

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



"ESTUDIO DE MEJORA DE EFICIENCIA DE  
UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO  
SPLIT, ALIMENTADO CON ENERGÍA DE RED  
Y APORTE FOTOVOLTAICO, MEDIANTE USO  
DE PREENFRIAMIENTO EVAPORATIVO POR  
ATOMIZACIÓN ULTRASÓNICA"

TRABAJO FIN DE GRADO

Mayo-2024

AUTOR: Javier Castillejos Torregrosa

DIRECTOR/ES: Pedro Martínez Martínez



## AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, y como es normal, me gustaría agradecer especialmente a Pedro Martínez, mi tutor de este trabajo de fin de grado, que desde un principio contó conmigo para este proyecto. Yo buscaba un trabajo de fin de grado que me pusiera a prueba, con un tutor atento y gracias a él así ha sido. Siempre ha estado disponible al momento para resolver cualquier cuestión que pudiera surgir y que, junto a Eugenio Sánchez, agradezco por haberme prestado material del Laboratorio que necesitaba para este proyecto.

También quiero mostrar mi aprecio al trabajo de laboratorio de Jorge Fabregat, quien ha estado día a día en el laboratorio encargándose del funcionamiento de los equipos y la toma de lecturas y con quien he llevado una comunicación habitual que me ha ayudado a resolver mis dudas.

A mi familia y amigos, que, aunque no pudieran ofrecerme ese soporte técnico que podía encontrar en mi tutor, sí han sido un apoyo moral que, al fin y al cabo, siempre es necesario. Sin ellos, la vida diaria habría sido más difícil de llevar.

No quiero olvidarme de agradecer a mis compañeros de trabajo Álvaro Martínez, Moisés Plaza, Marcos Mesa, Daniel Murcia y muchos otros. He compaginado prácticas con proyecto de final de carrera durante el año 2023 y gracias a ellos se me ha hecho más fácil. Más que compañeros, amigos. Especialmente, a mi tutor de prácticas en la empresa, Pedro Manuel García, que ha sido el que más me ha ayudado a evolucionar como persona.



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. CICLO DE REFRIGERACIÓN .....	11
1.3. EL PREENFRIAMIENTO EVAPORATIVO: ATOMIZACIÓN ULTRASÓNICA.....	14
1.4. ANTECEDENTES .....	16
2. OBJETIVOS.....	18
3. MATERIAL EMPLEADO .....	21
3.1. ATOMIZADOR ULTRASÓNICO .....	21
3.1.2. MOSFET .....	24
3.1.3. Microprocesador .....	24
3.1.4. Bobinas .....	25
3.1.5. Condensadores.....	26
3.1.6. Resistencias .....	27
3.1.7. Fuente de alimentación.....	27
3.2. MATRIZ DE ATOMIZADORES. SECCIÓN DE PREENFRIAMIENTO ...	29
3.3. PROTOTIPO. EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN.....	29
3.4. SENSORES DE MEDIDA. ....	36
3.4.1. Medidor de presión. Transductor de presión .....	37
3.4.2. Medidor de temperatura. RTD.....	38
3.4.3. Medidor de humedad. Termohigrómetro.....	40
3.4.4. Medidor de velocidad del viento. Anemómetro.....	43
3.4.5. Medidor de valores de irradiancia. Piranómetro .....	45
3.4.6. Medidor de corriente continua. Resistencia shunt.....	47
3.4.7. Medidor de corriente de red. Convertidor .....	49
3.4.8. Resumen de los equipos de medida .....	50

3.5.	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	52
3.6.	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	62
3.7.	ORDENADOR PERSONAL.....	64
4.	PROCEDIMIENTOS .....	65
4.1.	PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO: TOMA DE MEDIDAS .....	65
4.2.	RECEPCIÓN DE LOS RESULTADOS. LISTA DE VARIABLES. ....	70
4.3.	PROCEDIMIENTO PARA LA AUTOMATIZACIÓN. PROGRAMACIÓN EN PYTHON.....	76
4.3.1.	El archivo csv o xlsx de toma de medidas .....	76
4.3.2.	El cuaderno Jupyter. Introducción. ....	81
4.3.3.	El cuaderno Jupyter. Desarrollo del código de programación. ....	83
4.3.4.	Ejemplos prácticos. ....	99
4.3.4.1.	Ejemplo práctico 1: Introducción de una nueva variable .....	100
4.3.4.2.	Ejemplo práctico 2: Cálculo y seguimiento de EER con cuaderno Jupyter	101
4.3.4.3.	Ejemplo práctico 3: Filtrado de lecturas y detección de desviación en los ensayos.....	107
5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	115
5.1.	ANÁLISIS MATEMÁTICO .....	115
5.2.	ENSAYOS Y GRÁFICAS .....	120
5.2.1.	Ensayo en seco: 2 de agosto de 2023 .....	122
5.2.2.	Ensayo húmedo. 1 de agosto de 2023 .....	140
5.2.3.	Ensayo en seco. 26 de septiembre de 2023.....	158
5.2.4.	Ensayo en seco. 27 de septiembre de 2023.....	160
5.2.5.	Ensayo con atomización. 28 de septiembre de 2023.....	162
5.2.6.	Ensayo en seco. 29 de septiembre de 2023.....	163
5.2.7.	Ensayo con atomización. 4 de octubre de 2023.....	164
5.2.8.	Ensayo con atomización. 5 de octubre de 2023.....	166
5.2.9.	Ensayo con atomización. 6 de octubre de 2023.....	168
5.2.10.	Ensayo con atomización. 19 de septiembre de 2023.....	169

5.2.11.	Ensayo con atomización. 20 de septiembre de 2023.....	171
5.2.12.	Ensayo con atomización. 21 de septiembre de 2023.....	172
5.2.13.	Ensayo en seco. 2 de octubre de 2023.....	174
5.2.14.	Tabla resumen de los ensayos y observaciones de los resultados .....	175
5.3.	ENSAYOS FRAGMENTADOS.....	180
5.3.1.	Extracto de ensayo con atomización. 1 de agosto de 2023.....	180
5.3.2.	Extracto de ensayo en seco. 2 de agosto de 2023. ....	183
5.3.3.	Extracto de ensayo con atomización. 19 de septiembre de 2023 .....	185
5.3.4.	Extracto de ensayo con atomización. 20 de septiembre de 2023. ....	186
5.3.5.	Extracto de ensayo con atomización. 21 de septiembre de 2023 .....	188
5.3.6.	Extracto de ensayo en seco. 26 de septiembre de 2023.....	190
5.3.7.	Extracto de ensayo en seco. 27 de septiembre de 2023.....	191
5.3.8.	Extracto de ensayo con atomización. 28 de septiembre de 2023 .....	193
5.3.9.	Extracto de ensayo en seco. 29 de septiembre de 2023.....	195
5.3.10.	Extracto de ensayo en seco. 2 de octubre de 2023. ....	196
5.3.11.	Extracto de ensayo con atomización. 4 de octubre de 2023. ....	198
5.3.12.	Extracto de ensayo con atomización. 5 de octubre de 2023. ....	199
5.3.13.	Extracto de ensayo con atomización. 6 de octubre de 2023. ....	201
5.3.14.	Tabla resumen de los fragmentos de ensayo y observaciones de los resultados.....	203
5.4.	RESUMEN GENERAL Y CONCLUSIONES .....	207
6.	CONCLUSIONES .....	224
6.1.	ESTUDIO DE MEJORA DE EFICIENCIA. ....	224
6.2.	PROGRAMACIÓN EN CUADERNOS JUPYTER. ....	227
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	230



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Generación renovable y no renovable entre enero y abril del 2012 en España.....	3
Figura 1.2: Generación renovable y no renovable entre enero y abril del 2023 en España.....	3
Figura 1.3: Central hidroeléctrica de Baihetán (China) .....	5
Figura 1.4: Parque eólico East Anglia One, uno de los tres que conformará el complejo East Anglia Hub .....	5
Figura 1.5: Recorrido de la electricidad, desde su generación hasta nuestros hogares o industrias.....	9
Figura 1.6: Tecnologías que han marcado el precio de la luz en julio de 2021. ....	10
Figura 1.7: El ciclo de refrigeración. Componentes y funcionamiento básico.....	12
Figura 3.1: Circuito eléctrico del módulo atomizador ultrasónico .....	21
Figura 3.2: Circuito integrado. Atomizador ultrasónico. ....	22
Figura 3.3: Disco humidificador piezoeléctrico. ....	23
Figura 3.4: Transistor de efecto campo o “MOSFET” .....	24
Figura 3.5: Microprocesador. ....	25
Figura 3.6: Bobina o inductor.....	25
Figura 3.7: Condensador .....	26
Figura 3.8: Resistencias.....	27
Figura 3.9: Fuente de alimentación. ....	28
Figura 3.10: Multímetro digital para medida.....	28
Figura 3.11: Matriz de atomizadores ultrasónicos.....	29
Figura 3.12: Equipo de clima (frontal) .....	30
Figura 3.13: Equipo de clima (posterior).....	30
Figura 3.14: Ficha técnica del equipo de climatización en estudio.....	32
Figura 3.15: Ficha técnica del equipo de climatización en estudio (2). ....	34

Figura 3.16: Calificación energética en función de los valores SEER y SCOP.....	36
Figura 3.17: Transductor de presión P499ACS-404C.....	37
Figura 3.18: Sonda RTD empleada en los ensayos .....	38
Figura 3.19: Estructura de un RTD .....	39
Figura 3.20: Termohigrómetro empleado en el laboratorio .....	41
Figura 3.21: Termohigrómetro colocado en el lugar de la parrilla de atomización .....	42
Figura 3.22: Termohigrómetros colocados para medir la humedad ambiental y del aire de salida del equipo. ....	42
Figura 3.23: Sonda del anemómetro colocada a la salida del ventilador .....	43
Figura 3.24: Caja de configuraciones del anemómetro .....	43
Figura 3.25: Estación meteorológica formada por un anemómetro de cazoletas y veleta .....	45
Figura 3.26: Apariencia de un piranómetro de termopila.....	46
Figura 3.27: Refracción de los rayos de luz. Efecto que se produce en la cúpula de vidrio del piranómetro. ....	47
Figura 3.28: Resistencias shunt en el interior de la instalación del equipo de climatización.....	48
Figura 3.29: Convertidor de medida.....	50
Figura 3.30: Datos técnicos del módulo fotovoltaico SG360M marca .....	53
Figura 3.31: Resumen gráfico del efecto fotoeléctrico.....	55
Figura 3.32: Dopaje del silicio en el efecto fotovoltaico.....	56
Figura 3.33: Gráfica I-V de una célula fotovoltaica.....	59
Figura 3.34: Gráficas I-V del módulo SG360M.....	61
Figura 3.35: Sistema de adquisición de datos AGILENT 34970A .....	62
Figura 3.36: Valores proporcionados por el sistema de adquisición de medida. Variables de temperatura del ciclo frigorífico .....	63
Figura 4.1: Instalación del equipo de clima. Unidad de adquisición de datos en la parte superior de la misma.....	67

Figura 4.2: Apariencia de un archivo csv de recopilación de medidas. Primera parte...	77
Figura 4.3: Apariencia de un archivo csv de recopilación de medidas. Segunda parte..	78
Figura 4.4: Vista de las medidas tomadas. Archivo tipo xlsx. ....	80
Figura 4.5: Interfaz cuadernos Jupyter. ....	82
Figura 4.6: Llamada del Cuaderno Jupyter a Google Drive.....	84
Figura 4.7: Importar librerías “Pandas” y “Numpy” con los nombres “pd” y ”np”.....	84
Figura 4.8: Código para leer, editar y mostrar las medidas.....	85
Figura 4.9: Impresión en pantalla de las lecturas del ensayo .....	88
Figura 4.10: Importar librería “matplotlib.pyplot” con el nombre “plt” .....	89
Figura 4.11: Código para trazar gráficas. ....	90
Figura 4.12: Ejemplo de gráfica de líneas trazada con cuaderno Jupyter. ....	95
Figura 4.13: Ejemplo de gráfica de barras trazada con cuaderno Jupyter.....	97
Figura 4.14: Ejemplo de gráfico de barras trazado en fondo oscuro.....	98
Figura 4.15: Código para la obtención de valores medios, máximos y mínimos.....	99
Figura 4.16: Lectura del archivo csv .....	100
Figura 4.17: Asignación de variables a ejes “x” e “y” .....	101
Figura 4.18: Valores promedio auxiliares necesarios.....	102
Figura 4.19: Construyendo variables cadena.....	103
Figura 4.20: Obtención de entalpías con cuaderno jupyter .....	104
Figura 4.21: Obtención del valor de potencia de entrada .....	105
Figura 4.22: Obtención de la potencia del compresor, caudal de refrigerante y potencia térmica de refrigeración.....	105
Figura 4.23: Gráfica de barras seguimiento de eficiencia energética.....	106
Figura 4.24: Gráfico de puntos de seguimiento de eficiencia energética.....	107
Figura 4.25: Conversión a número de una variable (HRAmb) previamente de tipo texto .....	108
Figura 4.26: Código para detección de desviaciones en las lecturas usando una variable restrictiva .....	109

Figura 4.27: Respuesta obtenida del código de máxima desviación admitida (1). .....	111
Figura 4.28: Respuesta obtenida del código de máxima desviación admitida (2). .....	111
Figura 4.29: Código para detección de desviaciones en las lecturas usando más de una variable restrictiva .....	112
Figura 4.30: Código para detección de desviaciones en las lecturas usando más de una variable restrictiva y número de lecturas máximo a mostrar.....	114
Figura 5.1: Código para obtener los valores medios .....	121
Figura 5.2: 02/08. T_sal_ev, T_ent_comp.....	122
Figura 5.3: 02/08. T_sal_comp, T_ent_cond.....	125
Figura 5.4: 02/08. T_sal_cond, T_ent_evap .....	126
Figura 5.5: 02/08. P_asp_comp, P_desc_comp.....	127
Figura 5.6: 02/08. P3_salida_condensa, P4_salida_valvula.....	128
Figura 5.7: 02/08. Vel_aire.....	129
Figura 5.8: 02/08. T_amb .....	130
Figura 5.9: 02/08. HR_Amb, HR_Int.....	131
Figura 5.10: 02/08. HR_Ent, HR_Sal.....	132
Figura 5.11: 02/08. Temp_Entrada, Temp_Int, Temp_Salida.....	133
Figura 5.12: 02/08. Irradiancia .....	134
Figura 5.13: 02/08. Int_Red, Int_PV .....	135
Figura 5.14: 02/08. Int_comp .....	136
Figura 5.15: 02/08. Volt_Red, Volt_PV .....	137
Figura 5.16: 01/08. T_sal_evap, T_ent_comp.....	141
Figura 5.17: 01/08. T_sal_comp, T_ent_cond.....	142
Figura 5.18: 01/08. T_sal_cond, T_ent_evap .....	143
Figura 5.19: 01/08. P_asp_comp, P_desc_comp.....	144
Figura 5.20: 01/08. P3_salida_condensa, P4_salida_valvula.....	145
Figura 5.21: 01/08: Vel_aire.....	146
Figura 5.22: 01/08. T_amb .....	147

Figura 5.23: 01/08. HR_amb, HR_int .....	148
Figura 5.24: 01/08. HR_ent, HR_sal .....	149
Figura 5.25: 01/08. Temp_Entrada_Temp_Int, Temp_Salida.....	150
Figura 5.26: 01/08. Irradiancia .....	151
Figura 5.27: 01/08. Int_Red, Int_PV .....	152
Figura 5.28: 01/08. Int_Comp .....	153
Figura 5.29: 01/08. Volt_Red, Volt_PV.....	154
Figura 5.30: Gráfica comparación humedad ambiental y laboratorio. 27 de septiembre. .....	160
Figura 5.31: Ejemplo de gráfica de intensidad fotovoltaica un día con nubes ocasionales. 4 de octubre .....	165
Figura 5.32: Ejemplo de gráfica de irradiancia en días nublados (de 8:00 horas hasta las 20:00 horas).....	171
Figura 5.33: Tabla resumen de los resultados de los ensayos .....	177
Figura 5.34: Humedad relativa en el laboratorio frente a humedad ambiental a lo largo del tiempo. ....	181
Figura 5.35: Tabla resumen de los resultados de los fragmentos de ensayo .....	204



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. INTRODUCCIÓN

A finales de la década pasada, la Agencia Internacional de la Energía sorprendía a todos, afirmando, en un estudio, que la décima parte del consumo eléctrico a escala global era debido al uso de ventiladores y aparatos de aire acondicionado [1].

Empezando por las pequeñas viviendas, pasando por oficinas de trabajo hasta llegar a grandes industrias, los aparatos de climatización, en este caso de refrigeración y frigoríficos, son un pilar fundamental en la subsistencia, no solo afectando favorablemente al confort humano, sino siendo imprescindible para llevar a cabo cualquier actividad, desde conservar alimentos hasta grandes procesos productivos.

La Agencia Internacional de la Energía afirmaba en 2018 que para 2050 la demanda de energía aumentaría hasta el triple. Es lógico; los niveles de calidad de vida son mejores, no solo en naciones del primer mundo, los países en desarrollo son los que pueden ser añadidos a esta lista de países del primer mundo para mediados de este siglo, y se debe pronosticar un alto consumo en climatización. Y es que las temperaturas no ayudan a detener esta tendencia al alza en el sector de la climatización. Atendiendo a Europa, la temperatura media del continente ha aumentado en casi 1 grado Celsius (+0.9 °C) desde 1991 hasta 2022 [2]. Dejando de lado las consecuencias fatales que puede conllevar esta subida en la temperatura, es necesario resaltarlo como un factor importante que propicia una mayor demanda de equipos de clima.

Como se ha mencionado previamente, el sector industrial también resulta ser un impulso en el aumento de equipos frigoríficos y de aire acondicionado. Son equipos distintos a los que se pueden encontrar en casa o en oficinas, pero, al fin y al cabo, son equipos de producción de frío, ya que para los procesos productivos resulta crucial mantener unos niveles determinados de temperatura e incluso humedad. Existen procesos de todo tipo: conservación de alimentos, procesos químicos, farmacéuticos, etc. Es imprescindible un buen mantenimiento de las máquinas y equipos e incluso estudiar el efecto que tiene este sobre los trabajadores. Se debe llevar a cabo un proceso de higienización y control de temperatura y humedad para favorecer a cada persona, proceso, equipo, etc.

¿Qué es lo que supone tener tantos equipos de aire acondicionado? ¿Tiene algo malo? Pues para que una máquina de aire acondicionado funcione se necesita energía eléctrica (hablando únicamente de los equipos eléctricos). Esto en sí no es malo, pero, ¿cómo se puede generar la energía? Ahí reside la clave.

Volviendo a la raíz de todo: en la naturaleza es posible encontrar diversas y variadas fuentes de energía. Dependiendo cómo se genera energía, es decir, la elección de la fuente de energía va a ser determinante en si es malo tener tantos equipos de climatización.

Una de ellas, el carbón, combustible por excelencia de la Revolución Industrial y las primeras locomotoras, que propulsó increíbles avances tecnológicos y en la movilización entre los siglos XIX y XX. Sin embargo, hoy en día su uso es muy reducido debido a la contaminación que produce en el ambiente la combustión de este combustible y las altas emisiones de dióxido de carbono que potencia todavía más el efecto invernadero [3]. Si se emplearan únicamente carbón o sus sucesores como el petróleo y sus derivados: gasolina, gasóleo, queroseno, se daría lugar a un mundo caracterizado por las altas concentraciones de compuestos nocivos en la atmósfera y temperaturas extremas.

