (antes del intercambiador) y antes de la resistencia eléctrica con ST5 (después del intercambiador). El caudal de aire, al estar recirculando gracias al cierre de la trampilla, será el medido por el sensor SC2.

Potencia sensible de la cámara climática empleando también el mismo caudal de aire y como temperaturas las medidas en el sensor ST9 y ST11, colocadas a la entrada y dentro de la cámara.

En las tablas que se muestran a continuación se muestra la diferencia de rango de las potencias a la mínima y a la máxima velocidad:

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELECTRICA KW
0.091996789	0.24532477	1.5939
0.124271582	0.271435298	1.6100046
0.158791466	0.308952962	1.6100046
0.17714151	0.313793532	1.6100046
0.192519729	0.321424243	1.6260954
0.219110422	0.335621519	1.6260954
0.231257268	0.340890343	1.6260954
0.237720013	0.348209597	1.6100046
0.247504973	0.350493619	1.6100046
0.254253221	0.347586682	1.6100046
0.257108249	0.364236686	1.4168046
0.268606225	0.377408747	0.7245
0.269255095	0.390074689	0.5957046
0.26079383	0.37374912	0.5957046
0.268943638	0.392280847	0.6279
0.278806462	0.392709101	1.0143
0.279572128	0.393409881	1.2719046
0.282388224	0.395343514	1.3041
0.306059002	0.415614212	1.3362954
0.31210647	0.406581942	1.5617046
0.30172455	0.3958107	1.4007
0.306591075	0.4022994	1.3202046
0.316440922	0.407088061	1.3202046
0.334038276	0.4282542	1.3524

0.335725338	0.423452562	1.3362954
-------------	-------------	-----------

Tabla 4: potencias para primera velocidad

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA KW
1.28376334	1.105272181	1.6905
1.248841157	1.065587291	1.6743954
1.252760332	1.043966943	1.6743954
1.255628337	1.079161652	1.6743954
1.244065474	0.973616458	1.6743954
1.203472166	0.889522906	1.6743954
1.201681285	0.945585274	1.6743954
1.213555606	0.941666099	1.6743954
1.210012776	0.928766563	1.6743954
1.204562268	0.900112464	1.6743954
1.213555606	0.981454807	1.6743954
1.1809434	0.9668163	1.6743954
1.1809434	0.9603276	1.6743954
1.178581513	0.951931222	1.6743954
1.172105791	0.951931222	1.6743954
1.185667174	0.918566327	1.6583046
1.181501428	0.907340876	1.6743954
1.174973796	0.926923772	1.6743954
1.170769118	0.961469611	1.6743954
1.1530939	0.957654256	1.6583046
1.14460668	0.954929002	1.6743954
1.16731713	0.993887156	1.6743954
1.165046085	0.971981305	1.6743954
1.156130611	0.956797747	1.6743954
1.14460668	0.948388392	1.6743954

Tabla 5: potencias para la cuarta velocidad

Para calcular el COP de la máquina, se sigue la siguiente fórmula.

$$COP = \frac{P_{enf}}{P_{cons}}$$

Siendo P_{enf} la potencia sensible y P_{cons} la potencia eléctrica medida con el dispositivo de “the Owl” ambas indicadas en la tabla 5. A continuación, se muestra el COP para cada velocidad. (Tabla 6)

COP MÁQUINA			
VEL 1	VEL 2	VEL 3	VEL 4
0.057718043	0.90744071	0.93066312	0.7593986
0.077187098	1.26550683	0.8794558	0.74584603
0.098627958	1.23291074	0.89616975	0.74818668
0.110025468	1.20406843	0.80158825	0.74989954