Estas son las razones por las que las energías renovables están a la orden del día. Energía de generación limpia sin emisiones (o muy bajas), abundantes y sobre todo inagotables. En 2016 el planeta llegó a un acuerdo. 196 países del mundo se comprometieron a frenar el cambio climático e impusieron el objetivo de no aumentar la temperatura del planeta en 2 °C (marcaron un límite más estricto en 1.5 °C) [4]. Para ello, la energía de origen renovable tendría que impulsarse más que nunca y Europa notó el cambio, claramente.

**EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE (%) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional**

Del 01/01/2012 al 01/04/2012

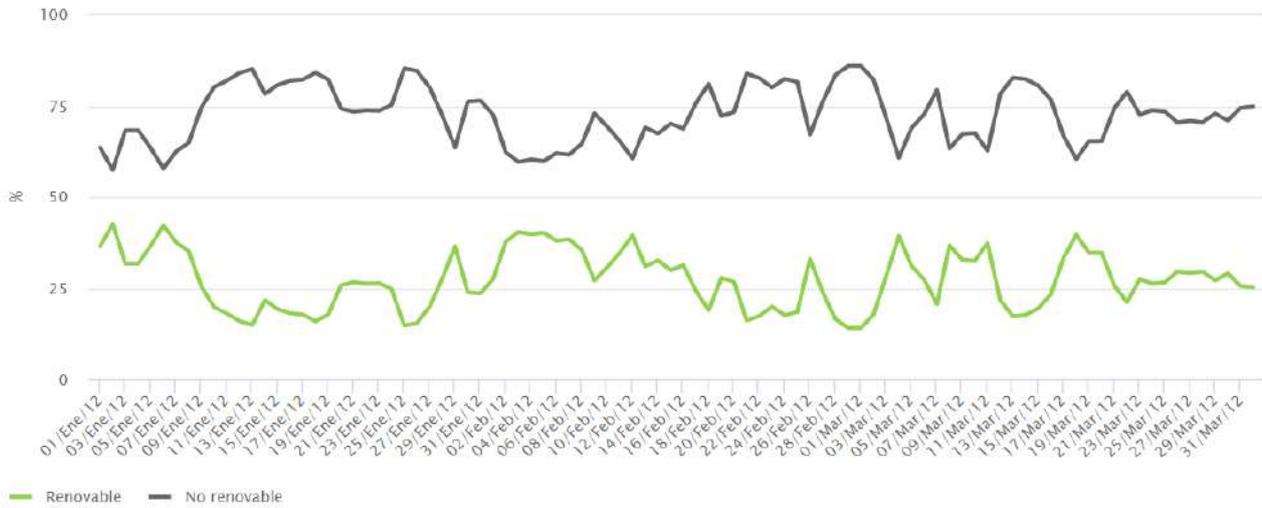


Figura 1.1: Generación renovable y no renovable entre enero y abril del 2012 en España. [5]

**EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE (%) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional**

Del 01/01/2023 al 01/04/2023

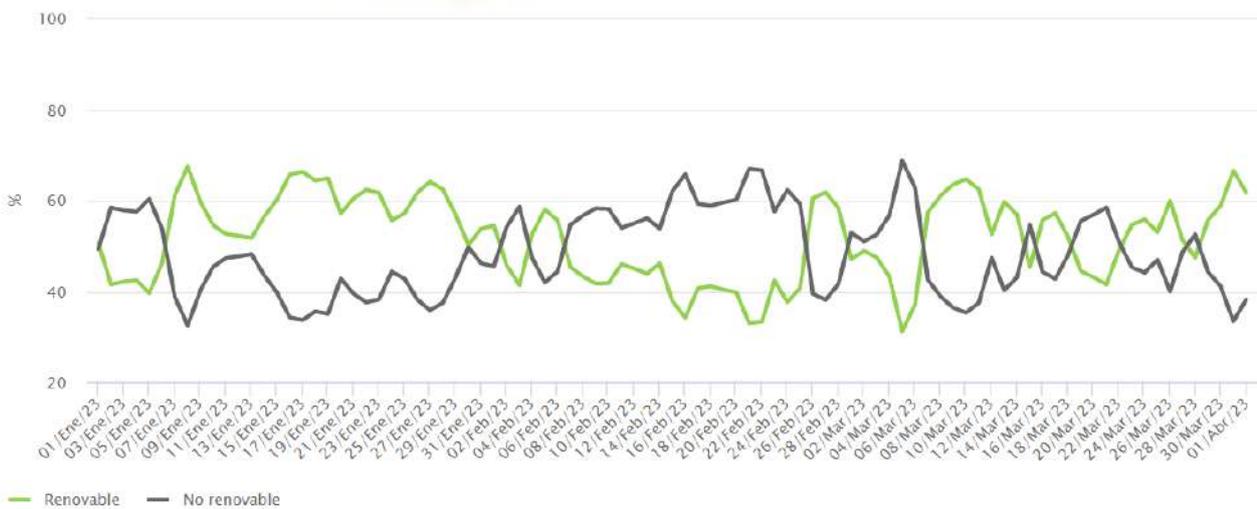


Figura 1.2: Generación renovable y no renovable entre enero y abril del 2023 en España.

El cambio en la tendencia en la generación de energía es más que apreciable. Por un lado, en 2012 (desde enero hasta abril) la generación renovable en ningún momento superó a la generación de energía mediante combustibles fósiles o fisión atómica, mientras que en 2023 se ha llegado a obtener datos de días de generación renovable por encima del 63%. También cabe destacar que se cerró 2021 con una generación media del 47% de origen renovable. [6]

El aumento tan destacado de la energía que nombraba la Agencia Internacional de la Energía va a llevar consigo como es lógico, un aumento en la generación. Por ello, no es posible conformarse con los avances realizados hasta ahora, ya que si, internacionalmente, la demanda de energía se ve triplicada es necesario prepararse para que gran parte de esa producción sea renovable, limpia y con el menor impacto posible. En los países más desarrollados y en los que están en pleno auge ya se están impulsando políticas renovables invirtiendo en tecnologías e infraestructuras. Hay que destacar, entre ellos, ejemplos tan impresionantes como la gran central hidroeléctrica china de Baihetan que dio por finalizada su construcción en 2021, siendo la segunda central hidroeléctrica más grande del mundo en términos de potencia instalada. Destacable también el gran parque eólico marino promovido por Iberdrola en el Mar del Norte próximo al Reino Unido: el East Anglia Hub, cuya potencia instalada rondará los 3.000 MW (el triple que en la central nuclear de Cofrentes) y cuya inversión superó los 10.000 millones de euros, finalizará su construcción en 2026. [7]



Figura 1.3: Central hidroeléctrica de Baihetán (China) [8]



Figura 1.4: Parque eólico East Anglia One, uno de los tres que conformará el complejo East Anglia Hub

Dicho esto, quedan claras todas las básicas ventajas de las energías renovables respecto a los combustibles fósiles, sin embargo, aunque parezca contradictorio: todas las energías son necesarias.

Es habitual, hoy en día, generar electricidad proveniente de paneles fotovoltaicos cuando el sol brille. Es sabido también que nuestros aerogeneradores serán más eficientes cuando el viento sopla (aunque sin excederse) y que las centrales hidroeléctricas turbinarán cuando se tiene agua almacenada. Es decir, no siempre podremos acudir a ella. Habrá días soleados sin viento que, sin embargo, únicamente con la energía solar fotovoltaica no será posible abastecer toda la demanda y no se dispone de generación eólica. En estos casos se debe hacer uso de las centrales de ciclo combinado, nucleares u otras centrales térmicas para asegurar un suministro energético continuo y fiable. Esta es la situación real y actual; las renovables no son capaces de cubrir toda la demanda y el gas o la tecnología de fisión nuclear (si no se cuenta como energía renovable) son las que tienen que entrar para atender las necesidades energéticas humanas. Pero, ¿cómo se rellena el mix energético?

Cada tecnología de generación es un mundo. Las centrales nucleares, por ejemplo, pueden tardar días en arrancar después de haber estado paradas o en mantenimiento y todavía más en llegar a determinado estado de funcionamiento, es decir, son poco flexibles, y por ello suelen estar funcionando en rangos similares de funcionamiento sin dar subidas y bajadas bruscas. Otras tecnologías que no son nada flexibles son la generación eólica, fotovoltaica o termosolar. Sí es cierto que varía su generación dependiendo las condiciones medioambientales de irradiancia y viento, pero su punto de funcionamiento no es regulable, además, no es posible almacenar viento o sol (como ya se mencionará que se pueden almacenar otros recursos) y por eso la afirmación sobre que no son flexibles, o que son rígidas. Por otro lado, existe el caso de las tecnologías de generación de ciclo combinado o centrales hidroeléctricas de bombeo. Se trata esta vez de generación muy flexible. Además de tener esta característica a favor, las centrales de ciclo combinado son muy fiables a nivel de seguridad de suministro y las emisiones no son para nada comparables a las emitidas por centrales térmicas convencionales que puedan aprovechar combustibles como el carbón o derivados del petróleo, igualmente las centrales de ciclo combinado no emiten óxidos de azufre u óxidos de nitrógeno tan perjudiciales para la atmósfera o los suelos [9]. Aparte de las emisiones de dióxido de carbono (aunque más moderadas) otro efecto pernicioso

puede ser el suministro de combustible. Y es que el gas natural, motor por excelencia de las centrales de ciclo combinado, se encuentra, en estado primario, en determinados países. Se ha apreciado, estos últimos años y con el reciente conflicto bélico entre Ucrania y Rusia, que el abastecimiento de gas natural de Europa por parte de Rusia se ha visto amenazado e incluso cortado en períodos de tiempo.

Siguiendo esta tesitura de flexibilidad de generación es necesario pararse a hablar sobre la tecnología hidráulica. Hay varios tipos y todos muy distintos e interesantes. Por un lado, las hidráulicas fluyentes, un sistema tan “básico” como la implantación de una turbina en el cauce de un río para aprovechar la energía cinética del cauce para transformarla en energía mecánica. Similar a la eólica y a la solar, es una técnica rígida. El agua fluye y no es posible variar el cauce. Como sí es posible hacer en las hidroeléctricas de regulación y las de bombeo. Las de regulación permiten generar electricidad aprovechando la energía potencial del agua situada en un embalse superior, dejando caer en mayor o menor proporción de agua en base a la demanda energética. Y por otro lado, las de bombeo; que cuentan con un embalse superior y otro inferior, almacenes de agua que va transitando de arriba abajo y viceversa. Cuando el precio de la electricidad es bajo bombean agua del embalse inferior al superior y cuando el precio es más caro turbinan el agua del embalse de mayor altura al de menor. Estos dos últimos tipos son los más fiables, pero a la vez los que ambientalmente causan un mayor impacto.

El orden en el que las tecnologías de generación entran en el mix energético sería el siguiente: primeramente, las tecnologías renovables rígidas como las solares o la eólica llenan el mix todo lo que pueden y después con la previsión diaria de la demanda que realiza Red Eléctrica entra mayor o menor energía procedente de las nucleares para que las tecnologías más flexibles como la hidráulica de regulación o bombeo o el ciclo combinado consigan satisfacer nuestras necesidades.

Además de ser más o menos flexibles las tecnologías de generación pueden ser más o menos caras. ¿De qué depende el coste de generación? Pues, desde los costes fijos de inversión y mantenimiento de la infraestructura, pasando por los costes variables dependiendo la potencia real y combustible necesario para llegar a dicho punto de funcionamiento hasta avanzar en el proceso y llegar a los costes de transporte y distribución teniendo en cuenta las pérdidas energéticas que el proceso completo presenta.

El habitual gesto de llenar nuestros depósitos de coche es una ejemplificación cotidiana. Hay una gran diferencia de precio entre llenar de gasolina o diésel un vehículo a abastecerlo de electricidad en caso de tratar con un vehículo eléctrico. Sin divagar mucho, hay muchos detalles que influyen en el coste de abastecer un vehículo de combustible, pero uno de los más importantes y determinantes en lo que se trata de exponer es la disponibilidad de los combustibles fósiles.

La diferencia por definición de las energías renovables y las no renovables es que, en las primeras, la fuente o “materia prima” es un recurso inagotable (viento, luz solar), mientras que los combustibles fósiles son recursos relativamente escasos. De esta breve explicación, se puede deducir que la energía que es posible extraer de algún hidrocarburo va a ser más cara que la misma cantidad de energía proveniente de un autoconsumo basado en paneles solares fotovoltaicos.

A esta gran diferencia falta añadirle el ya mencionado transporte de la energía. No es lo mismo que una central de ciclo combinado o nuclear genere en alta tensión (a 20 kilovoltios, por ejemplo), se eleve la tensión (a 200 kilovoltios) para minimizar las pérdidas por efecto Joule (pérdidas por calor), efecto corona o arco eléctrico (ionización del aire alrededor de una línea de muy alta tensión), más tarde se reduce a tensiones de distribución (66 kilovoltios) y finalmente, se reduce a baja tensión (400/230 voltios) para el consumo que simplemente generar en baja tensión gracias a la pequeña instalación de autoconsumo fotovoltaico que una granja tiene instalada. Además del transporte, el hecho de pasar por subestaciones para que aumenten o reduzcan el nivel de tensión ya genera pérdidas. También, otro factor importante que contribuye a las pérdidas eléctricas es el factor de carga presente en la corriente alterna, que es la que se usa habitualmente a la hora de transportar la energía eléctrica.

Todas esas pérdidas, y, por tanto, costes se ahorran con los más que incipientes autoconsumos, mayoritariamente fotovoltaicos: fuente de energía primaria ilimitada no como hidrocarburos o uranio empleado en centrales nucleares, infraestructura barata en comparación con proyectos de fisión nuclear, ahorro en transporte de energía, funcionamiento en bajas tensiones, omisión del paso de transformación de niveles de voltaje etc.

Se presenta ahora otra comparativa distinta. En vez de comparar un autoconsumo fotovoltaico con una central térmica a base de hidrocarburos, se presenta esta vez un gran parque solar que suministra a red. No se trata de un autoconsumo, sino

unas infraestructuras mucho más complejas con grandes equipos como inversores, mayor número de paneles, transformadores e incluyendo el transporte eléctrico (ya mencionado) hasta los consumos en pueblos y ciudades. Pues, aun aumentando el nivel de complejidad, sigue siendo energía más barata. No llega a los grandes costes fijos de una central nuclear y seguimos trabajando con un combustible ilimitado y barato como es la luz del sol.

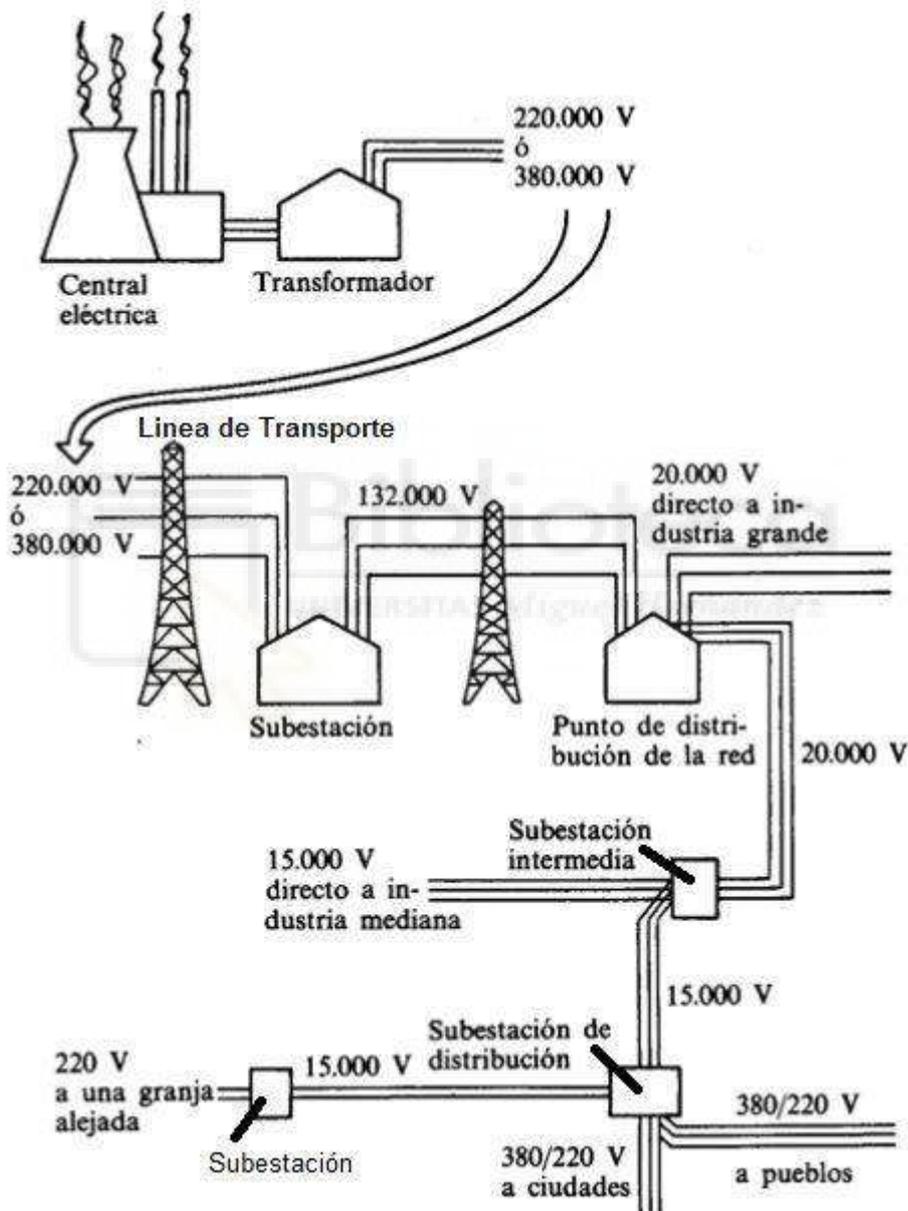


Figura 1.5: Recorrido de la electricidad, desde su generación hasta nuestros hogares o industrias [10].

Únicamente resta acabar este resumen del mercado eléctrico, pasar a enlazarlo con el propósito de este trabajo y concluir diciendo que las energías renovables son baratas, pero antes hay que puntualizar algo y desmentir esto. La energía hidroeléctrica marca en gran medida el precio de la electricidad en España.

O al menos eso sucede gran parte del año. El precio de la electricidad en muchos países de Europa (incluyendo a España) lo marca la tecnología más cara en ese momento. Pues bien, la hidráulica ha sido la que más ha fijado el precio de la electricidad. Esta energía generada por las centrales hidroeléctricas de bombeo entra al mercado diario tras haber entrado tecnologías estables como el gas y cuando el precio de este es elevado. De modo que se aprovecha que las tecnologías de generación se vendan a un alto precio para vender su electricidad con el fin de obtener beneficios. Y cuando el precio de la electricidad sea bajo aprovechan para comprar electricidad para bombear el agua desde el embalse inferior al superior.



Figura 1.6: Tecnologías que han marcado el precio de la luz en julio de 2021 [11].