0.118393871	1.18929767	0.74044927	0.74299384
0.134746351	1.17440601	0.74350898	0.71875028
0.142216298	1.12969634	0.74135403	0.71768071
0.14765176	0.95923926	0.7505825	0.72477242
0.153729358	0.58275515	0.74407651	0.72265653
0.157920804	0.5410946	0.74103325	0.71940132
0.181470507	0.53685899	0.75168465	0.72477242
0.370747033	0.47491975	0.7403503	0.70529542
0.451994319	0.4692163	0.75426085	0.70529542
0.437790526	0.48015957	0.87062034	0.70388483
0.428322404	0.4590027	0.79700682	0.70001733
0.274875739	0.82586154	0.79558159	0.71498757
0.219805894	1.1705773	0.78489089	0.70562869
0.216538781	1.10763795	0.74807839	0.70173019
0.229035438	0.94987109	0.77514305	0.69921902
0.199849876	0.5605206	0.75679669	0.69534505
0.215409831	0.51793551	0.79093409	0.68359402
0.23222997	0.51429676	0.75957589	0.69715739
0.239690819	0.48047279	0.74103325	0.69580105
0.246996655	0.46976442	0.77542213	0.69047646
0.25123587	0.46796504	0.7328	0.68359402

Tabla 6: COP por velocidades de TACC

4.2 Análisis segundo ensayo

El objetivo del segundo ensayo es la comparación entre la dificultad para combatir el convector externo que aporta 1000 W a la cabina de ensayo frente a los 500 W de encender cinco de las resistencias que existen dentro de la cámara.

Para ello se ha realizado un balance de energía entre las temperaturas secas 3-5 y un balance en la cámara climática con los sensores 9 y 11 (ST9 y ST11) como en el apartado anterior. Los datos obtenidos del TACC que se han utilizado han sido ST3, ST5, ST9 y ST11 para las temperaturas, haciendo una columna con su resultado en valor absoluto para facilitar el cálculo. Los caudales necesarios son el SC2, de aire recirculado (en nuestro caso la trampilla siempre permanece cerrada), medido en L/s y SC3 que mide el caudal de agua en L/min, por lo que habrá que pasarlo a segundos para que coincidan las unidades.

En el lugar correspondiente a la potencia eléctrica se han puesto los datos obtenidos con el medidor de potencia, aunque estos datos se han debido de calcular previamente multiplicando la columna de “Amps_Raw_Data” por $60 \cdot 230/1000$ correspondientes a los 230 Voltios y al tiempo en el que se

mide cada dato.

Para el convector externo obtenemos como resultados:

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOR KW
0.216657693	0.014443846	1.2879954
1.485185566	1.717714619	1.3845954
1.65975755	1.788597178	1.6422
1.591314743	1.687983395	1.6422
1.599646234	1.622071181	1.6260954
1.516162619	1.552434452	1.6260954
1.556846768	1.564295796	1.6422
1.490480345	1.592768212	1.6422
1.425541435	1.518667258	1.6905
1.426086486	1.519718427	1.6905
1.42497043	1.505767722	1.6743954
1.388062704	1.41713208	1.6905
1.388062704	1.438934112	1.6905
1.344432685	1.416327481	1.6905
1.291926125	1.334284358	1.6905
1.310847174	1.318049631	1.6905
1.303644717	1.310847174	1.7066046
1.33183163	1.442204417	1.7066046
1.308550174	1.43010948	1.6743954
1.224197074	1.347300691	1.7388
1.27762503	1.39896372	1.7388
1.267632432	1.411681572	1.7066046
1.305500485	1.40031337	1.6905
1.263064387	1.363535418	1.7066046

Tabla 7: Resultados de las diferentes potencias para 1000W

Así, los resultados para el COP con el convector externo serán:

COP MÁQUINA
CONVECTOR EXTERNO
0.168213095
1.072649502
1.010691481
0.969013971
0.983734554
0.93239463
0.948025069
0.90761195
0.843266155
0.843588575
0.851035801

0.82109595
0.82109595
0.795287007
0.764227226
0.775419801
0.763882107
0.780398476
0.781506073
0.704047087
0.734773999
0.742780391
0.772257016
0.740103705

Tabla 8: Resultado del COP para el convector externo

En cambio, para las resistencias se observan resultados más bajos, aunque al estar estas resistencias más cerca de los sensores de temperatura, los datos estarán más falseados que respecto al convector que se encuentra en el suelo de la cámara.

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOR
0.572939233	-0.154067693	1.5777954
1.127632241	1.00474924	1.0947954
1.151160267	1.202485884	0.6279
1.097368944	1.19911176	0.8855046
1.094773464	1.195607862	0.9015954
1.124426823	1.196970489	1.2075
1.094033752	1.122635942	1.6260954
1.110411231	1.13162928	1.6422
1.143127256	1.157506216	1.6905
1.157571103	1.179412067	1.8354

Tabla 9: Resultados de las diferentes potencias para 500W

Y para el COP:

COP MÁQUINA
RESISTENCIAS
0.363126444
1.029993587
1.833349685
1.239258321
1.214262477
0.931202338
0.672798012
0.676172958
0.676206599

Tabla 10: Resultados del COP para las resistencias

También cabe destacar que, aunque las potencias que aparecen sobre las partes 3 a 11 son menores, los mayores resultados en el medidor de potencia eléctrica son para cuando la cámara tiene las 5 resistencias, esto puede ser debido a que el ensayo con resistencias fue posterior al del convector, aun así, los mayores índices de COP son para las resistencias eléctricas.

4.3 Análisis tercer y cuarto ensayo

Para ambos ensayos la manera de proceder ha sido la misma por lo que se analizarán en el mismo apartado. En el ensayo 3 con una temperatura de 26°C y en el ensayo 4 con 25°C.

En estos ensayos, al principio cuando tiene 1,2, 3 resistencias, se observa que puede alcanzar perfectamente la temperatura de consigna (comprobada con ST11) y es cuando llega a las 4/5 resistencias el momento en el que no lo consigue. La primera gráfica muestra en ciertos períodos kW negativos y estos son correspondientes a las mayores potencias en el medidor eléctrico.

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOR
1.072192788	0.33357109	1.4007
1.22247108	0.36596268	1.3524
1.177128044	0.183448526	1.6743954
1.188794727	-0.015339287	2.6565
1.206171466	-0.199748141	2.8497
1.192415422	-0.321034921	2.9624046
1.191909303	-0.356813613	3.5742
1.209156268	-0.334609282	3.5742
1.201551511	-0.319399769	3.6063954
1.188522202	-0.284049331	3.6063954
1.227142944	-0.230089302	2.9784954
1.216306815	-0.13431609	3.0107046
1.239795909	-0.067625231	2.8497
1.204640132	0.022308151	2.5116
1.18353888	0.103559652	2.4794046
1.157571103	0.131045785	2.2218
1.137754613	0.167745872	2.1896046
1.129656715	0.18103473	2.2379046
1.131162094	0.161594585	1.7226954
1.129773512	0.132914531	2.3505954
1.114499112	0.095319003	2.6886954

1.102663723	0.0435262	2.9141046
1.14715025	0.059592221	3.1878
1.123168015	0.080226287	3.1878
1.13168119	0.087052399	2.898
1.132823201	0.137093254	2.5277046
1.125685631	0.206613185	2.2379046
1.15234121	0.320905147	2.2218
1.130746817	0.433808527	2.2218
1.113383056	0.535551343	2.2218
1.08106933	0.589044186	1.7388
1.078162392	0.626029776	1.7226954
1.060279535	0.65141357	1.7226954
1.065184992	0.66574062	1.7388
1.06993472	0.666052078	1.7388
1.046419672	0.658343502	1.7388
1.060136783	0.673994246	1.7388
1.049404474	0.724917564	1.7388
1.038581322	0.749704398	1.7388
1.016026601	0.748289861	1.7388
1.01488459	0.780149378	1.7388
0.991668021	0.779656237	1.7226954
1.002296512	0.796345174	1.7549046
1.015559414	0.799926936	1.7226954
0.968711	0.772259119	1.7388
0.992835987	0.770662899	1.7388
0.973460729	0.766341425	1.7388

Tabla 11: Resultados ensayo 3 hasta cuatro resistencias

Para el ensayo con 5 resistencias los resultados son más regulares, lo que tiene sentido ya que en la primera parte vamos aumentando el número de resistencias, por lo que la máquina también deberá hacerlo:

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOR
1.006423325	0.802418597	2.2379046
0.961560453	0.855457231	2.2218
0.958666493	0.898749837	2.3828046
0.992978738	0.932594896	1.7549046
1.02197025	0.960652035	1.7388
0.995807812	0.975485203	1.7388
0.999623167	0.979222694	1.7549046
1.002582014	0.975485203	1.7388
0.986152626	0.939823308	1.7549046