Esto es debido a la escasez del agua en España y además las centrales hidráulicas deciden, como es lógico generar cuando prevean que el precio vaya a ser más caro. Lo que es claro es que no pueden tener una generación continua (exceptuando las hidráulicas fluyentes), de otro modo acabarían quedándose sin agua muy pronto.

Todo este relato acerca de, por un lado, la creciente demanda de electricidad dedicada, entre otros servicios, a climatización y, por otro lado, la explicación de las tecnologías de generación, sus características y sus costes desemboca en la siguiente conclusión: es necesario generar energía de mejor modo.

Dicho de otro modo, España no puede quedarse satisfecha teniendo una potencia eólica instalada de 30000 MW, o 21000 MW de solar fotovoltaica porque; primero, la demanda en las próximas décadas va a aumentar considerablemente y, en segundo lugar, se debe evitar en todo lo posible aumentar la generación mediante combustibles fósiles (sin entrar en el eterno debate de las nucleares). Es decir, si en 2023 es necesario generar, por ejemplo 100 Wh, y se emplean 50 Wh provenientes de tecnologías limpias y 50 Wh de hidrocarburos, se pretende llegar a que, si en 2040 es necesario generar 1000 Wh, que 800 Wh o más provengan de energías renovables y el resto de otras tecnologías que aporten la flexibilidad de los combustibles fósiles. Pero lo esencial en este aspecto es ajustarse al marco del Acuerdo de París. El objetivo principal de los países europeos es reducir el consumo global de energía aumentando la eficiencia de los equipos, y cuando esto se vea alcanzado, como segundo objetivo se tendrá la mejora y la ampliación de generación de energía para que en 2050 la generación de energía produzca una cantidad nula de gases de efecto invernadero.

Por eso, para este proyecto, se trabajará con una máquina de aire que funciona con energía de red y aporte fotovoltaico (como se verá en el apartado 3.3).

## 1.2. CICLO DE REFRIGERACIÓN

Para entender bien la base de este proyecto debe quedar claro el proceso del ciclo de refrigeración, ya que en la toma de medidas experimentales aparecen (e incluso desaparecen) muchas variables y se modifican para estudiar el comportamiento, o más bien, eficiencia de la máquina frigorífica. Todo eso se explicará en detalle más adelante; ahora toca empezar por lo básico.

Los principales elementos que se presentan en un ciclo de refrigeración son: evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión.

Se puede definir este ciclo como un circuito que es atravesado por una sustancia llamada refrigerante. Para conseguir el enfriamiento en las máquinas frigoríficas el refrigerante debe evaporarse y condensarse, así, controlando los intercambios de calor

se conseguirá el objetivo buscado. Pero, ¿cómo será posible que este refrigerante alcance las “extremas” temperaturas de evaporación y condensación en este circuito tan habitual como puede ser el de las neveras de casa? Depende de la presión del refrigerante y su punto de ebullición. El agua líquida a presión ambiente (1 bar, aproximadamente) se evapora a 100 °C. En cambio, si se aumenta la presión a la que se encuentra esta muestra de agua líquida a 2 bares, la temperatura de ebullición va a ser de 120 °C. Asimilando este ejemplo a los refrigerantes de los equipos de la producción de frío, la clave está en encontrar sustancias que tengan una temperatura de ebullición por debajo de los 0 °C a presión atmosférica.

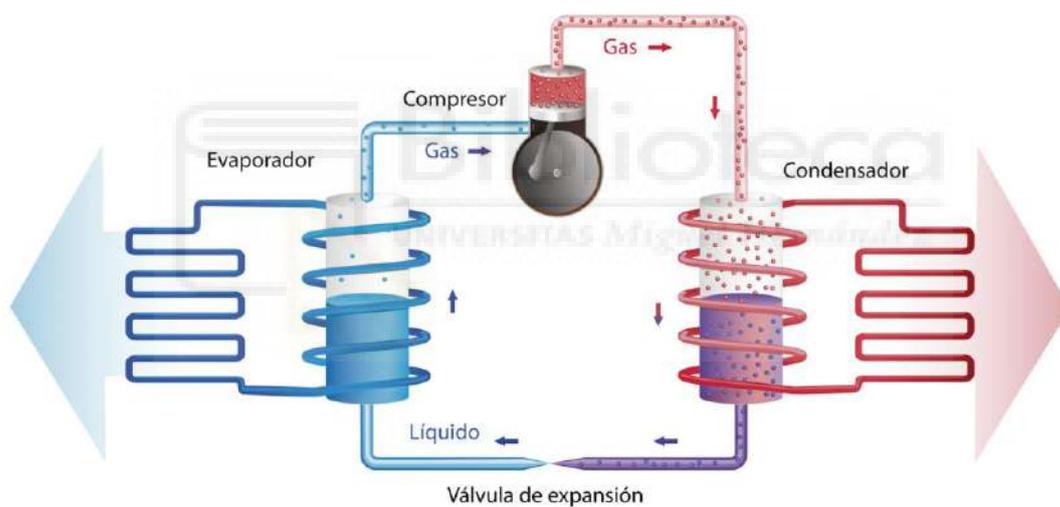


Figura 1.7: El ciclo de refrigeración. Componentes y funcionamiento básico [12].

De lo anterior, se puede ver que únicamente hay 2 niveles de presión en el circuito. Por un lado, la presión de baja o presión de evaporación, y, por otro lado, la presión de alta o presión de condensación. Los anteriormente nombrados, compresor y válvula de expansión van a ser los encargados de pasar de un nivel de presión a otro.

Por otro lado, el refrigerante va a ser el encargado (a través de los intercambios de calor y cambios de estado) de expulsar de dentro de la máquina frigorífica el calor y enfriar el

aire de dentro de la máquina. ¿Cómo va a lograr esto exactamente? Pues gracias a las secciones del condensador y el evaporador.

Por ejemplo, se explicará el fenómeno ocurrido en el evaporador (acto de enfriar). El refrigerante que se encuentra en la presión de baja va a conseguir evaporarse a una temperatura relativamente baja. En este intercambio de calor intervienen el propio refrigerante y el aire en el interior de la máquina frigorífica. Para que esta evaporación del refrigerante pueda ocurrir, el aire en el interior de la nevera (por ejemplo) debe estar a una temperatura mayor que el propio de refrigerante para que el sentido de transferencia de calor sea desde el aire de la nevera hasta el refrigerante, consiguiendo así un descenso de la temperatura del aire de la nevera, es decir, el enfriamiento característico de ellas y la evaporación del refrigerante. Por tanto, la presión de baja se debe ajustar de tal forma que se consiga que la temperatura de ebullición del refrigerante sea menor que la temperatura objetivo del aire de la nevera. Por ejemplo: a una presión de 2 bar, la temperatura de ebullición del R134a es de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Suponiendo que el objetivo sea que la nevera esté a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  el proceso tiene sentido. Se produce un intercambio de calor entre el refrigerante ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  o incluso menos) y el aire de la nevera ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) con sentido de transferencia de calor desde el objeto con mayor temperatura al de menor, es decir, desde el aire de la nevera hasta el refrigerante y luego cambiando de estado a gas.

Con este proceso, se consigue enfriar el aire de la nevera, sin embargo, ahora el refrigerante está en estado gaseoso, no se puede repetir el proceso para que la nevera siga enfriando. Toca pasar el refrigerante a estado líquido de nuevo.

Esta vez toca pararse en el condensador. El refrigerante esta vez va a entrar en contacto con el aire de ambiente, es decir, de fuera de la nevera, que puede estar, por ejemplo, a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Como se comentaba antes, la presión de condensación se corresponde a la presión de alta del circuito. De esta forma, el refrigerante se va a encontrar a una presión de 10.2 bares. A esta presión, el refrigerante se va a transformar a líquido cuando alcance la temperatura de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente. Cómo sucedía antes en la sección evaporativa se debe analizar el sentido de transferencia de calor. Para que el refrigerante R134a se transforme en líquido la condensación se debe realizar a una temperatura mayor que el aire ambiental, ya que el refrigerante cederá así calor al ambiente. Se enfría el refrigerante (y se condensa) y se calienta el aire del ambiente. Y así sucede, el refrigerante llega al condensador a una temperatura mayor de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pongamos  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pues bien, al entrar en contacto a través de un intercambiador de calor con el aire exterior se produce esa transferencia de calor, reduciendo la temperatura del refrigerante hasta 40 °C, continuando la transferencia de calor para cambiar de estado el refrigerante pasándolo a líquido saturado a 40 °C. Y si todavía sigue refrigerante por el condensador, el intercambio de calor seguirá reduciendo más la temperatura del refrigerante convirtiéndolo en líquido subenfriado.

Resumiendo, el proceso, se evapora el refrigerante absorbiendo el calor del interior de los productos almacenados en el interior de la nevera, reduciendo así su temperatura. El refrigerante llega al compresor que transforma de presión de baja a presión de alta donde se aumenta la temperatura del R134a (y se aumenta la temperatura de condensación de este) para que esta supere la del aire ambiente con el fin de conseguir un correcto sentido de transmisión de calor. El refrigerante cede calor al exterior, enfriando así al protagonista de nuestro circuito, condensándolo para después hacerlo pasar por una válvula de expansión donde se transforma de nuevo a presión de baja y descendiendo así su temperatura y la temperatura de vaporización del refrigerante. Llegamos de nuevo al evaporador cerrando así el ciclo que se repite una y otra vez.

A partir de aquí se pueden buscar modificaciones para aumentar la eficiencia de nuestra máquina frigorífica.

### 1.3. EL PREENFRIAMIENTO EVAPORATIVO: ATOMIZACIÓN ULTRASÓNICA.

Una vez analizadas las tecnologías de generación junto a sus emisiones, costes, flexibilidad y demás, se pueden extraer respuestas dirigidas a preguntas del estilo: cómo reducir la huella del carbono en este sector. Ahora, es momento de aumentar la propia eficiencia de la máquina desde dentro, es decir, se dejará de lado el CO<sub>2</sub> y se minimizará la energía necesaria para nuestra máquina frigorífica consiguiendo el mismo enfriamiento.

Aplicando el concepto de preenfriamiento evaporativo a la máquina de aire acondicionado con la que se trabajará en este TFG, nos referimos a una técnica a través de la cual somos capaces de enfriar el aire que atraviesa el condensador. Más concretamente, se pondrá en contacto el aire que atraviesa el condensador con agua, para que, aprovechando el calor de vaporización de esta enfríe el aire. El

preenfriamiento de la corriente de aire que atraviesa el condensador permite que el refrigerante no alcance una presión muy alta para ceder calor al ambiente. De este modo, el compresor estará menos exigido, lo que se traduce en un menor consumo eléctrico del compresor. Teniendo en cuenta que el compresor es el dispositivo que con mayor diferencia más energía consume en una máquina de acondicionamiento de aire, el uso del preenfriamiento evaporativo permite un ahorro energético notable que, al fin y al cabo, es lo que se busca en este estudio.

Hay diversas formas de emplear la técnica del preenfriamiento evaporativo, pero en esta línea de investigación se empleará el preenfriamiento evaporativo por atomización ultrasónica de gotas de agua.

El fenómeno de atomización ultrasónica se refiere, a pulverizar agua haciendo vibrar con una frecuencia ultrasónica de resonancia un pequeño disco metálico en forma de lámina microperforada, a través del cual pasará el agua y, mediante la vibración se desprenderán las gotas de diámetro tan pequeño alcanzando incluso las 10 micras. Se puede poner, por ejemplo, aire de ambiente, a 30 °C durante los meses estivales que atraviesa el condensador para pasar el refrigerante de estado gaseoso a líquido, dándose el cambio de estado a una temperatura mayor del aire ambiente, 40 °C (depende de la presión del refrigerante), por poner una cifra. Pues bien, ahora se emplearán atomizadores ultrasónicos para pulverizar partículas diminutas de agua líquida en la sección de preenfriamiento evaporativo que captan energía del aire caliente (o aire del ambiente) y se evaporan. Ese calor latente dado en el cambio de estado se aprovecha en bajar la temperatura de ese aire “caliente”, ahora menos caliente, con un descenso de temperatura que puede alcanzar hasta los 10 °C en condiciones óptimas de operación y con baja humedad relativa ambiental. En este estudio se tratará de definir cuáles son esas condiciones óptimas de funcionamiento.

Esta técnica para aumentar la eficiencia de nuestra máquina frigorífica es bastante barata y accesible con un trabajo de investigación de la UMH por parte de los compañeros del área de Máquinas y Motores Térmicos, pero a la vez está condicionada por las condiciones ambientales y requiere medidas cautelosas, un preciso estudio y un adecuado mantenimiento.

Por un lado, algunas gotas del caudal pulverizado pueden no llegar al estado de saturación y no evaporarse del todo, lo que puede llevar a la corrosión u oxidación de distintos materiales de un equipo que no esté preparado para atenuar estos efectos. Es un

motivo por el cual se debe alcanzar en esta investigación un alto grado de precisión y no someter a la máquina a un funcionamiento muy prolongado en el tiempo o limitar el caudal de atomización de agua para conseguir que toda el agua se evapore antes de llegar al condensador.

Por otro lado, se debe atender a las condiciones ambientales de humedad y temperatura. La temperatura ambiente irá cambiando, y con ella nuestra eficiencia energética. Es algo lógico. Sin embargo, algo no tan lógico que es necesario atender es la humedad relativa del aire. Se hace pasar aire con un cierto porcentaje de humedad, 15%, por ejemplo, por una rejilla con atomizadores (lo que es la sección de preenfriamiento evaporativo) que están expulsando agua continuamente. De esta combinación se obtendrá como resultado un aire a menor temperatura que con un mayor porcentaje de humedad relativa, 25%, por seguir el ejemplo.

Los sistemas de preenfriamiento evaporativo están pensados para trabajar siempre en condiciones exteriores de temperatura y humedad. Se acoplan al equipo de condensación instalado o situado en el exterior del edificio o de la estancia que se pretende refrigerar.



#### 1.4. ANTECEDENTES

Este proyecto de investigación no podría haber sido posible sin unos estudios previos, prototipos y simulaciones que han conducido a poder llevar a cabo estos experimentos con un aparato de aire acondicionado tipo split real y un sistema de atomizadores ultrasónicos junto con otros elementos como un sistema de aporte de energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos

En primer lugar, tiene que haber un proceso de diseño y construcción de todo el equipo empleado en esta investigación incluyendo una explicación sobre él. Sin olvidar toda la instrumentación necesaria como sensores y sondas. Este tema ya se trató en un TFG pasado [13].

A esta creativa idea le siguió un estudio simulado. Es decir, seleccionando este prototipo se trató de obtener unos resultados teniendo en cuenta todo tipo de variables que intervienen en el estudio de eficiencia energética (humedad, temperatura, presión,

distribución y tamaño de las gotas etc.). Otro estudiante de la universidad fue el encargado de llevar a cabo esta investigación [14]. Cabe destacar que este estudio apareció en una revista de impacto de Elsevier.

Gracias a ellos y a los miembros del Área de Máquinas y Motores Térmicos se ha podido realizar un complejo y preciso estudio para llevar a la realidad lo que una simulación informática ha transmitido.



## 2. OBJETIVOS

En este proyecto de investigación, resaltan dos objetivos generales bien diferenciados entre ellos:

- Realizar un estudio de eficiencia energética del sistema de aire acondicionado con preenfriamiento evaporativo.
- Elaborar una metodología de procesamiento de datos y obtención automatizada de resultados mediante programación.

El primer objetivo se refiere al estudio del comportamiento de la eficiencia energética en una máquina de aire acondicionado tipo split, instalando un sistema de preenfriamiento evaporativo basado en una matriz de atomizadores o nebulizadores ultrasónicos que expulsan partículas diminutas de agua en estado líquido que al poco de entrar en contacto con el aire que atraviesa el condensador se evaporan y aprovechando la alta energía aportada (o entalpía de vaporización del agua) se enfriará el aire de entrada a la máquina. De tal forma, se reduce el consumo, la máquina ya no trabajará entre temperaturas tan extremas, lo que permitirá reducir el consumo de energía. No se debe olvidar que en este proyecto coexisten los propósitos de ser eficientes, o ahorrar energía, y el buen mantenimiento del aparato de climatización.

En dicho estudio de eficiencia van a tener relevancia hasta las variables más pequeñas como la distribución de las gotas pulverizadas en nuestra sección evaporativa, porcentaje de humedad ambiente, distancia de la sección evaporativa a la máquina frigorífica etc. Por otro lado, existen otras variables, a priori más lógicas y destacables como la temperatura o presiones en la sección del evaporador o condensador, temperatura de las gotas de agua, irradiancia sobre la instalación fotovoltaica y más que se detallarán en el apartado 4.2 de esta memoria.

Todas estas variables podrán ser medidas gracias a distintos sensores de presión y temperatura esenciales en esta investigación.

La toma de medidas se lleva a cabo en el laboratorio de máquinas y motores térmicos en el campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández. Para la recogida de estas se utilizará una unidad de adquisición de datos y, por supuesto, un ordenador que recopile y muestre los resultados. Este es el segundo objetivo global del proyecto.

Se ha llevado a cabo el desarrollo de un programa en Python a través de Google Colab y los llamados “Jupyter Notebooks” para poder mostrar los resultados de esta investigación. Se pueden identificar varios objetivos específicos dentro de este procedimiento. Revelar los valores numéricos medibles, así como mostrar gráficas o incluso introducir variables nuevas sin alterar los resultados anteriores.

El cuaderno Jupyter es un entorno web basado en código abierto en lenguaje Python. Existe la posibilidad de insertar fragmentos de código o celdas de texto, todo ello en colaboración de las personas con las que hayamos compartido nuestro cuaderno. A través de las llamadas a distintas librerías que darán acceso a múltiples funciones es posible recoger datos desde carpetas de Google Drive, realizar operaciones matemáticas, reagrupar datos en series o dibujar gráficas. Con unas pocas celdas de código podemos saltarnos todos esos pasos que seguiríamos en Excel para completar esta toma de medidas: introducir manualmente las medidas de muchas variables en intervalos de tiempo relativamente cortos, además de introducir las gráficas manualmente. Pues bien, vamos a ahorrarnos todo este proceso y por qué no, convencer a los lectores de la utilidad respecto a otras aplicaciones de las ventajas, atajos y funcionalidades que aporta Google Colab.

Con la programación en un cuaderno Jupyter se consigue que, automáticamente, el ordenador haga una llamada a Google Drive para acceder a una carpeta determinada para seleccionar los archivos .csv (valores separados por comas) donde se recopilan los valores recogidos por los sensores presentes en la máquina frigorífica o en el conjunto de la instalación. Una vez tenga acceso a esos valores, los puede mostrar en pantalla como el usuario quiera: serie de datos, gráficas, realizar operaciones etc. Este es otro de los objetivos específicos dentro del trabajo en Python: por un lado, la representación en valores numéricos de todos los parámetros medidos por las sondas instaladas en el equipo y, por otro lado, la representación gráfica de estas medidas a lo largo del tiempo en un ensayo. A su vez, se presentarán ejemplos prácticos que pueden darse en esta investigación o en cualquier otra y que se pueden solucionar de manera muy sencilla con cuadernos Jupyter. Por ejemplo, ¿qué ocurre si en un estudio que dura 6 meses se pretende introducir otra variable a estudiar el tercer mes, pero queremos que esta variable aparezca desde el primer mes hasta el sexto? Empleando software como Excel sería algo muy tedioso, ya que habría que introducir manualmente el valor en Excel y realizar las gráficas también de forma manual en cada ensayo. Esta tarea que en Excel

puede conllevar horas de cambios en los archivos de los resultados, con cuadernos Jupyter este trabajo se resume en un clic para ejecutar el código. Una vez esa variable se ha introducido en el estudio, es procesada por la unidad de adquisición de datos y aparece en el archivo csv, únicamente será necesario ejecutar el programa diseñado para que se muestren los nuevos valores de esta variable recientemente introducida. Para dibujar gráficas será necesario introducir el número de columna que ocupa la variable en el archivo csv. Todo esto se mostrará más adelante en el apartado de casos prácticos 4.3.4.