1.013106686	0.899048317	1.8032046
1.005488952	0.830034504	1.7549046
0.985296118	0.778916525	1.7388
0.990084778	0.774556119	1.7549046
0.983349508	0.767820848	1.7549046

Tabla 12: Resultados ensayo 3 con 5 resistencias

Similar a los apartados anteriores, el valor del COP para cada caso es:

COP MÁQUINA
0.765469257
0.903927152
0.703016769
0.447504132
0.423262612
0.402516058
0.333475828
0.338301233
0.333172428
0.329559593
0.412000953
0.403994073
0.435061904
0.479630567
0.477348021
0.521005987
0.51961647
0.504783231
0.65662339
0.480632912
0.414512969
0.378388519
0.359856406
0.352333275
0.390504206
0.448162812
0.503008766
0.518652089
0.508932765
0.501117587
0.621732994
0.625857823
0.61547708
0.612597764
0.615329377
0.601805654
0.609694492

0.603522242
0.597297747
0.584326317
0.583669536
0.575649079
0.57114017
0.589517691
0.557114677
0.57098918
0.55984629

Tabla 12: Resultados del COP para hasta 4 resistencias

Para a partir de cinco serán:

COP MÁQUINA
0.449716813
0.432784433
0.402326944
0.565830609
0.587744565
0.572698304
0.569616814
0.576594211
0.561940875
0.561836791
0.572959323
0.566652932
0.564181539
0.560343569

Tabla 13: Resultados del COP para cinco resistencias

Similar al ensayo 3 pero intentando que logre una menor temperatura menor (25°C) vemos comparando el sensor ST11 como no es posible. En general, en el ensayo 4 consigue llegar a una menor temperatura de la cámara:

ST11 3	ST11 4
26.8	27
27.1	27.8
27.1	28.3
27.2	28.3
27.1	28.4
27.2	28.7
27.1	29.2
26.9	29.3
26.6	28.4

26.7	27
27.5	26.4
28.6	26.2
29	26.2
29.5	26.1
29.5	26.2
29.8	26.2
29.6	26.2
29.6	26.1
29.6	26.2
28.7	26.2
27.6	26.2
27	26
26.8	26.2
26.7	26

Tabla 14: comparación temperatura de la cámara con 5 resistencias en el ensayo 3 y 4

Para el cuarto ensayo los resultados, similares al ensayo 3 son los siguientes al principio del ensayo:

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOR KW
0.399444372	0.133148124	0.5796
0.510401142	0.125751006	0.8211
0.519615096	-0.007423073	0.9821046
0.524832011	-0.136600112	1.7066046
0.623538115	-0.215269111	2.3828046
0.647156983	-0.291576223	2.8658046
0.713471497	-0.349455427	3.1395
0.764433747	-0.342175106	3.1395
0.83574456	-0.283426416	3.4131954
0.869446868	-0.204575734	3.2039046
0.91166235	-0.12398608	3.2039046
0.946026505	-0.044694166	3.1878
0.929921552	0.035493189	2.9784954
0.956200787	0.107842194	2.5116
0.958316103	0.149071394	2.0286
0.937305692	0.167875646	2.5116
0.942392833	0.148798868	1.9964046
0.926858885	0.097564093	2.6565
0.995626128	0.029069376	2.9784954
0.988099236	-0.021023388	3.1556046
0.993264241	-0.083937823	3.4454046
1.018699945	-0.138598632	3.1556046
1.023709222	-0.152172992	3.4454046
1.054439705	-0.149616445	3.5259
1.083651832	-0.100471031	3.9123
1.064250619	-0.013911773	3.1395

1.08620838	0.049054572	2.7692046
1.061213908	0.137819988	2.7692046
1.041514214	0.226118218	2.4471954
1.051377038	0.318179893	2.6243046
1.01613042	0.365806951	2.6403954
1.01128985	0.393656452	1.9641954
1.026823798	0.394409141	1.9964046
1.002582014	0.359032748	1.9641954
0.991992456	0.310419408	2.3828046
1.026823798	0.244805674	2.7531
1.051377038	0.193674718	2.6403954
1.065210947	0.138339084	2.6243046
1.081886906	0.11714699	3.1556046
1.047250225	0.106726138	2.9463
1.086727476	0.144438462	3.4454046
1.056879456	0.184953905	2.7692046
1.06933776	0.260651079	2.7531
1.093216176	0.357657144	1.9803
1.053038146	0.425139624	2.4794046
1.04113787	0.484095952	1.9964046
1.015247957	0.514216498	1.9803
1.019244996	0.536096394	1.9964046
1.012626522	0.542714868	1.9964046
1.009252398	0.596376417	1.9964046
1.013898307	0.627016058	1.9964046
0.995470399	0.626289324	1.9803
1.003308749	0.631220736	1.9964046
0.962611622	0.614298206	1.9964046
1.012626522	0.648610452	1.9803
0.994172659	0.640979741	1.9964046
1.004035483	0.647338667	2.0124954

Tabla 15: Muestra de resultados del ensayo cuarto para primeras resistencias

Para a partir de 5 resistencias:

POTENCIA FRIG KW	POTENCIA CÁMARA KW	POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOR KW
1.048859423	0.807817195	1.9964046
1.065885772	0.875079059	1.9803
1.030146012	0.864813936	1.9803
1.053427468	0.911247073	1.9803
1.055646603	0.895700148	1.9964046
1.01542964	0.921408377	1.9964046
1.061888732	0.97719822	1.9964046
1.055542784	0.977834113	1.9964046

1.066352958	0.918605259	1.9964046
1.053505332	0.828671877	1.9964046
1.055374078	0.788273231	1.9803
1.036453028	0.761345126	2.0124954
1.062018506	0.764135267	1.9964046
1.038555367	0.750067765	1.9964046
1.044421152	0.763732967	1.9803
0.994587936	0.727292428	1.9803
1.042760045	0.753104477	1.9964046
1.009161556	0.720829683	1.9641954
1.015351776	0.729784089	1.9803
1.021736657	0.725306886	1.9964046
1.040268384	0.741191224	1.9964046
1.021697725	0.717092192	1.9964046
1.036323254	0.740230896	1.9803
1.032144532	0.724424423	1.9964046
1.057761919	0.741723297	2.0124954

Tabla 16: Resultados del cuarto ensayo para 5 resistencias

En general, la diferencia de COP entre el número de resistencias para el tercer ensayo y el cuarto ensayo es mínimo por lo que quedará explicado en las tablas anteriores.

Con respecto al condensador, se ha empleado el caudal de aire y los datos recogidos en los medidores de Elitech, obteniendo unos resultados por kW:

FLUIDO: AIRE CONDENSADOR			
ENTRADA	SALIDA	ΔT	POT COND KW
26.3	31.7	5.4	0.351791359
26.3	31.8	5.5	0.361874799
26.1	31.8	5.7	0.362458782
26.2	32	5.8	0.374839222
26.4	31.8	5.4	0.345484343
26.2	31.7	5.5	0.344744631
26.4	32	5.6	0.364820669
26.4	31.8	5.4	0.34968902
26.2	31.8	5.6	0.359733528
26.3	32.1	5.8	0.372581154
26.2	31.7	5.5	0.358306014
26.3	32.1	5.8	0.371075776
26.3	32	5.7	0.369116188
26.3	32.1	5.8	0.371828465
26.2	32	5.8	0.378602668
26.2	32	5.8	0.360538127

26.3	32	5.7	0.366897053
26.5	32	5.5	0.344744631
26.1	31.9	5.8	0.368065019
26.3	32	5.7	0.359499935
26.2	32.1	5.9	0.383598967
26.4	32	5.6	0.355373122
26.3	31.9	5.6	0.360460262
26.4	32	5.6	0.359006794
26.3	32	5.7	0.367636765

Tabla 17: Resultados para 5 resistencias de la potencia en el condensador

Para la potencia se ha seguido el siguiente balance:

$$Q_{cond} = m_{aire} \cdot C_{paire} \cdot \Delta T$$

Con el caudal en L/s, para el poder calorífico se ha utilizado 1 KJ/kgK y todo ello multiplicado por la diferencia de temperatura obteniendo los resultados en kW de la tabla 14. A diferencia del balance de la potencia de los demás elementos, aquí la diferencia de temperatura está tomada de los datos de los medidores de temperatura adicionales.