### 3. MATERIAL EMPLEADO

En primer lugar, se empezará por mencionar y detallar las partes principales del equipo de aire acondicionado con sus complementos e instrumentación.

#### 3.1. ATOMIZADOR ULTRASÓNICO

Uno de los pilares principales de este proyecto. Sin los atomizadores, nebulizadores o pulverizadores ultrasónicos, nuestra investigación fracasaría, aunque sí que es cierto que hay otros métodos para conseguir este aumento de rendimiento tan buscado. En esta investigación se han empleado los atomizadores ultrasónicos en circuito impreso que se utilizan en el laboratorio de máquinas y motores térmicos de la Escuela Politécnica Superior de Elche.

##### 3.1.1. Circuito integrado

Primeramente, se muestra un esquema del circuito eléctrico de un atomizador para detallar su funcionamiento, así como una imagen real del mismo circuito integrado. Es un nebulizador idéntico al que se ha empleado en la labor de investigación.

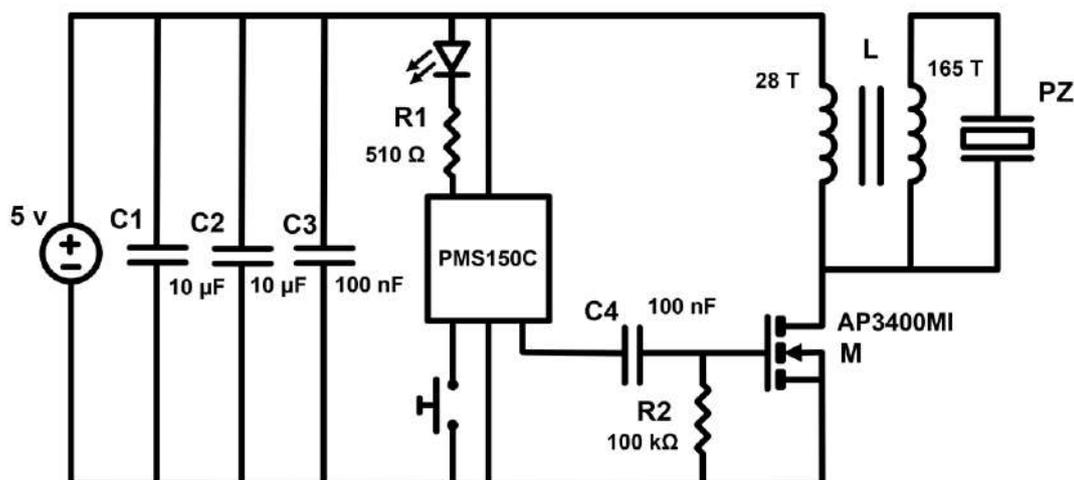


Figura 3.1: Circuito eléctrico del módulo atomizador ultrasónico

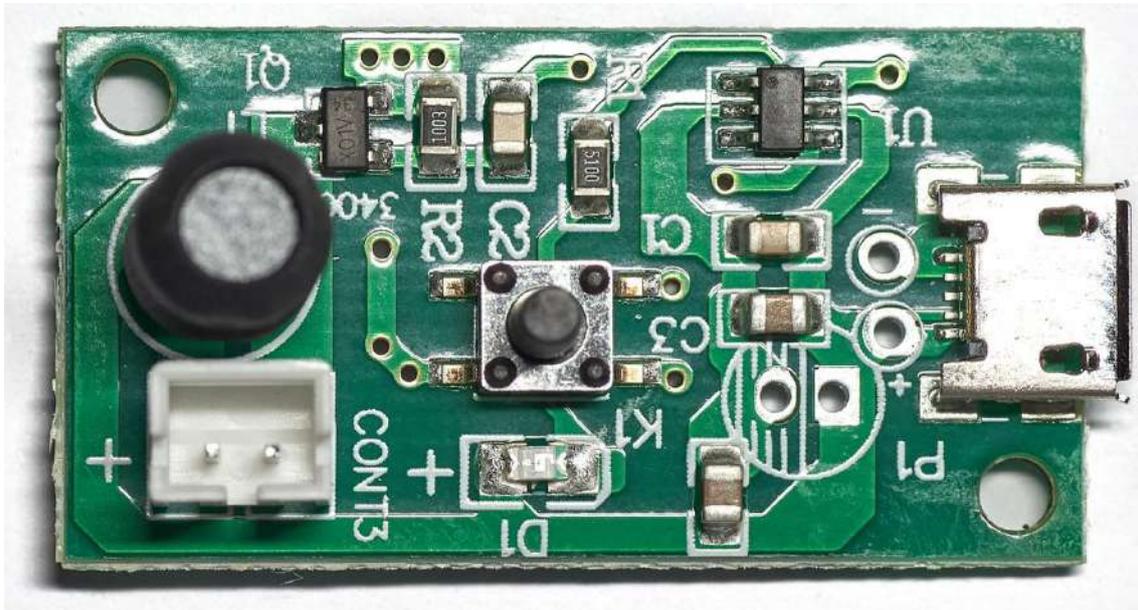


Figura 3.2: Circuito integrado. Atomizador ultrasónico.



Figura 3.3: Disco humidificador piezoeléctrico.

El elemento que más salta a la vista del circuito integrado es el disco piezoeléctrico o disco humidificador. Como es perceptible en las imágenes el disco está separado de la placa impresa, sin embargo, en los atomizadores empleados en el laboratorio los cables del piezo van unidos al circuito impreso mediante una ficha de conexión y se alimenta con corriente continua.

Los sensores piezoeléctricos se suelen usar para medir magnitudes como presión o fuerza mediante su deformación. Se genera un mayor voltaje de salida cuanto mayor

deformación se provoque en el disco. Sin embargo, en este contexto es empleado para pulverizar agua. En el centro del disco cuenta con agujeros de micras de diámetro que sumados a la principal característica de estos piezos: la frecuencia de pulverización, se obtiene un elemento que pulverizará gotas diminutas de agua a una velocidad ultrarrápida.

### 3.1.2. MOSFET



Figura 3.4: Transistor de efecto campo o “MOSFET”.

Un transistor MOSFET o transistor de efecto campo es un componente electrónico que va a servir como interruptor, es decir, cortar o abrir un circuito eléctrico gracias a una de sus tres patillas, la patilla central llamada puerta o gate en inglés (g). El Mosfet también va a servir para regular el voltaje de salida. Por la patilla que es identificada como entrada o fuente (s, de source en inglés) existe un voltaje que es posible controlar con el Mosfet y transformarlo, normalmente para obtener una tensión más baja (ya que los Mosfets se utilizan en aplicaciones de baja potencia), voltaje de salida o voltaje por el drenador (d, de drain en inglés).

En este caso, con dicho Mosfet el objetivo es mantener un nivel de tensión adecuado para el resto de los componentes, como por ejemplo, el microprocesador, que trabaja en unos rangos de tensión de 1.1 a 1.3 V.

### 3.1.3. Microprocesador

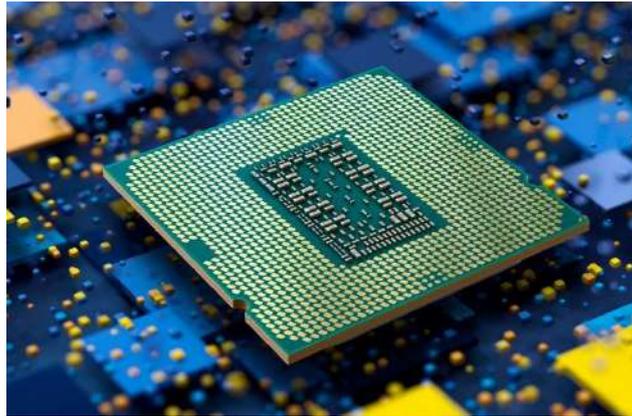


Figura 3.5: Microprocesador.

El microprocesador, elemento tan característico de ordenadores y teléfonos móviles es otro importante componente de este circuito integrado. Por decirlo de una manera fácil de entender, es el cerebro del proceso. Un microprocesador gestiona las entradas y las salidas, es decir, recibe instrucciones y tiene que interpretarlas para poder dar una salida correcta, poniendo, por ejemplo, operaciones aritméticas o lógicas, estas últimas hacen referencia a las puertas AND, OR, XOR etc. [15].

#### 3.1.4. Bobinas



Figura 3.6: Bobina o inductor

Las bobinas son uno de los elementos más representativos y utilizados en los circuitos eléctricos y electrónicos. Están compuestas por un número de espiras conductoras. Es posible asociarles la función de pequeños almacenes de energía, o, mejor dicho, de

corriente. Esto es debido a su funcionamiento: en primer lugar, circula por ellas una corriente de determinado valor y por el principio de inducción que siguen las bobinas se genera un campo magnético uniforme. Si la corriente que atraviesa la bobina aumenta, también lo hace el campo magnético que permite almacenar energía en forma de campo magnético para cuando la corriente que atraviesa la bobina disminuya sea posible devolver esa energía en forma de corriente para estabilizar la intensidad que entraba a la bobina.

### 3.1.5. Condensadores



Figura 3.7: Condensador

Los condensadores también son piezas muy habituales en los circuitos eléctricos. Son similares a las bobinas, ya que comparten la función de almacenar energía. Pero esta vez no se aprovecha un campo magnético generado por inducción, esta vez se utiliza un campo eléctrico, o dicho de otra forma una diferencia de potencial que se genera entre dos placas conductoras que forman un condensador. Estas dos placas están separadas por un medio aislante. Cuando el condensador está conectado a una fuente de alimentación se cargan esas placas; una de ellas queda cargada positivamente y otra negativamente. Justo en el momento en el que se desconecta la fuente de alimentación de tensión el condensador comenzará a descargarse, es decir, a proporcionar esa energía en forma de corriente que estaba almacenando.

### 3.1.6. Resistencias

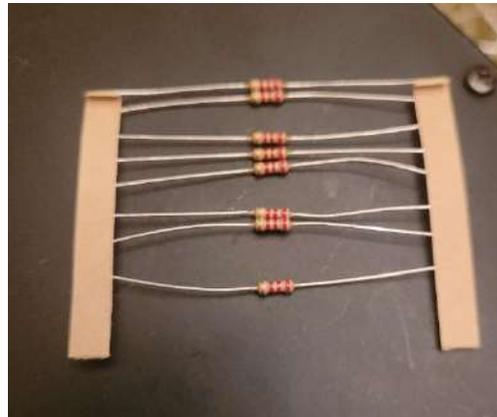


Figura 3.8: Resistencias

Las resistencias, componente principal de los circuitos presentes en el día a día. Son las encargadas de regular el amperaje. Si en un circuito se tienen 15 amperios de corriente y presenta un consumo de 1 amperio se debe reducir ese nivel de intensidad del circuito. Una resistencia es la solución idónea. También se usan para eliminar el rizado de corriente en señales de corriente variable. Otra función imprescindible de las resistencias es disipar el calor, se pueden utilizar como disipadores de calor (en combinación con un ventilador) para evitar sobrecalentamiento en los circuitos.

### 3.1.7. Fuente de alimentación



Figura 3.9: Fuente de alimentación.

Elemento fundamental de los circuitos eléctricos junto a la resistencia. Permite crear una diferencia de potencial, para dar movimiento a los electrones. También se presenta como batería o pilas. Este modelo en específico fue aportado por los miembros del laboratorio de máquinas y motores térmicos.

### 3.1.8. Multímetro digital



Figura 3.10: Multímetro digital para medida

Los multímetros son equipos de medida de los parámetros eléctricos. En primer lugar, parámetros tan sencillos como valores óhmicos pasando por medir corriente e incluso valores de tensión en corriente continua y corriente alterna. Si se ajusta el equipo en el modo de medir valores alternos de tensión se obtiene el valor eficaz de la misma, no el valor pico.

### 3.2. MATRIZ DE ATOMIZADORES. SECCIÓN DE PREENFRIAMIENTO



Figura 3.11: Matriz de atomizadores ultrasónicos

Imagen de la parrilla de nebulizadores ultrasónicos empleada en los ensayos. A la hora de realizar los ensayos incluyendo la sección evaporativa se debe acoplar esta gran formación de atomizadores a la máquina de aire acondicionado, justo a la entrada del condensador. La forma de acoplarla es de tal modo que se pueda variar la distancia entre la parrilla de atomizadores y la máquina de aire acondicionado. El sentido de pulverización es en sentido opuesto a la máquina para evitar mojar el equipo. Hay que destacar en este apartado que no todos los ensayos se harán con la sección de preenfriamiento evaporativo, también se realizarán ensayos en seco.

### 3.3. PROTOTIPO. EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN



Figura 3.12: Equipo de clima (frontal)



Figura 3.13: Equipo de clima (posterior)

Esta es la máquina de aire acondicionado doméstica que se empleará en la toma de medidas para el análisis de eficiencia energética. Para realizar una correcta labor de

investigación es necesario ser conocedores del aparato con el que se trabaja. Se inserta a continuación el manual técnico con todas las características del equipo empleado marca Kaysun.



Interior			KAY-PV 35 DN5
Exterior			KAE-PV 35 DN5
Pdesignc		kW	3,7
SEER			7,5
Clase de eficiencia energética			A++
Pdesignh		kW	3,8
SCOP			4
Clase de eficiencia energética			A+
Tbiv		°C	-10
Tol		°C	-15
Alimentación eléctrica		Fase-V-Hz	220-240 V ~ 50 Hz, monofásica
Refrigeración	Capacidad	kW	3,66
	Entrada	W	980
	Corriente nominal	A	4,3
	EER	W/W	3,73
Calefacción	Capacidad	kW	3,81
	Entrada	W	790
	Corriente nominal	A	3,4
	COP	W/W	4,82
Eliminación de la humedad		l/h	1,2
Consumo máx. de entrada		W	2650
Corriente máx.		A	11,5
Corriente de arranque		A	----
Compresor	Modelo		DA130M1C-31FZ
	Tipo		GIRATORIO
	Marca		GMCC
	Capacidad	Btu/h	13.443
	Entrada	W	1.005
	Corriente nominal (RLA)	A	3,95
	Amperios motor inmovilizado (LRA)	A	----
	Protección térmica		----
	Posición del protector térmico		INTERNO
	Condensador	uF	----
	Carga aceite refrig./aceite	ml	ACEITE ÉSTER VG74/480
Motor del ventilador interior	Modelo		WZDK58-38G
	Marca		Shibaura
	Salida	W	58 (Salida)
	Condensador	uF	--
	Veloc. (alta/media/baja)	r.p.m.	1.100 / 900 / 750

Figura 3.14: Ficha técnica del equipo de climatización en estudio [16].

Serpentín interior	a. N.º de filas		2
	b. Pend. tubería (a) × pend. fila (b)	mm	21 × 13,37
	c. Separación aletas	mm	1,3
	d. Tipo aleta (código)		Aluminio hidrofílico
	e. Diám. exterior y tipo de tubería	mm	Φ7, tubería con interior estriado
	Long. × altura × anchura del serpentín	mm	760x315x26,74
	g. N.º de circuitos		5
Flujo de aire interior (alto/medio/bajo)		m3/h	1150/950/800
Nivel de potencia acústica interior (Hi)		dB(A)	54
Unidad interior	Dimensión (anch.*prof.*alt.)	mm	990x218x315
	Caja (anch.*prof.*alt.)	mm	1065x300x400
	Peso neto/bruto	kg	11.5 / 14
Motor del ventilador exterior	Modelo		WZDK35-38G(H)
	Marca		Shibaura
	Salida	W	35 (Salida)
	Condensador	uF	--
	Velocidad	r.p.m.	850 / /
Serpentín exterior	a. Número de filas		2
	b. Pend. tubería (a) × pend. fila (b)	mm	22x19,05
	c. Separación de aletas	mm	1.4
	d. Tipo de aleta (código)		Aluminio hidrofílico
	e. Diám. exterior y tipo de tubería	mm	Φ7,94 tubería con interior estriado
	f. Long. × altura × anchura del serpentín	mm	660x550x38,1
	g. Número de circuitos		4
Flujo de aire exterior		m3/h	2000
Nivel de potencia acústica exterior		dB(A)	60
Unidad exterior	Dimensión (anch.*prof.*alt.)	mm	760x285x590
	Caja (anch.*prof.*alt.)	mm	887x355x645
	Peso neto/bruto	kg	38 / 40
Tipo de refrigerante		g	R410A/1,150 g
Presión de diseño		MPa	4,2/1,5
Tuberías de refrigerante	Lado líquido/lado gas	mm (pulgadas)	Φ6,35/Φ9,52(1/4"/3/8")
	Longitud máx. tubería refrigerante	m	20
	Diferencia máx. de nivel	m	8
Cableado de conexión			1,5 (opcional)
Tipo de clavija			1,5x3 / VDE
Tipo de termostato			Mando a distancia
Temperatura de funcionamiento	Interior (refrigeración y calefacción)	°C	≥17/≤30
	Exterior (refrigeración y calefacción)	°C	0~50/-15~34

Figura 3.15: Ficha técnica del equipo de climatización en estudio (2).

Los datos principales que se deben destacar de esta ficha técnica son entre otros, la potencia de salida, potencia de entrada (tensión de alimentación y corriente de entrada), el EER, el COP, incluso el SEER y el SCOP.

- Tensión de alimentación: 230 V monofásica. Al fin y al cabo, se está trabajando con un equipo de climatización doméstico, 230 voltios son suficientes para el funcionamiento del equipo. En caso de equipos destinados a grandes comercios, fábricas, industrias y demás, sí es recomendable e incluso necesario una alimentación trifásica para alcanzar los altos niveles de potencia requeridos. Cabe recordar que la potencia eléctrica se calcula multiplicando tensión por corriente en caso de monofásica y en el caso de trifásica igual pero multiplicando por el factor de potencia y el factor raíz de tres.
- Potencia de salida (refrigeración). La potencia de salida es de 3.66 kW. Esta cifra se refiere a la potencia térmica transmitida por el equipo funcionando en modo refrigeración o modo “frío”. Este modo de funcionamiento tiene asociado un parámetro, el EER.
- EER o “Energy Efficiency Ratio”. En español, relación o coeficiente de eficiencia energética. Como indica su nombre, se refiere a la relación entre potencia de salida y potencia de entrada cuando la máquina trabaja en modo refrigeración. A mayor EER el aparato será mejor en términos de eficiencia energética. En este caso, el EER es de 3.73, es decir obtenemos 3.73 vatios de potencia térmica por cada vatio eléctrico que se suministra al equipo de climatización. Sin embargo, este valor, traído a la realidad puede resultar relativamente engañoso, ya que el EER se calcula con el equipo funcionando a plena carga, funcionando al cien por cien.
- Potencia de entrada. La potencia de entrada se mide en vatios eléctricos. Es decir, el valor va a depender de tensión y corriente de alimentación. El valor de tensión se mantendrá siempre estable entre 220 V y 240 V, mientras que el valor de intensidad de alimentación será el que variará dependiendo de la carga a la que trabajemos. La máxima potencia de entrada en refrigeración es de 980 W que se calculará con la intensidad nominal, o intensidad máxima de entrada.

- Intensidad nominal. Mayor valor de intensidad al que puede trabajar el equipo.

En modo de refrigeración la intensidad nominal es de 4.3 A.

En caso de trabajar en modo “calor” los valores de capacidad y potencia de entrada siguen significando lo mismo, pero orientado a un funcionamiento de calefacción. Como es apreciable en la ficha técnica, los valores de potencia de entrada, capacidad e intensidad nominal varían ligeramente, pero lo que es destacable es que ya no se habla de EER, sino COP.

- COP o “Coefficient Of Performance”. En español coeficiente de rendimiento. Al fin y al cabo, es lo mismo que el EER, pero asociado al funcionamiento en modo “calefacción” de un equipo de climatización. Y de nuevo, es calculado cuando la máquina funciona a plena carga, al máximo.

Hay unos valores más precisos que dan el coeficiente de eficiencia energética, sin embargo, se trata de valores que dependen del ambiente, condiciones climáticas estacionales. Hablamos del SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) y el SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance). Además de tener en cuenta las condiciones estacionales, se calcula a distintos valores de carga parcial, no a plena carga como el COP o el EER. Concretamente, estos valores de carga parcial son: 74%, 47%, 21%, aunque también se toma en cuenta el 100%. En nuestro prototipo el SEER es de 7.5 y el SCOP de 4. Como ocurría con el EER y el COP, cuanto mayor valor adquieran estos parámetros, más eficientes será nuestro equipo [17].

En los electrodomésticos del día a día se les asocia la conocida etiqueta energética en la que incluye una calificación energética desde la G hasta A+ + + (orden creciente del dato de eficiencia energética). Pues bien, los índices SCOP y SEER son los que van a marcar la calificación de los equipos de climatización e incluso de producción de agua caliente sanitaria.

	RENDIMIENTO EN REFRIGERACIÓN	RENDIMIENTO EN CALEFACCIÓN	ETIQUETA
<b>BUENA EFICIENCIA</b>	SEER $\geq$ 8,50	SCOP $\geq$ 5,10	A+++ 
	6,10 $\leq$ SEER < 8,50	4,60 $\leq$ SCOP < 5,10	A++ 
	5,60 $\leq$ SEER < 6,10	4 $\leq$ SCOP < 4,60	A+ 
	5,10 $\leq$ SEER < 5,60	3,40 $\leq$ SCOP < 4	A 
	4,60 $\leq$ SEER < 5,10	3,10 $\leq$ SCOP < 3,40	B 
	4,10 $\leq$ SEER < 4,60	2,80 $\leq$ SCOP < 3,10	C 
<b>CONSUMO MODERADO</b>	3,60 $\leq$ SEER < 4,10	2,50 $\leq$ SCOP < 2,80	D 
	3,10 $\leq$ SEER < 3,60	2,20 $\leq$ SCOP < 2,50	E 
<b>CONSUMO ALTO</b>	2,60 $\leq$ SEER < 3,10	1,90 $\leq$ SCOP < 2,20	F 
	SEER < 2,60	SCOP < 1,90	G 

Figura 3.16: Calificación energética en función de los valores SEER y SCOP [18].

Por tanto, podemos concluir con que la calificación en términos de eficiencia energética del equipo climático empleado cuando trabaja en modo refrigeración es de A+ +, mientras que, el resultado es A+ cuando funciona en modo calefacción (coincide con lo mostrado en la ficha técnica del equipo). En resumen, dicho equipo es eficientemente positivo.

### 3.4. SENSORES DE MEDIDA.

El principal propósito de una investigación de este tipo es la toma de medidas. En este caso la toma de medidas no es manual, realizada por una persona o grupo de personas, si bien tiene que haber alguien controlando el proceso, darse cuenta de errores y fallos en el proceso de esta. La medición de parámetros es totalmente automática mediante sensores acoplados en todas las partes y procesos del equipo de climatización. Se presentan sondas de lo más variadas, desde las más intuitivas y comunes hasta otras más escondidas y desconocidas. Los sensores que se hallan repartidos en torno al equipo o instalación son: sondas de temperatura, de presión, humedad, irradiancia, humedad e incluso medidores de velocidad y dirección del viento.

Al final de este apartado se expondrá una tabla resumen de los sensores que intervienen junto a la magnitud que miden y las unidades en las que se miden.

Previa a la enumeración y explicación de cada medidor es importante saber qué es un transductor. Un transductor es un dispositivo que permite detectar una magnitud física (en este caso la magnitud a medir como puede ser la presión o la temperatura) que instantáneamente convertirá en una señal analógica o digital de otro tipo, normalmente, y sobre todo en este caso, una señal eléctrica. Esta es la señal conocida como señal de salida.

Un claro ejemplo para precisar la definición es el de un termopar. El fabricante del mismo indicará en las especificaciones del producto o en su ficha técnica las temperaturas entre las que puede trabajar el termopar, o transductor de temperatura. Se pone por caso un transistor que mida temperaturas entre 0 °C y 100 °C. Lo que es lógico es que este termopar (o termistor dependiendo de la señal de salida) no será funcional en temperaturas que excedan o no alcancen este rango de valores. En caso de trabajar

dentro de estos grados Celsius, es crucial conocer el rango de valores de la señal de salida. Como ya se acaba de explicar, la señal de salida será eléctrica, de tensión en voltios en el caso de un termopar (señal de resistencia en ohmios en caso de un termistor). Se añade al ejemplo el intervalo de la señal de salida: [2-20 V]. Lo que dice esta señal de salida es que, en caso de medir la temperatura mínima medible por el sensor, es decir 0 °C, este devolverá una señal de salida de valor mínimo, o lo que es lo mismo 2 V. Cabe destacar que este intervalo de salida también es un dato facilitado por el fabricante. Sucede de igual manera en el caso opuesto; en caso de medir 100 °C, el transistor devolverá un valor de 20 V y el valor de 11 V será devuelto en caso de medir una temperatura de 50 °C. Resumiendo, al conocer el intervalo que mide nuestra sonda y el intervalo que devuelve en forma de señal eléctrica basta un cálculo matemático simple, una regla de tres, para calcular el valor térmico que queremos conocer a partir de la señal eléctrica dada por el transistor.

En algunos casos la transformación de señal eléctrica a magnitud física puede depender de alguna constante, pero siempre será proporcionada por el fabricante.

#### 3.4.1. Medidor de presión. Transductor de presión



Figura 3.17: Transductor de presión P499ACS-404C [19].

Ya se ha explicado el funcionamiento de una sonda de temperatura. También se puede aplicar para un transductor de presión. Como ya se ha mencionado, es imprescindible conocer el modelo de sonda con el que se trabaja para que cuando devuelva un valor

eléctrico se pueda conocer los valores extremos del intervalo en el que está y poder sacar de este modo la presión medida. El intervalo de presiones que se puede medir también lo proporciona la ficha de datos del modelo de transistor con el que se está trabajando.

En primer lugar, se encuentran los transductores de presión, que van a ser los encargados de medir datos de presión en bares dando una señal eléctrica. Concretamente, y en base a los datos del fabricante se puede extraer como datos más significativos la capacidad de medida entre 0 y 30 bares dando como salida una señal en amperios, concretamente entre 4 y 20 miliamperios de tipo analógica.

Para ampliar la información acerca del dispositivo se puede destacar el grado de protección IP. Su carcasa de acero inoxidable proporciona un grado de protección IP67, siendo 6 el valor en la escala de protección frente al polvo y 7 el valor de protección frente al agua. Teniendo en cuenta que el valor 6 es el máximo en la escala de protección contra el polvo y 8 es el máximo en el caso de la protección acuática. Por tanto, es una sonda muy resistente al polvo y también al agua, aunque en este último caso, no se debe someter al dispositivo a estancias prolongadas en agua.

También es destacable la capacidad del transductor para trabajar en medios corrosivos y en presencia de amoníaco, dióxido de carbono, glicol, etc.

Se emplea también para medir presiones más altas otro transductor de presión, también de la marca Johnson Controls, modelo P499ACS-405C cuyo intervalo de medición se ubica entre los 0 y 50 bares.

#### 3.4.2. Medidor de temperatura. RTD



Figura 3.18: Sonda RTD empleada en los ensayos

Las siglas RTD vienen del inglés “Resistance Temperature Detector”. Es un dispositivo que va a permitir realizar mediciones de temperatura a través de la lectura de resistencia como señal de salida. Únicamente hace falta fijarse en el nombre para darse cuenta de que la señal eléctrica de salida aportada por el RTD es la resistencia.

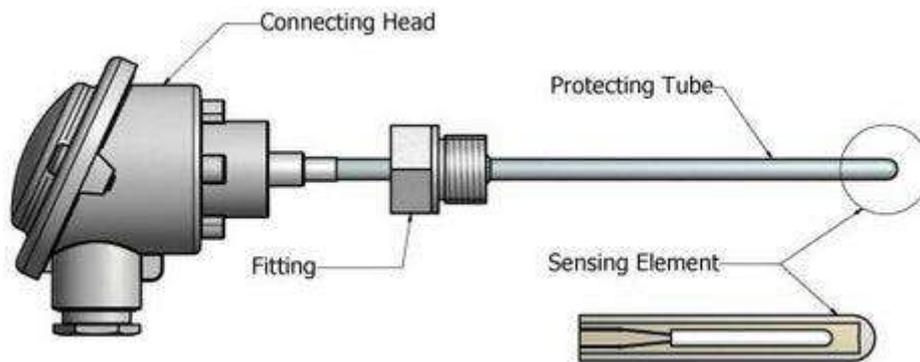


Figura 3.19: Estructura de un RTD [20]

El mecanismo de medición de la temperatura es el siguiente. El RTD contiene en la punta (como se puede ver en la imagen 2.18) un material conductor que cuanto más se exponga a altas temperaturas más subirá su resistencia. Algo que va relacionado con el llamado efecto Joule que afirma que en la conducción eléctrica la resistencia se va a oponer proporcionalmente al paso de electrones o lo que es lo mismo a la intensidad de corriente. La forma en la que el elemento resistivo libera esos electrones es disipando calor y a su vez calentando ese elemento resistivo de corriente. Lo mismo sucede en las sondas RTD.

La obtención del valor de temperatura a través del valor en ohmios es similar a la técnica empleada en el transductor de presión, sin embargo, entra en juego una constante aportada por el fabricante llamada constante de calibración “ $\alpha$ ”, además de otros dos valores que serán la temperatura de referencia y la resistencia a la temperatura de referencia, valores también aportados en la ficha de datos del producto.

Algo que es común a todas las RTD es esta conversión entre temperatura y resistencia

$$R = R^0 + \alpha * (T - T^0)$$

Siendo  $T^0$  y  $R^0$  la temperatura de referencia y la resistencia a la temperatura de referencia previamente nombradas.

El modelo empleado en el laboratorio es Desin (ST-FFH PT100) un tipo de sonda perteneciente a las PT100. Los medidores PT100 son muy famosos, su propio nombre indica el material del que están hechos, es decir, platino. El “100” hace referencia a que a la temperatura de referencia de 0 °C la resistencia que va a mostrar el medidor es de 100  $\Omega$ . No es el único modelo empleado en la medición de temperaturas. Para la medida de las temperaturas del ciclo frigorífico se emplean otros PT100 marca TC-Direct.

El material del conductor de las sondas es platino, un material muy habitual en el empleo de la medición en muchos ámbitos como médicos, industriales, alimenticios y demás. Sin embargo, no es el único material posible para emplear. Muchos son los conductores disponibles para emplearlos en una RTD, ahora bien, sus prestaciones son distintas. Los materiales más empleados en las sondas RTD son el platino, el níquel y el cobre.

- Sondas de platino: son las que soportan un rango de temperaturas más amplio. Pueden trabajar entre -200 °C y 850 °C, tienen una gran resistencia a la corrosión y son muy precisos. Se puede afirmar que las sondas de platino son las que ofrecen mejores prestaciones
- Sondas de níquel: abarcan un rango de temperaturas menor que las anteriores, entre -80 °C y 250 °C, continúan aguantando bien los efectos de la corrosión y son precisos. Sin embargo, pierden propiedades con el tiempo, envejecen peor que las de platino.
- Sondas de cobre: es un caso totalmente distinto a los anteriores. La resistencia varía muy poco en comparación a las sondas de platino o de níquel, además su resistencia a la corrosión no es buena, al trabajar a altas temperaturas el material puede presentar síntomas de oxidación. Y es que el rango de temperaturas en el que puede trabajar es entre -200 °C y 250 °C.

#### 3.4.3. Medidor de humedad. Termohigrómetro



Figura 3.20: Termohigrómetro empleado en el laboratorio

Un termohigrómetro es un dispositivo que combina las capacidades de un termómetro y de un higrómetro para así ser capaz de medir la temperatura y la humedad relativa en el ambiente. Suele llevar un display en el que observar los resultados medidos.

Como el resto de los sensores, el mecanismo de medición de un termohigrómetro se basa en emplear un material sensible a las magnitudes medidas. En primer lugar, como un termómetro de mercurio se emplea una sustancia sensible a la temperatura para que a través de sus variaciones físicas o químicas sea posible medir la variación de temperatura.

En referencia a la humedad, los mecanismos de medición son varios. Se pueden emplear resortes que en presencia de humedad se expandan y cuanto menos humedad se detecte en el ambiente el resorte se contraerá. Por otro lado, se puede recurrir a otras magnitudes a través de las cuales es posible realizar una medida de humedad, como es la temperatura. Esta última situación se da en los llamados psicrómetros. La humedad relativa del aire en los psicrómetros se conoce gracias a la medida de la temperatura. El mecanismo del psicrómetro consta de dos termómetros; uno conocido como termómetro seco y otro termómetro húmedo. Más bien, este último está sumergido en agua. Gracias a unas gráficas ya existentes y conociendo el dato de temperatura del aire y la diferencia de temperatura entre los dos termómetros, uno es capaz de sacar el dato de humedad del aire. [21]

En el presente estudio se han instalado diferentes termohigrómetros a lo largo de todo el proceso.



Figura 3.21: Termohigrómetro colocado en el lugar de la parrilla de atomización



Figura 3.22: Termohigrómetros colocados para medir la humedad ambiental y del aire de salida del equipo.

Los termohigrómetros empleados en este estudio son de la marca E+E Elektronik, modelo EE210. Modelo de medición de humedad de alta precisión que puede trabajar en entornos con polución. Dispone de display para medir hasta 3 variables, todas ellas relacionadas con la humedad, como la humedad relativa, absoluta, punto de rocío, temperatura...

Puede medir desde un 0 hasta el 100% de humedad en el aire, pudiendo trabajar en temperaturas entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La señal eléctrica de salida es analógica y puede ser tanto de tensión como de corriente. Las de tensión pueden ser de 0-5 V, 0-10 V y la de corriente desde los 4 mA hasta los 20 mA.

#### 3.4.4. Medidor de velocidad del viento. Anemómetro



Figura 3.23: Sonda del anemómetro colocada a la salida del ventilador

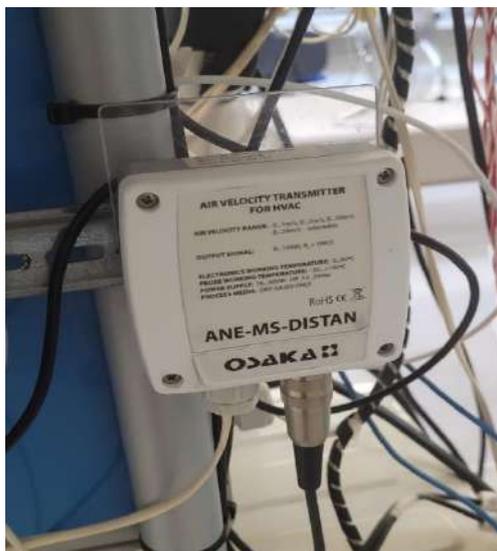


Figura 3.24: Caja de configuraciones del anemómetro

Un anemómetro es un dispositivo capaz de medir velocidad del viento y otros gases. Destacando sus funcionalidades extras, suelen estas equipados con la capacidad de medir otras magnitudes como dirección del viento (lo que hace una veleta) o incluso la temperatura de este.

El mecanismo varía dependiendo del tipo de anemómetro con el que se trabaje. En primer lugar, el anemómetro de cazoletas. Tiene un simple mecanismo que consta de varias “palas” que ante la actividad ventosa giran alrededor de un eje. Contabilizando el número de vueltas del eje el sensor es capaz de obtener la velocidad del viento o del gas a tratar.

El segundo tipo que nombrar es el anemómetro de filamento caliente. Un mecanismo más complejo, que, para resumir, se basa en la emisión continua de impulsos eléctricos a través de un material conductor (ya sea platino, cobre...). El flujo de electrones va a calentar por efecto Joule este pequeño hilo conductor y una vez esté a alta temperatura la acción del viento va a provocar un enfriamiento en este conductor. Gracias a esta variación de temperatura es posible medir la influencia que ha tenido la energía de la acción del viento a cierta velocidad en el conductor [22].

En ambos casos se realiza una media ponderada a la hora de realizar las mediciones, por lo que es recomendado tener durante un tiempo el sensor conectado y tomando mediciones.

En este proyecto se han usado ambos tipos de anemómetro. En la cubierta del edificio “el Altet” hay una pequeña estación meteorológica (acompañando a la instalación fotovoltaica donde se ubican los paneles solares empleados en esta investigación) formada por un anemómetro de cazoletas junto a una veleta, encargada de indicar la dirección del viento. Por otro lado, en la instalación interior, se presenta un anemómetro de filamento caliente, que es el que se muestra en la figura 2.22. En la figura 2.23 se muestra la caja de configuraciones del medidor. Y es que en esa caja además de alimentar el sensor existe la posibilidad ajustar el intervalo de medición de velocidad de viento. Los intervalos de esta sonda en concreto son: de 0 a 1 m/s, de 0 a 2 m/s, de 0 a 10 m/s y de 0 a 20 m/s y lógicamente cuanto menor sea el intervalo, más precisa será la sonda. En la caja de configuraciones, el fabricante ha dejado datos importantes como la tensión de alimentación, los intervalos de medida entre los que se puede seleccionar e incluso el dato de señal de salida, de 0 a 10 V.

El modelo empleado en este proyecto es el anemómetro marca OSAKA modelo ANE-MS-DISTAN.

En la cubierta, el conjunto formado por el anemómetro de cazoletas más la veleta presente es de marca WIND SENTRY modelo 03002 que puede medir hasta la velocidad de 50 m/s.