5 CONCLUSIONES

Finalizaremos este Trabajo Fin de Grado presentando las conclusiones que se han extraído del estudio y análisis de un sistema de climatización experimental, tanto de la parte experimental como del análisis de los resultados obtenidos.

En primer lugar, sobre la parte experimental, a lo largo de todo el proceso de ensayos se han ido solucionando los distintos problemas que presentaba el control automático del TACC. Actualmente la máquina es capaz de lograr las condiciones de operación propuestas siempre y cuando no exista en la cámara una alta resistencia. Solo será válida para soportar cargas térmicas bajas (ensayos con hasta cuatro resistencias, 400W).

Con respecto a esta parte también cabe mencionar la posición inadecuada de algunos de los sensores del proceso, como por ejemplo los que presenta la cabina de ensayo en su interior. Durante el proceso de experimentación se ha comprobado la existencia de estratificación en la cámara. La estratificación hace referencia a un gradiente vertical de temperatura, esta se produce debido a que el aire frío y el aire caliente tienen diferentes densidades. A parte, al estar colocados los sensores cerca de las resistencias térmicas, hará que los resultados sean distintos a los esperados.

En segundo lugar, analizando los resultados obtenidos llegamos a la conclusión de que la potencia producida por la planta enfriadora está desacoplada a la potencia frigorífica que produce la máquina. Esto se deduce debido a la diferencia de COP entre la planta enfriadora, que es elevado, en comparación con el COP que podría alcanzar el sistema.

Por último, debido a esta segunda razón, la conclusión es que la máquina solo puede trabajar con COP bajos, resultado de la aplicación de la máquina, ya que está construida para el mero estudio de las distintas fases que se producen dentro de un aire acondicionado y no está hecha para soportar más de un KW de potencia.

Mediante este estudio, por tanto, se ha logrado comprender las diferencias entre los distintos elementos de un sistema de climatización y se han solucionado los problemas con el control remoto para el correcto funcionamiento a la hora de que el alumnado pueda realizar las diferentes prácticas que se proponen.

Como posibles trabajos futuros, se podría plantear un estudio con respecto a otros elementos del sistema, estudiar más a fondo cuando se enciende cada elemento con el control automático, otra posibilidad es la de hacer ensayos con aire no recirculado abriendo la trampilla que existe para introducir aire exterior o bien teniendo en cuenta otras variables como puede ser la humedad, aunque

la diferencia entre temperaturas seca y húmeda sea escasa.

REFERENCIAS

Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios. (s. f.).

<https://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/39119/book/OEBPS/Text/chapter1.html>

The Future of Cooling – Analysis. (2018, mayo). IEA. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>

Davis, L., Gertler, P., Jarvis, S., & Wolfram, C. (2021, julio). Air conditioning and global inequality.

Global Environmental Change, 69, 102299. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102299>

Cooling Emissions and Policy Synthesis Report. (2020, julio). UNEP - UN Environment Programme.

<https://www.unep.org/resources/report/cooling-emissions-and-policy-synthesis-report>

Castilla, M., Álvarez, J., Berenguel, M., Pérez, M., Rodríguez, F., & Guzmán, J. (2010, julio). Técnicas

de Control del Confort en Edificios. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática*

Industrial RIAI, 7(3), 5-24. [https://doi.org/10.1016/s1697-7912\(10\)70038-8](https://doi.org/10.1016/s1697-7912(10)70038-8)

Climate Watch Historical GHG Emissions. (2022). Washington, DC: World Resources Institute.

<https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>.

Global Industrial Refrigeration Market Size, Share, System, Product - 2028. (2021). Allied Market

Research. [https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-refrigeration-](https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-refrigeration-market#:~:text=The%20industrial%20refrigeration%20market%20size,5.4%25%20from%202021%20to%202028.+)

[market#:~:text=The%20industrial%20refrigeration%20market%20size,5.4%25%20from%202021%20to%202028.+](https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-refrigeration-market#:~:text=The%20industrial%20refrigeration%20market%20size,5.4%25%20from%202021%20to%202028.+)

El cambio climático, en datos y gráficos. (s. f.). [https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-](https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447?accion=1)

[graficos/447?accion=1](https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447?accion=1)

Entra en vigor el nuevo etiquetado energético para fuentes de iluminación. (s. f.).