Figura 3.25: Estación meteorológica formada por un anemómetro de cazoletas y veleta

[23]

#### 3.4.5. Medidor de valores de irradiancia. Piranómetro



Figura 3.26: Apariencia de un piranómetro de termopila [24]

Para entender el mecanismo de funcionamiento de un piranómetro es necesario comprender las bases de la energía irradiada por el sol. Un piranómetro es, básicamente, un dispositivo que permite calcular la irradiancia del Sol en  $W/m^2$ , es decir, la energía que incide por unidad de superficie. Para ello, el sensor que es necesario emplear debe ser una superficie sensible a la radiación solar. La radiación solar que llega al planeta es bastante amplia en referencia a las longitudes de onda. La Tierra recibe radiación solar de longitudes de onda desde 200 nanómetros hasta 3000 nanómetros. Puede ser ultravioleta, radiación visible o infrarrojos. Pero lo que resulta más importante a la hora de hablar de piranómetros es diferenciar entre la radiación directa y la difusa.

La radiación directa, como se puede intuir por el propio nombre, es la energía que alcanza la superficie terrestre sin verse reflejada o sin que rebote en algún obstáculo. La radiación difusa es la que alcanza el suelo tras rebotar en los numerosos obstáculos que halla en el camino como pueden ser las nubes, altas concentraciones de partículas en suspensión o incluso la propia lluvia también resulta un medio difusor para la radiación solar.

Pues bien, la suma de la radiación directa y la difusa forma la radiación global. El piranómetro presenta una gran ventaja respecto a otros mecanismos de detección de irradiancia solar, como puede ser el pirheliómetro, que resulta muy preciso a la hora de medir radiación directa, pero no es capaz de detectar bien la radiación difusa. Esa ventaja es poder medir correctamente la radiación global, es decir, es un mecanismo fiable de detección de radiación difusa gracias a su estructura que se detallará a continuación.

El piranómetro está compuesto por una superficie oscura o negra que absorbe correctamente la radiación solar, es decir, debe ser apta para captar las longitudes de onda que emite el Sol, en caso contrario, no se obtendrá una adecuada medición de irradiancia. Debajo de esta superficie oscura se disponen conectados en serie y en paralelo un conjunto de termopares que, como se ha visto anteriormente, son unas sondas de temperatura. A través de la medición de temperatura, el piranómetro es capaz de obtener el dato de irradiancia en vatios/metro cuadrado.

Por último, pero no menos importante, queda detallar cómo el piranómetro es capaz de absorber la radiación. Aparentemente, no hay ningún problema a la hora de captar la radiación solar. Esta llega a la superficie del captador y se mide la irradiancia, sin embargo, cuando el Sol está “apareciendo” o “escondiéndose” por el horizonte, el ángulo que forma la onda de radiación solar con el suelo es muy bajo. En estos casos, la totalidad de la radiación no podría incidir correctamente sobre la superficie captadora de irradiancia. Para ello, el piranómetro contiene una cúpula de vidrio o doble capa de vidrio de una gran calidad óptica. El objetivo de esta pieza es refractar la radiación, es decir, curvar la onda para que, en lugar de pasar de largo sin llegar al captador, cambie su dirección para incidir directamente sobre la superficie oscura.

El caso del piranómetro es un tanto distinto al resto de sensores, ya que, junto a la veleta, es el único dispositivo de medida que no se encuentra en las proximidades del equipo de climatización, sino que se sitúa, lógicamente, en la cubierta del edificio, junto a la instalación fotovoltaica. El modelo usado es conocido como CM6B de la marca Kipp&Zonen.

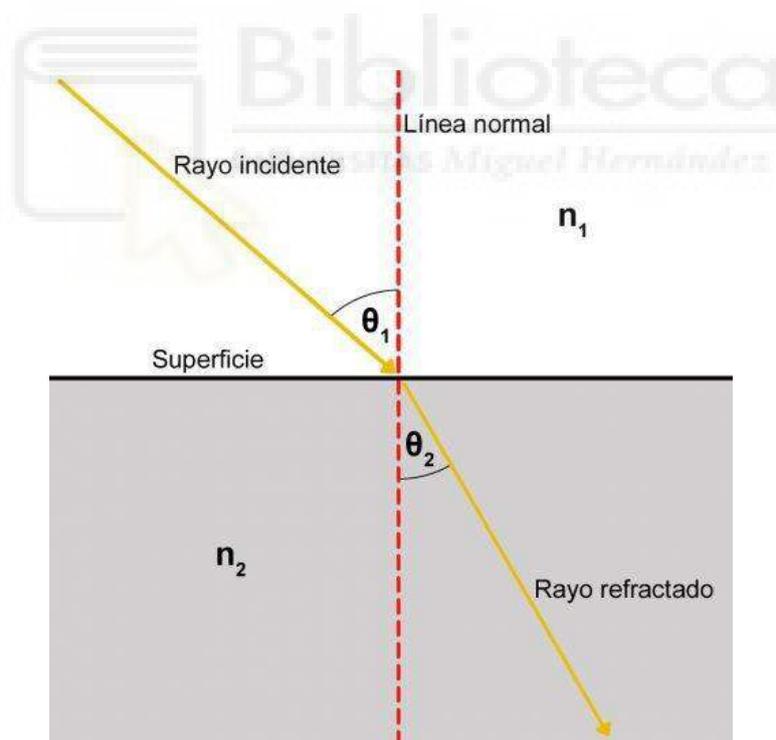


Figura 3.27: Refracción de los rayos de luz. Efecto que se produce en la cúpula de vidrio del piranómetro.

#### 3.4.6. Medidor de corriente continua. Resistencia shunt



Figura 3.28: Resistencias shunt en el interior de la instalación del equipo de climatización.

Otra de las variables para tener en cuenta en la toma de medidas es la intensidad aportada por los paneles fotovoltaicos. Hay diversos factores que influyen en la generación fotovoltaica. En primer lugar, la temperatura a la que esté sometida el panel. En general, las temperaturas óptimas de funcionamiento rondan los 20-25 °C y a temperaturas más elevadas el rendimiento de los paneles va disminuyendo. Las zonas de sombra o suciedad sobre el panel también afectan negativamente sobre su producción, incluso es peligroso para el módulo fotovoltaico la presencia de zonas tapadas por suciedad o manchas. Evidentemente, las condiciones meteorológicas como la lluvia o presencia de nubes influyen de forma negativa sobre la instalación fotovoltaica con la que se está trabajando.

Con todo ello, siempre se obtiene un dato de intensidad en corriente continua, dependiendo de la aplicación de la energía eléctrica que se esté obteniendo en la generación fotovoltaica hará falta un inversor para pasar a corriente alterna, la modalidad de corriente con la que funcionan la mayoría de los consumos. En nuestro caso, el equipo de climatización funciona con corriente alterna, por lo que es necesario convertir la corriente a corriente alterna a través de un convertidor o inversor.

Primeramente, como se menciona previamente, los módulos fotovoltaicos generan corriente continua. Este valor de corriente continua es significativo en este proyecto, ya que la generación fotovoltaica añade un plus en la búsqueda de obtener un equipo de climatización de tipo split eficientemente positivo, ya que como se explicaba en la

introducción de esta redacción la producción fotovoltaica es un método de generación limpio de energía.

Para medir dicha corriente continua se utilizan las llamadas resistencias shunt. Cuando se habla de resistencia shunt se refiere a resistencias que están destinadas a medir valores de corriente. ¿Cómo exactamente? Pues con la ley básica de la electricidad, la ley de Ohm. La caída de tensión que se da en una resistencia es igual al producto de la corriente que circula por dicha resistencia por el propio valor en ohmios de la resistencia. Conociendo el valor de la resistencia y pudiendo medir el valor de esa caída de tensión, uno es capaz de obtener ese valor de corriente continua. En muchas ocasiones esta resistencia se coloca en paralelo a otro sensor cuyo rango de medida no sea lo suficientemente alto como para medir la corriente con la que se está trabajando en algunas ocasiones. Empleando una combinación de interruptores o conmutadores para dejar pasar la corriente por una rama o por la otra del esquema que hemos formado en paralelo podemos conseguir que en caso de trabajar con intensidades relativamente altas toda la corriente pase por la rama de la resistencia shunt [25].

Sin embargo, el único propósito de la resistencia shunt sigue siendo el de medir intensidad, influir y variar los datos de intensidad o provocar una alta caída de tensión no es uno de los objetivos de la resistencia. Para ello el valor de la resistencia debe ser muy bajo, de esta forma el calor disipado (o intensidad de corriente que abandona el circuito en forma de calor) es bajo y la caída de tensión es cercana a cero. En resumen, conseguimos que los parámetros eléctricos no se vean alterados en el paso por este sensor que hemos ideado y llamado “resistencia shunt”.

#### 3.4.7. Medidor de corriente de red. Convertidor

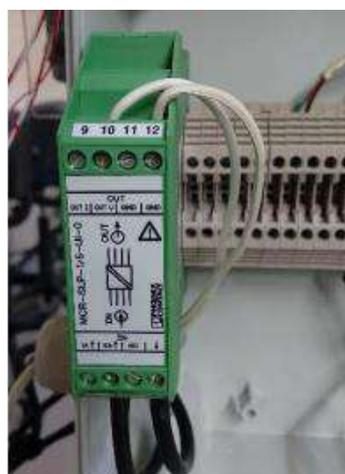


Figura 3.29: Convertidor de medida

Como se ha explicado antes, desde un primer momento, el equipo de climatización ha tenido dos posibles maneras de alimentarse. Bien por energía eléctrica de red (enchufando el equipo a la red eléctrica en baja tensión) o a través de la pequeña instalación fotovoltaica. La tercera combinación es que el aporte fotovoltaico no sea suficiente y sea necesario combinar la energía eléctrica fotovoltaica con la de la red en baja tensión.

En el apartado anterior se describía como medir la intensidad de corriente continua proveniente de la producción fotovoltaica, gracias a las resistencias shunt. En el caso actual, la intención es medir la intensidad de la red de baja tensión. Será posible gracias al convertidor de medida, en este caso, convertidor de corriente. Este dispositivo será capaz de registrar la onda sinusoidal de corriente y generar una señal de salida analógica de voltaje que como el resto de los transductores permite obtener la intensidad que se está midiendo.

#### 3.4.8. Resumen de los equipos de medida

A continuación, se presenta una tabla a modo de resumen con cada magnitud a medir y el modelo y marca del sensor.

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	SONDA
Temperatura del refrigerante a la salida del evaporador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
Temperatura del refrigerante a la entrada del compresor	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
Temperatura del refrigerante a la salida del compresor	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
Temperatura del refrigerante a la entrada del condensador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
Temperatura del refrigerante a la salida del condensador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
Temperatura del refrigerante a la entrada del evaporador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B

Intensidad de corriente de la red eléctrica	Amperios (A)	MCR-SLP Phoenix Contact
Voltaje de la red eléctrica	Voltios (V)	Medida directa por unidad de adquisición de datos
Intensidad de corriente que consume el compresor	Amperios (A)	MCR-SLP Phoenix Contact
Intensidad generada por la instalación fotovoltaica	Amperios (A)	Resistencia Shunt Zurk
Tensión generada por la instalación fotovoltaica	Voltios (V)	Medida directa por unidad de adquisición de datos
Presión de entrada o aspiración del compresor	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-404
Presión de salida del compresor	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-405
Dirección del viento	Grados decimales (°)	WIND SENTRY 03002L
Temperatura del agua atomizada	Grados Celsius (°C)	Desin ST-FFH PT100
Velocidad del viento	Metros por segundo (m/s)	WIND SENTRY 03002L
Irradiancia diaria	Vatios por metro cuadrado (W/m <sup>2</sup> )	Kipp&Zonen CM6B
Humedad relativa en el aire ambiental	Valor porcentual (%)	YOUNG 41382LC2
Temperatura del aire a la salida del evaporador	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
Temperatura del aire a la entrada del evaporador	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
Temperatura ambiental	Grados Celsius (°C)	YOUNG 41382LC2
Velocidad del aire expulsado con el ventilador del equipo	Metros por segundo (m/s)	OSAKA ANE-MS Distan
Temperatura del aire medida en la sección de entrada del equipo	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
Humedad relativa del aire de entrada a la máquina	Valor porcentual (%)	E+E Elektronik EE210
Temperatura del aire en el interior del laboratorio	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
Humedad relativa del aire del interior del laboratorio	Valor porcentual (%)	E+E Elektronik EE210
Temperatura de salida del aire del equipo	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
Humedad relativa del aire en la salida del equipo	Valor porcentual (%)	E+E Elektronik EE210

Presión del refrigerante a la salida del condensador	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-405
Presión del refrigerante a la salida de la válvula de expansión	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-404

### 3.5. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Esta es una de las partes esenciales de la investigación, una de las dos formas de alimentar la máquina de aire acondicionado tipo split. Como toda instalación fotovoltaica, el elemento más significativo es el panel fotovoltaico. Hay que tener claros sus parámetros de funcionamiento. Se presenta a continuación la ficha técnica.



### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC\*)

	SG360M
Potencia de pico (Pmax)	360 W
Tolerancia de potencia	0/+5 W
Tensión a Pmax (Vmp)	38 V
Corriente a Pmax (Imp)	9.48 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	46.6 V
Corriente de corto circuito (Isc)	10.09 A
Tensión máxima de sistema	1500 V
Máximo valor nominal del fusible	15 A
Eficiencia Módulo	18.54%

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Celdas	72 (6x12) monocristalinas PERC
Tamaño Celdas	156x156 mm / 6x6"
Cubierta Frontal	3.2 mm / 0.12" grosor, vidrio templado
Cápsula	TPT (Tedlar-PET-Tedlar)
Cubierta Posterior	EVA (Etileno Vinil Acetato)
Marco	Aleación de aluminio anodizado doble grosor
Acabados Marco	Plata
Acabados Lámina posterior	Blanco
Diodos	3 Diodos de Bypass
Junction Box	certificado IP67
Conectores	MC4 o conectores compatibles
Longitud Cables	1100 mm / 43.3"
Sección Cables	4.0 mm <sup>2</sup> / 0.006 in <sup>2</sup>
Tamaños	1957x992x40 mm / 77x39x1.57"
Peso	22.5 kg / 49.6 lbs
Carga Máx	Certificado para 5400 Pa

### CARACTERÍSTICAS TEMPERATURA

NOCT**	45±2 °C
Coefficiente temperatura de la potencia máxima	-0.40 %/°C
Coefficiente temperatura de la tensión de circuito abierto	-0.32 %/°C
Coefficiente temperatura de la corriente de corto circuito	0.047 %/°C
Temperatura de funcionamiento	-40 °C - +85 °C

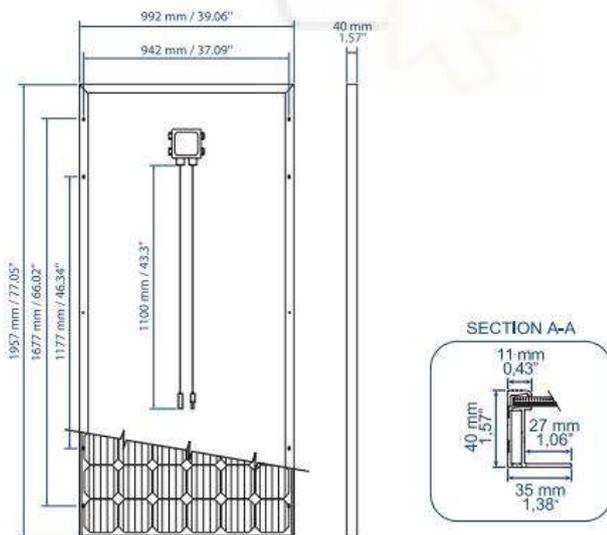
### EMBALAJE\*\*\*

Tamaño Palé	2000x1200x1200 mm / 79x47x47"
Paneles por Palé	27
Peso	622 kg / 1371 lbs

### CERTIFICACIONES

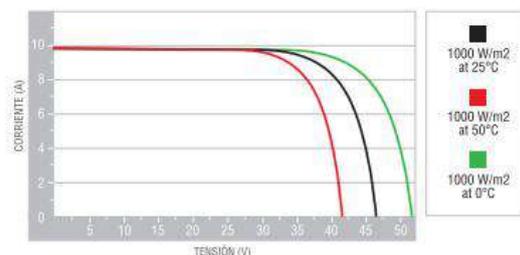
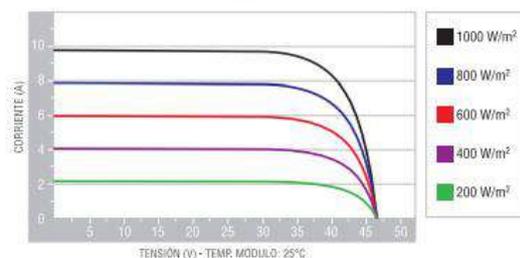
Resistencia al fuego	Clase de reacción al fuego: 1 (UNI 9177)
----------------------	--

### TAMAÑO



### CARACTERÍSTICAS CORRIENTE/VOLTAJE

Valores referidos al panel: SG360M



\*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5

\*\*NOCT: Nominal Operation Cell Temperature Sun 800W/m<sup>2</sup>; Air 20°C; Wind speed 1m/s

\*\*\* Los palés pueden ser sobrepuestos máximo por dos

Se especifica que los datos técnicos, las informaciones y representaciones consignadas en el presente documento mantienen un valor meramente indicativo. PEIMAR se reserva la facultad de modificar en cualquier momento y sin preaviso, los datos, los diseños y las informaciones consignadas en el presente documento.

ES\_VERS 1\_02/2019

**PEIMAR**  
ITALIAN PHOTOVOLTAIC MODULES

Via Creta 72, 25124 Brescia, ITALY • www.peimar.com • info@peimar.com

Figura 3.30: Datos técnicos del módulo fotovoltaico SG360M marca Peimar [26]

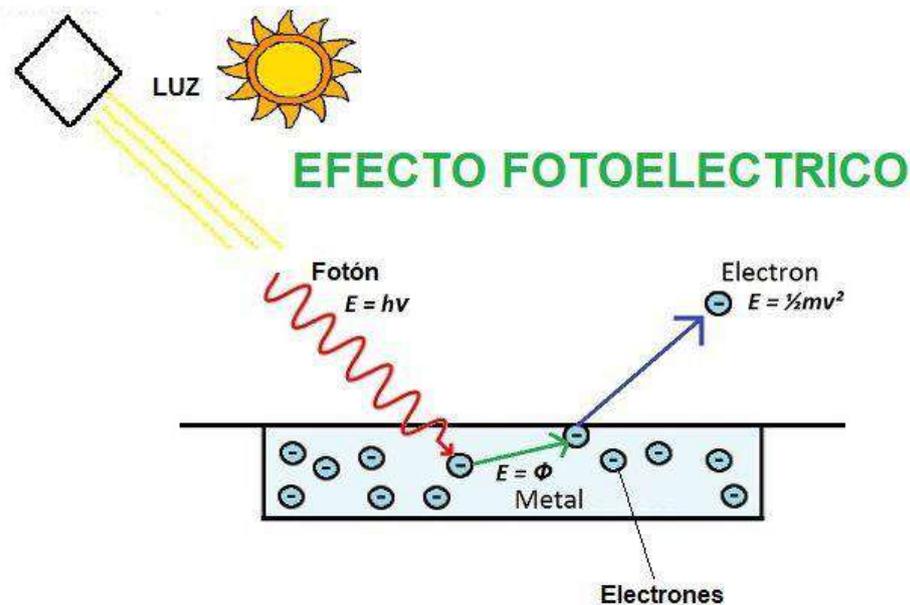
Estas son las especificaciones del módulo fotovoltaico empleado en esta línea de investigación. La marca es Peimar y el modelo del panel es el SG360M.

Es importante saber cómo funciona, por lo menos de manera básica, un módulo fotovoltaico, ya que se producen muchos cambios a nivel subatómico muy relevantes y no se pueden dejar pasar de largo.

El funcionamiento de un módulo fotovoltaico tiene que ver con el efecto fotoeléctrico, definitivamente explicado por el científico alemán Albert Einstein [27]. En él se explica cómo se pueden desplazar o disparar electrones que estaban en estado estable a través de una radiación electromagnética, como puede ser la luz. Antes de continuar hay que recordar que la luz tiene un comportamiento dual: como onda y como partícula. Se comporta como una onda en su transporte, pero también hay que tener en cuenta que está formada por fotones que según las características de la onda (longitud de onda o frecuencia) van a tener una energía u otra.

Cuando se irradia, por ejemplo, una superficie, como dice el efecto fotoeléctrico uno es capaz de “arrancar” un electrón. Ese electrón que previamente pertenecía a un elemento estable según su configuración electrónica contenía una energía, la energía que le mantenía unido a ese elemento. Sin embargo, al irradiar esta superficie y disparar este electrón, Einstein explicó que un fotón perteneciente a esta radiación electromagnética desaparecía. Y curiosamente, ese electrón disparado al final quedaba con una energía cinética que es equivalente a la energía del fotón desaparecido menos la energía de enlace del electrón que le mantenía unido al elemento.

De esta forma ponemos un electrón en movimiento, carga en movimiento, dicho de otra forma, corriente eléctrica.



**Efecto Fotoeléctrico** = Emisión de los electrones de un metal cuando incide sobre el metal una luz

Figura 3.31: Resumen gráfico del efecto fotoeléctrico [28]

Al fin y al cabo, el efecto fotoeléctrico es lo que sucede en una instalación fotovoltaica. Podemos establecer una relación de comparación entre la radiación electromagnética de la que se mencionaba en el efecto fotoeléctrico y la luz del sol que interviene en la generación eléctrica solar. También se puede emparejar la superficie irradiada del efecto fotoeléctrico con un panel fotovoltaico. De este modo, se procede a explicar el efecto fotovoltaico, que no es más que un ejemplo fotoeléctrico en el que el Sol es el protagonista.

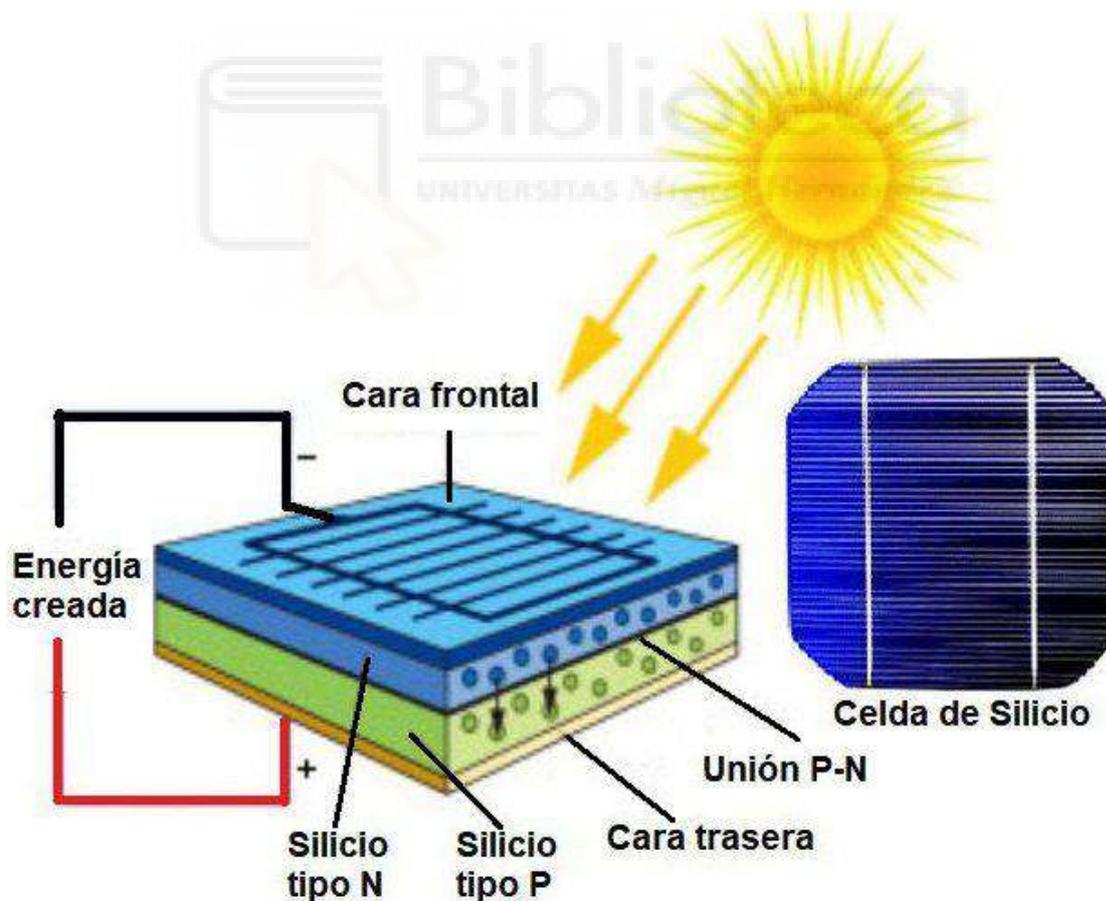
En primer lugar, las células fotovoltaicas pueden estar hechas de diferentes materiales semiconductores como puede ser el silicio, arseniuro de galio, telururo de cadmio, seleniuro de cobre... Las más famosas son sin duda las de silicio que a su vez puede ser monocristalino, policristalino o amorfo. [29]

Para poder provocar los cambios que produce el efecto fotoeléctrico, es decir, el flujo continuo de electrones dopamos el semiconductor de la célula, pongamos que es el silicio, con otros elementos como pueden ser el boro o el fósforo.

Cuando dopemos nuestra célula o panel de silicio con fósforo formaremos un semiconductor de tipo n. Un semiconductor tipo n se forma cuando unimos un semiconductor como es el silicio con átomos de, por ejemplo, fósforo, elemento que tiene cinco electrones en su capa de valencia, o última capa, De este modo, un átomo de silicio, que tiene cuatro electrones de valencia buscará asociarse con un átomo de

fósforo, ya que esos electrones del silicio podrán juntarse con cuatro electrones de valencia del fósforo para formar un átomo químicamente estable (alcanzamos ese estado de estabilidad cuando reunimos ocho electrones en la capa de valencia). Sin embargo, de este modo queda un electrón de valencia del fósforo libre. Pues bien, de este modo al tener un electrón de más, se obtiene una zona con carga eléctrica de tipo negativa, por la influencia del electrón.

De forma similar, también encontramos los semiconductores tipo p. En este segundo ejemplo, combinamos el silicio con otros elementos como puede ser el boro. El semiconductor tipo p se forma cuando los cuatro electrones de valencia del átomo de silicio se combinan con los tres átomos de valencia del boro (o elementos del mismo grupo que el boro). Como se puede intuir, los tres electrones del boro unidos a los cuatro del silicio no son suficientes para alcanzar la estabilidad química, se tienen siete electrones, no ocho. Así pues, se consigue una zona, o, mejor dicho, hueco que en



ausencia de electrones está cargado positivamente.

Figura 3.32: Dopaje del silicio en el efecto fotovoltaico [30]

Recapitulando, tenemos ahora dos zonas, una cargada positivamente y otra con un exceso de electrones cargada negativamente. En este momento interviene el efecto de la luz solar. Como sucedía en el efecto fotoeléctrico, se irradia la célula de silicio con radiación proveniente del Sol. Los fotones consiguen desplazar los electrones libres de la capa de silicio semiconductor n hacia las zonas aprovechando esa diferencia de potencial creado en la unión de las zonas tipo n y tipo p. De este modo, tenemos un flujo de electrones, y, por tanto, corriente eléctrica.

Una vez se han equilibrado en carga la zona tipo n y tipo p de la célula de silicio el semiconductor tipo n se vuelve a dopar con los electrones que no hayan abandonado la célula o con los electrones que estén en el ambiente, próximos a la célula, para repetir el efecto fotovoltaico una y otra vez.

Ahora que ya se ha presentado el mecanismo de funcionamiento de un módulo fotovoltaico es momento de centrarse en el modelo de panel con el que se trabaja, como ya se ha detallado previamente en la figura 2.29, el módulo SG360M de la marca Peimar.

Entre sus especificaciones técnicas encontramos datos muy importantes como:

- Potencia pico (Pp): En este caso, hablamos de potencia eléctrica, es decir, se obtiene como el producto entre intensidad y tensión. Al tratarse de potencia pico, se deberá realizar el producto entre corriente y tensión en el punto de máximo funcionamiento. Nuestro módulo tiene una potencia pico de 360 W, como indica el nombre comercial.
- Corriente en el punto de máximo funcionamiento (Ip max): Es el valor que toma la corriente cuando el módulo esté trabajando en su punto óptimo de funcionamiento, dado también por el fabricante. El módulo SG360M toma una Ip max de 9.48 A.
- Tensión en el punto de máximo funcionamiento (Vp max): Del mismo modo, la tensión de máximo funcionamiento se obtiene al trabajar en condiciones óptimas. Su valor es de 38 V. Con esto, tenemos, que, al trabajar en las mejores condiciones ambientales, conocemos tanto corriente como tensión. Nótese que el producto de ambos parámetros eléctricos resulta el valor de potencia pico, es decir 360 W.

- Tensión de circuito abierto (Voc): Se refiere al valor de tensión que, hipotéticamente, se alcanzaría en caso de que la intensidad se redujese a cero. Sin embargo, de este modo no habría flujo de electrones, inutilizando el panel solar.
- Corriente de cortocircuito (Isc): El valor de corriente de cortocircuito se alcanza cuando la tensión se reduce a cero. Se tienen que dar muchas coincidencias para llegar a esta situación.

Es muy importante saber diferenciar entre parámetros de máximo funcionamiento y tensión de circuito abierto o corriente de cortocircuito.

Los valores de funcionamiento óptimo se alcanzan cuando nuestro módulo trabaja en condiciones óptimas de temperatura, irradiancia y evitando todo perjuicio como efectos de sombras en el panel. En resumen, es posible alcanzar este punto cuando el producto de intensidad y voltaje del panel alcanza su máximo valor. Puede haber valores de intensidad más altos que la intensidad en el punto máximo de funcionamiento, sin embargo, la tensión será tan baja que la potencia que se obtiene va a ser más baja de 360 W, o lo que es lo mismo, más baja que la potencia de máximo funcionamiento. La misma explicación se puede dar para diferenciar entre el voltaje de circuito abierto y el de máximo funcionamiento.

Y es que, en la situación de circuito abierto la corriente es cero, por tanto, la potencia es cero. Esta situación puede darse si cortamos un cable, impidiendo el paso de electrones por este. En caso del cortocircuito sucede de la misma manera, la corriente toma su valor máximo, mientras que la tensión se reduce a valor cero. Por tanto, la potencia eléctrica sigue siendo cero.

En muchas ocasiones los fabricantes de las células solares aportan una gráfica, o curva, en la que se representa la evolución de la corriente en función de la tensión aplicada trabajando en unas condiciones específicas de temperatura e irradiancia. A continuación, se ilustra un ejemplo.

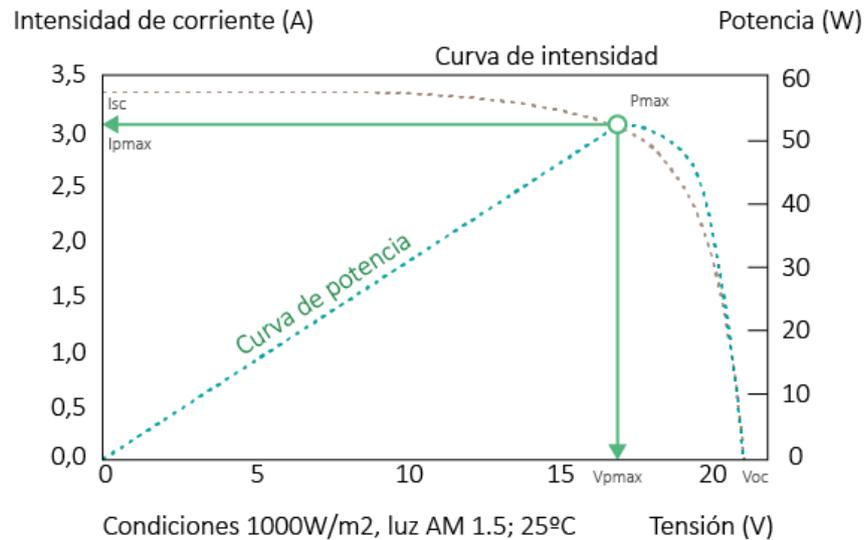


Figura 3.33: Gráfica I-V de una célula fotovoltaica

Se procede a reanudar la explicación de los parámetros más importantes del módulo fotovoltaico SG360M.

- Tensión máxima del sistema: como los elementos de un circuito eléctrico, los módulos fotovoltaicos pueden colocarse en serie o en paralelo. En caso de colocar dos módulos en serie, la corriente que circule por ellos será la misma, sin embargo, la tensión que se genere en cada uno de ellos se sumará. En caso contrario, en la situación de conexión en paralelo, la tensión generada en el sistema será la misma para ambos módulos, mientras que la corriente total será la suma de las generadas individualmente en cada módulo. Con esta explicación se puede deducir que podremos conectar en serie tantos módulos como queramos, pero sin superar la tensión máxima del sistema aportada por el fabricante que es de 1500 V.
- Mayor eficiencia del fusible: en caso de que exista una sobreintensidad indeseada o cortocircuito imprevisto el fusible se quemará para proteger toda la parte de la instalación posterior a este. En esta modelo el mayor calibre del fusible por motivos constructivos o de diseño es de 15 A como corriente de circuito más alta posible.
- Eficiencia del módulo: como ya se ha visto con el equipo de climatización, la eficiencia se refiere a cuánta potencia podemos generar a partir de la potencia

entrante, en esta situación, a partir de radiación electromagnética. La eficiencia es de 18.54%.

Estos son los parámetros eléctricos principales del modelo de panel. Aparte, cabe destacar características mecánicas y de temperatura que se deben tener en cuenta para el uso de los módulos.

En el apartado de características mecánicas encontramos tanto el tamaño de los módulos como el de las celdas, el peso del panel, el número de células, el material de las cubiertas, del marco, el encapsulado e incluso la sección de los cables que van conectados a la caja de conexiones. También se hace referencia en un apartado a los diodos de bypass. Estos diodos cumplen una función muy importante en caso de que uno o más paneles estén sombreados. En estos casos los paneles no generan energía, sino que la consumen, su polaridad se invierte y quedan en riesgo de sufrir daños, inutilización o incluso en casos extremos explosión. Los diodos de bypass evitan esos perjuicios ubicándose en paralelo a los módulos. Así se forma una ruta alternativa para que el flujo de electrones circule por ella en lugar de por el módulo sombreado. Por otro lado, cabe destacar la caja de conexiones y su grado de protección, que es IP67, protección casi inmejorable frente a daños que puede causar el agua.

Respecto a las características de temperatura, es relevante destacar la temperatura de funcionamiento que siempre es un detalle a tener en cuenta en caso de funcionar en ubicaciones de temperatura extrema, sin embargo, no es el caso de este proyecto. Este rango de temperaturas va desde  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se menciona también en la ficha técnica la temperatura que alcanza el módulo trabajando en condiciones NOCT (Nominal Operating Cell Temperature), situación experimental en la que se somete al módulo a condiciones específicas ambientales como son una irradiancia de  $800\text{ W/m}^2$ , una masa de aire de 1.5G (coeficiente que varía en función de las condiciones ambientales y horarias relativas a la oposición de la atmósfera a que la radiación llegue al módulo) y una temperatura ambiente de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  [31]. Esta temperatura alcanzada es de  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un margen de error de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Por último, se detallan en la ficha de datos del producto las dimensiones del módulo solar y las gráficas intensidad-voltaje.

### CARACTERÍSTICAS CORRIENTE/VOLTAJE

Valores referidos al panel: SG360M

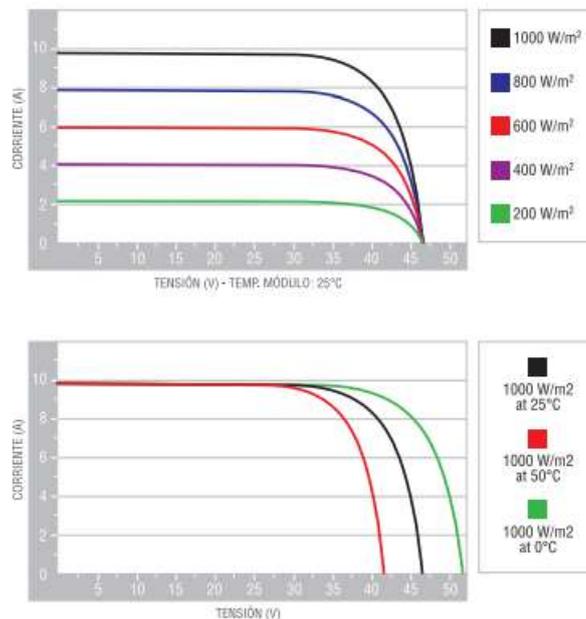


Figura 3.34: Gráficas I-V del módulo SG360M

El análisis de estas gráficas resulta importante para demostrar cómo afectan las condiciones ambientales y climáticas al punto de funcionamiento del módulo como se explicaba previamente en esta memoria.

En la primera gráfica se observa claramente cómo la variación de la irradiancia no afecta en lo más mínimo al voltaje, pero sí resulta afectar en gran medida al valor de corriente generada por el módulo. Todo esto con una temperatura ambiental fijada en 25 °C.

La segunda gráfica muestra totalmente lo contrario. Nos muestra que la temperatura ambiental es el parámetro clave que varía el valor de tensión del panel. El módulo a una temperatura de 50 °C tendrá una tensión eléctrica menor que a 0 °C. A mayor temperatura menor tensión.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser de diversos tipos, con vertido a red, con baterías de acumulación etc. Sin embargo, en este caso, no se dispone de baterías ni se vierte a la red eléctrica la energía. El único fin es alimentar el equipo de aire acondicionado. La electricidad generada en los paneles solares en la cubierta circula por los cables hasta el interior del laboratorio, concretamente hasta la caja de suministro fotovoltaico que cuenta con las protecciones pertinentes y un interruptor manual de dos posiciones que permite “encender y apagar” el suministro de electricidad al equipo de clima.

### 3.6. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



Figura 3.35: Sistema de adquisición de datos AGILENT 34970A

El sistema de adquisición de datos es uno de los elementos más importantes en este y en la gran mayoría de estudios. Su principal función es, de forma resumida, detectar los valores de cada sensor y pasarlos a un ordenador, donde es más fácil poder registrar y usar esos datos numéricos.

Como ya se ha mencionado en el apartado 3.4 de los sensores del estudio, estos son capaces de medir el valor de una magnitud física como la temperatura o la presión y generar una señal eléctrica para cuantificar ese valor medido. Pues bien, ¿qué hacemos con esa señal eléctrica? En este momento es donde entra el sistema de adquisición de medidas que cuenta con varias entradas para señales eléctricas. Conectaremos la salida de nuestros sensores a los canales de la unidad de adquisición de datos. Estos canales transmiten la información al display de la unidad y directamente al ordenador a la que esté conectada.