<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/entra-en-vigor-el-nuevo-etiquetado-energ%C3%A9tico-para-fuentes-de-iluminaci%C3%B3n/tcm:30-530340>

Un aire acondicionado más eficiente puede ahorrar 8 años de emisiones. (2020, 21 julio). Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/07/1477651>

The importance of industrial refrigeration and air conditioning in Spain. (2022). Intersam.

<https://intersam.es/en/the-importance-of-industrial-refrigeration-and-air-conditioning-in-spain/>

Summary for Policymakers. (2022, 9 junio). *Global Warming of 1.5°C*, 1-24.

<https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>

The Paris Agreement. (2014). United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>

Byatt, Gareth (2020, junio). *The air-conditioning industry.* https://irp-cdn.multiscreensite.com/8bbcaf75/files/uploaded/MRS-3_air-conditioning_June2020.pdf

International Council of Air-Conditioning, Refrigeration, and Heating Manufacturers Association.

(s. f.). <https://icarhma.ahrinet.org/Home.aspx>

Mitsubishi Electric apuesta por el desarrollo sostenible con tecnologías altamente eficientes. (2022, 25

marzo). ESEFICIENCI. [https://www.eseficiencia.es/2022/03/28/mitsubishi-electric-apuesta-](https://www.eseficiencia.es/2022/03/28/mitsubishi-electric-apuesta-desarrollo-sostenible-tecnologias-altamente-eficientes#:~:text=La%20compa%C3%B1a%20ADa%20ha%20conseguido%20de,reducci%C3%B3n%20en%20un%2045%25%20en)

[desarrollo-sostenible-tecnologias-altamente-](https://www.eseficiencia.es/2022/03/28/mitsubishi-electric-apuesta-desarrollo-sostenible-tecnologias-altamente-eficientes#:~:text=La%20compa%C3%B1a%20ADa%20ha%20conseguido%20de,reducci%C3%B3n%20en%20un%2045%25%20en)

[eficientes#:~:text=La%20compa%C3%B1a%20ADa%20ha%20conseguido%20de,reducci](https://www.eseficiencia.es/2022/03/28/mitsubishi-electric-apuesta-desarrollo-sostenible-tecnologias-altamente-eficientes#:~:text=La%20compa%C3%B1a%20ADa%20ha%20conseguido%20de,reducci%C3%B3n%20en%20un%2045%25%20en)

[%20de,reducci](https://www.eseficiencia.es/2022/03/28/mitsubishi-electric-apuesta-desarrollo-sostenible-tecnologias-altamente-eficientes#:~:text=La%20compa%C3%B1a%20ADa%20ha%20conseguido%20de,reducci%C3%B3n%20en%20un%2045%25%20en)

OCU. (2022, 8 agosto). *Nuevas etiquetas de eficiencia energética*. www.ocu.org.

<https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/equipamiento-hogar/noticias/cambio-certificacion-energetica>

Villasur, S. (2021, 2 marzo). *Etiqueta energética 2022 ¿en qué electrodomésticos aparece?* Roams.

<https://energia.roams.es/luz/etiqueta-energetica/>

BBC News Mundo. (2018, 19 junio). *Cómo la creciente demanda de aire acondicionado puede calentar nuestro planeta aún más*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44536129>

Temperature Data Logger, Temperature Controller - Elitecheu.com. (s. f.). ElitechEU.

https://www.elitecheu.com/?gclid=CjwKCAjwmJeYBhAwEiwAXlg0Afrn9QJ3fhgQn_nhxJuevOjsmiubbxKlvGeSQxvPkCNiK0K_bgBkCxoCSKYQAvD_BwE

Style, O. (2020, 3 junio). *La humedad y la calidad del aire ¿cuál es su nivel óptimo? ¿cómo medirla?*

[caloryfrio.com. https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/ventilacion-y-calidad-aire-interior/humedad-y-calidad-del-aire-cual-es-nivel-optimo-como-medirla.html](https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/ventilacion-y-calidad-aire-interior/humedad-y-calidad-del-aire-cual-es-nivel-optimo-como-medirla.html)

Acondicionamiento de aire. (s. f.). Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico. <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/19385>