Dichos canales son capaces de medir todo tipo de variables: temperatura, humedad, velocidad del viento, humedad, presión e irradiancia debido a que hemos transformado todas estas salidas en señales eléctricas, por tanto, nuestra unidad de adquisición de datos no diferencia entre unas magnitudes y otras. Otra peculiaridad de este modelo de AGILENT es que las tarjetas modulares que contienen los canales llevan 20 de estos

más dos adicionales con protección eléctrica por fusible por si es necesario medir parámetros eléctricos de mayor escala (se recuerda que las señales eléctricas de los sensores son del orden del miliamperio, incluso milivoltio) como es imprescindible en este caso, ya que cuatro variables que se deben medir en este estudio son: voltaje de la red de baja tensión, intensidad de la red de baja tensión, voltaje de la instalación fotovoltaica e intensidad de la instalación fotovoltaica.

Este sistema de adquisición de datos irá conectado a un ordenador en el que se crearán archivos que contengan los valores de cada sensor. Es decir, este archivo mostrará cada canal con la variable a la que está asociada, con su valor numérico respectivo, la hora, minuto y segundo en el que se toma la medida y otros datos adicionales como el offset y la ganancia.

Scan Number	101Time (Sec)	101 (°C)- T_sal_evap	102Time (Sec)	102 (°C)- T_ent_com	103Time (Sec)	103 (°C)- T_sal_com	104Time (Sec)	104 (°C)- T_ent_con
1	2021-08-31 0:03:48	27.9178383	2021-08-31 0:03:48	33.4010588	2021-08-31 0:03:48	33.0821046	2021-08-31 0:03:49	31.3529259
2	2021-08-31 0:03:58	27.9151956	2021-08-31 0:03:58	33.3936695	2021-08-31 0:03:58	33.0781462	2021-08-31 0:03:58	31.3498237
3	2021-08-31 0:04:08	27.9146267	2021-08-31 0:04:08	33.3902924	2021-08-31 0:04:08	33.0739742	2021-08-31 0:04:08	31.3484831
4	2021-08-31 0:04:18	27.9170147	2021-08-31 0:04:18	33.387859	2021-08-31 0:04:18	33.0686686	2021-08-31 0:04:18	31.3462469
5	2021-08-31 0:04:28	27.9142416	2021-08-31 0:04:28	33.3808199	2021-08-31 0:04:28	33.0641405	2021-08-31 0:04:28	31.343643
6	2021-08-31 0:04:38	27.9141112	2021-08-31 0:04:38	33.3788197	2021-08-31 0:04:38	33.0621643	2021-08-31 0:04:38	31.3412466
7	2021-08-31 0:04:48	27.9169851	2021-08-31 0:04:48	33.3741843	2021-08-31 0:04:48	33.0593394	2021-08-31 0:04:48	31.3393011
8	2021-08-31 0:04:58	27.9128135	2021-08-31 0:04:58	33.3718993	2021-08-31 0:04:58	33.0539864	2021-08-31 0:04:58	31.336531
9	2021-08-31 0:05:08	27.9146563	2021-08-31 0:05:08	33.366623	2021-08-31 0:05:08	33.0498263	2021-08-31 0:05:08	31.3361099
10	2021-08-31 0:05:18	27.9121262	2021-08-31 0:05:18	33.3590201	2021-08-31 0:05:18	33.0466572	2021-08-31 0:05:18	31.3325866
11	2021-08-31 0:05:28	27.9131216	2021-08-31 0:05:28	33.3583731	2021-08-31 0:05:28	33.042236	2021-08-31 0:05:28	31.3302792
12	2021-08-31 0:05:38	27.914686	2021-08-31 0:05:38	33.3504676	2021-08-31 0:05:38	33.0350018	2021-08-31 0:05:38	31.3291641

Figura 3.36: Valores proporcionados por el sistema de adquisición de medida. Variables de temperatura del ciclo frigorífico

Como se puede contemplar en la imagen que se ha insertado a modo de ejemplo, se tiene el nombre de las variables, con sus respectivos valores en el tiempo. En dicho caso, el intervalo de tiempo de toma de medidas es de 10 segundos, valor que se puede cambiar dependiendo de la investigación a realizar. Muestra también el número de muestra o número de medida. Se pretende realizar un estudio distinto cada día, desde la mañana hasta la tarde, según la disponibilidad de los trabajadores del laboratorio, con toma de medidas cada 10 segundos.

### 3.7. ORDENADOR PERSONAL

En circunstancias normales, se sobreentiende que un ordenador personal es un elemento empleado en este o cualquier estudio, sin embargo, no solo se ha empleado para clasificar, registrar y hacer uso de los datos o medidas del laboratorio. Otra gran parte de este trabajo de fin de grado es la automatización de la recepción de datos y su uso para exponerlos, realizar gráficas, comparaciones y extraer conclusiones. A través del uso de cuadernos Jupyter y el lenguaje de programación Python es posible alcanzar estos objetivos. Es una gran parte de este estudio y además no requiere emplear gran cantidad de materiales, tan solo un PC.

En el siguiente apartado de esta memoria, apartado 4, se procede a explicar los procedimientos que se han seguido para cada aspecto: la toma de medidas, el desarrollo de un programa que permita automatizar la realización de gráficas y comparaciones.



## 4. PROCEDIMIENTOS

Claramente, es de vital importancia mostrar los resultados de una investigación y dotarlos de un significado que ayude a las personas a comprender las conclusiones que los autores obtienen a través de ella, pero también, el hecho de dejar reflejado en un apartado del estudio el procedimiento o método que se ha seguido para llegar a alcanzar estos resultados es algo crucial y que puede servir de ayuda tanto a los propios autores del estudio como a otras personas que quieran seguir una rama de estudio parecido o, simplemente, “saciar su sed de conocimiento”.

Por ello, este apartado se va a dividir en los subapartados que reflejen, en primer lugar, el proceso empleado para la realización de la toma de medidas, siguiendo por el uso para extraer los datos numéricos de las variables mediante la programación en Python y, finalmente, la evaluación de los resultados.

### 4.1. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO: TOMA DE MEDIDAS

En previas investigaciones dentro de esta línea de eficiencia energética en máquinas de climatización se seleccionó y diseñó este equipo prototipo con los sensores de medida que se han visto a lo largo de la memoria, la instalación fotovoltaica etc.

Se han realizado simulaciones y estudios para evaluar la rentabilidad del proyecto. El resultado fue positivo, se llegó a la conclusión de que se podrían alcanzar valores mejorados de eficiencia energética y se procedió al montaje del equipo para llevar a cabo la toma de medidas.

No es una actividad que se pueda realizar en poco tiempo por motivos evidentes como la propia medición, ya que se registran medidas cada día. El período estival es el óptimo para evaluar la eficiencia energética del equipo de aire acondicionado debido a las altas temperaturas del ambiente y el contraste entre esta temperatura y la que se pretende tener en el interior del laboratorio o en las etapas de la máquina de clima y, por supuesto, porque en la realidad es cuando más suelen ser empleadas, sobre todo en el ámbito doméstico o en oficinas.

Sin embargo, hay muchos más factores para tener en cuenta. El trabajo de fin de grado que documenta todo el diseño, montaje del equipo de clima, así como todos los sensores que le acompañan, la instalación fotovoltaica, estación meteorológica, partes de las

instalaciones... se llevó a cabo durante 2019, mientras que los ensayos documentados en la presente memoria se empezaron a llevar a cabo a finales de julio del presente año 2023. La acción del paso del tiempo ha hecho efecto en los sensores. La puesta en marcha conlleva arreglar estos daños en los sensores. En caso de tratar con otras sondas que midan variables que no sean del todo necesarias a la hora de calcular los datos de eficiencia, o bien, podemos sacar el valor de esas variables sin necesidad del sensor, pues se puede prescindir del sensor por no retrasar mucho en el tiempo la toma de medidas.

Es el caso de los sensores que toman valores del viento. A la hora de procesar los resultados, tanto el anemómetro como la veleta no otorgan valores fiables. En el archivo csv obtenido tras los ensayos tanto en la variable de velocidad del viento como en la de dirección del viento aparecen valores negativos y que apenas cambian. Además, los valores no son lógicos, sobre todo, en el caso de la velocidad del viento.

Otro problema que se ha presentado en los momentos previos a enchufar el equipo ha sido la cantidad de refrigerante del equipo, por tanto, los primeros ensayos realizados pueden variar un poco respecto a la realidad antes de llenar el equipo con el refrigerante pertinente.

Finalmente, hay que lidiar con posibles cortes eléctricos que puedan fastidiar la toma diaria de medidas o el comportamiento extraño que tuvo el equipo después de haber estado tanto tiempo sin usarse. Acumulaciones de polvo, efectos de la oxidación, muchas pueden ser las causas.

Todos estos percances han ido saliendo a lo largo del tiempo, sin embargo, en este apartado también hay que centrarse en explicar la disposición de los sensores y las diversas instalaciones.

La instalación fotovoltaica formada por los dos paneles solares y el piranómetro se sitúan en la cubierta del edificio Altet, junto a la estación meteorológica formada por el anemómetro y la veleta que miden la velocidad y dirección del viento en el exterior del edificio, respectivamente.

Por otro lado, el equipo de clima se sitúa en el interior del Edificio Altet, concretamente, en el laboratorio de Máquinas y Motores Térmicos. Una gran parte de los transductores de presión y de temperatura se sitúan en el interior de este con la finalidad de medir presión y temperatura en las cuatro etapas principales del ciclo de refrigeración. Más adelante, en el siguiente apartado (4.2), explicaré todas las variables que hay y la

nomenclatura que se le da en el archivo csv así como su numeración. Otros sensores se colocan en las proximidades de la máquina. Se incorporan tres higrómetros a su alrededor; uno que mide la humedad de la estancia, otro que mide la humedad del aire a la salida del equipo de clima y otro que mide la humedad del aire que entra a la máquina. En este último caso variará en gran medida dependiendo de si se está empleando la sección de preenfriamiento evaporativo o si se está llevando a cabo un ensayo en seco.

La unidad de adquisición de datos también se ha incorporado junto a la máquina de aire acondicionado, como es lógico, ya que hay que realizar todas las conexiones desde los sensores de medida hasta el propio equipo de adquisición de datos. Hay que conectar la salida de la unidad de adquisición de datos a un ordenador donde se generen los archivos csv con el resultado de los ensayos.



Figura 4.1: Instalación del equipo de clima. Unidad de adquisición de datos en la parte superior de la misma

Queda hablar también de la sección de preenfriamiento evaporativo. A la hora de llevar a cabo la toma de medidas se puede distinguir entre dos tipos de ensayo dependiendo de si se emplea la sección de preenfriamiento evaporativo o no, podemos diferenciar entre ensayos húmedos y ensayos en seco.

Esto es interesante, ya que, en primer lugar, los resultados de eficiencia energética van a ser unos en los ensayos en seco, y otros totalmente distintos si se trata de un ensayo incluyendo la sección de preenfriamiento evaporativo y, en segundo lugar, será interesante estudiar la diferencia de eficiencia energética entre el caso del ensayo seco y el ensayo húmedo. Uno podría pensar que el caso de los ensayos en seco coincide con el funcionamiento de un aparato de aire acondicionado doméstico normal, que la eficiencia no va a ser mejor, sin embargo, hay que tener en cuenta que, al mismo tiempo, se está empleando energía de una instalación fotovoltaica. Sí es cierto que independientemente de si se utiliza energía de la instalación fotovoltaica o no la energía que va a necesitar el equipo de clima va a ser la misma, pero como ya se vio en la introducción de esta memoria, la generación de energía fotovoltaica es limpia y renovable, es decir, se usa como fuente primaria la luz del sol que es considerada ilimitada, por lo menos, hasta que este astro desaparezca, mientras que la energía de red puede provenir perfectamente de una central de ciclo combinada que produce más emisiones contaminantes sobre todo de dióxido de carbono o puede provenir de centrales nucleares que dejan como remanentes residuos nucleares difíciles de almacenar debido a sus propiedades radioactivas. Dicho de otra forma, la generación fotovoltaica siempre va a ser menos contaminante que la generación de electricidad que tomamos de la red. También enfocado a un aspecto económico, no va a afectar del mismo modo alimentar nuestro equipo a base de electricidad de red que con energía solar. La electricidad generada por la planta solar es electricidad que uno mismo está generando, no tiene que pagarla (lógicamente hay un gasto inicial fijo, que es la inversión inicial de fabricar e instalar los paneles, pero eso ya es tema aparte), mientras que la energía que tomamos de red tiene un precio que se establece día tras día por el operador del mercado, el OMIE (Operador del Mercado Ibérico de la Energía) como ya se explicó también en la introducción de esta memoria.

Retomando el tema de la disposición de la sección de preenfriamiento se puede contemplar en la figura 3.12 que de la entrada al condensador salen cuatro varillas, una de cada esquina. La idea es colocar las cuatro esquinas de la sección para que coincidan

con esas varillas, de este modo formamos una especie de carriles que permiten el desplazamiento de la sección acercándola o alejándola de la máquina de aire acondicionado. Únicamente se podrá mover en una dirección (dos sentidos hacia delante o hacia atrás) con intención de que sea significativo en los ensayos, pero, ¿cómo exactamente va a influir en las medidas tomadas en el laboratorio? Pues bien, si situamos la sección de preenfriamiento muy cerca puede tener la ventaja de que el aire nada más ser enfriado entra a la máquina y, por tanto, no se dispersa por el ambiente y no se produce un intercambio de calor con el aire caliente (el de la estancia que no se ha enfriado), es decir, nada más enfriarse entra a la máquina, sin embargo, puede haber inconvenientes como el poco tiempo que transcurre desde que el aire se enfría (intercambiando calor con el agua atomizada). Ese poco tiempo puede ser determinante a la hora de que el aire pueda enfriarse más o menos, es decir, puede que no se enfría todo lo que hubiera podido si lo hubiéramos enfriado un poco más lejos de la máquina de aire acondicionado. Además, este insuficiente tiempo puede provocar que al agua no le dé tiempo a evaporarse en el aire y entren al equipo de clima gotas de agua líquida y pueda provocar corrosión u oxidación en el interior del equipo, algo que a la larga es peligroso.

En el caso contrario, si se sitúa la parrilla de atomizadores relativamente alejada, respecto al aparato de aire acondicionado se evita mojar la máquina de climatización, que puede ser afectada por los efectos del agua, toda el agua se logre evaporar a tiempo y se produce al completo el intercambio de calor entre el agua atomizada y el aire, para que así el agua entre sin problema en estado de vapor saturado. El intercambio de calor es completo y al aire le da tiempo a enfriarse. El principal inconveniente es que el aire se enfría pronto y todavía le queda un camino relativamente largo a recorrer antes de entrar en la sección del condensador. De esta forma, una parte del aire frío atravesará el equipo de aire acondicionado, pero otra gran parte se diluirá en el aire caliente del ambiente, algo que puede ser negativo, ya que además enfría el aire ambiente mínimamente, sin embargo, este efecto será insignificante porque se está trabajando en un laboratorio que es una estancia de gran volumen (cuanto más volumen más costará enfriarlo) y, además, el equipo por las noches está apagado, no estará funcionando continuamente. Lo que interesa es que la mayor parte de aire enfriado posible entre al equipo de climatización, pero que a su vez toda el agua atomizada se evapore para no provocar daños en la máquina.

En resumen, hay una posición óptima, un equilibrio, ni muy cerca ni muy lejos de la máquina, que permita enfriar todo lo posible el aire de entrada al condensador a través de agua atomizada, poder evaporar esta agua antes de que entre a la máquina y que la mayor parte de aire enfriado sí entre al equipo.

Con todo esto, es claro que el modo de empezar los ensayos es el mismo siempre. Únicamente es apretar un interruptor y que el sistema de adquisición de datos conectado al ordenador haga su trabajo. La complejidad radica, básicamente, en el ajuste de todos los parámetros que no se registran en la unidad de adquisición de datos, pero sí tienen efecto en el resultado final como son la instalación fotovoltaica, ajuste y posición de la sección de preenfriamiento evaporativo o incluso la opción de realizar ensayos en seco y húmedos.

#### 4.2. RECEPCIÓN DE LOS RESULTADOS. LISTA DE VARIABLES.

La recepción o registro de los resultados se puede considerar un paso intermedio entre la puesta en marcha de toda la instalación junto al arranque del equipo y la manipulación de resultados finales. Para registrar las lecturas de las sondas es necesaria una unidad de adquisición de datos.

La unidad de adquisición de datos va a actuar como traductor entre las sondas o sensores de medida y el ordenador presente en el laboratorio. Va a ser la encargada de recibir las señales eléctricas de salida de cada sensor de medida, procesar qué magnitud es la que mide cada medidor y transmitir al ordenador del laboratorio esa información. Poniendo por ejemplo el caso de un transductor de presión, este va a encenderse y colocarse en un lugar apto para su uso. Posteriormente, cuando comience a tomar lecturas, generará un impulso o señal eléctrica en función de la presión que mida. Este sensor estará conectado a través de un cable (por el que el impulso eléctrico que genera el transductor de presión circula) a la unidad de adquisición de datos. Esta unidad, que cuenta con varias entradas eléctricas será capaz de interpretar estos datos transmitidos, es decir, únicamente con el valor eléctrico recibido es capaz de mandar información reinterpretada al ordenador, es decir, el valor en bares de la presión medida.

Por eso es considerado un paso intermedio entre el inicio del ensayo y la valoración de los resultados. No hay mucho más que explicar acerca de esta recepción de datos, pero

para comprender la investigación es crucial conocer y comprender todas las variables que entran en juego en este estudio.

<b>CANAL</b>	<b>VARIABLE Y NÚMERO ASOCIADO</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>SONDA</b>
101	T_sal_evap <b>3</b>	Temperatura del refrigerante a la salida del evaporador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
102	T_ent_comp <b>5</b>	Temperatura del refrigerante a la entrada del compresor	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
103	T_sal_comp <b>7</b>	Temperatura del refrigerante a la salida del compresor	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
104	T_ent_cond <b>9</b>	Temperatura del refrigerante a la entrada del condensador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
105	T_sal_cond <b>11</b>	Temperatura del refrigerante a la salida del condensador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
106	T_ent_evap <b>13</b>	Temperatura del refrigerante a la entrada del evaporador	Grados Celsius (°C)	TC Direct PT-100 Clase B
107	Int Red <b>15</b>	Intensidad de corriente de la red eléctrica	Amperios (A)	MCR-SLP Phoenix Contact
108	Volt Red <b>17</b>	Voltaje de la red eléctrica	Voltios (V)	Medida directa por unidad de adquisición de datos
109	Int Compresor <b>19</b>	Intensidad de corriente que consume el compresor	Amperios (A)	MCR-SLP Phoenix Contact
118	Int PV <b>21</b>	Intensidad generada por la instalación fotovoltaica	Amperios (A)	Resistencia Shunt Zurk

120	Volt PV <b>23</b>	Tensión generada por la instalación fotovoltaica	Voltios (V)	Medida directa por unidad de adquisición de datos
121	P1 asp comp <b>25</b>	Presión de entrada o aspiración del compresor	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-404
122	P2 desc comp <b>27</b>	Presión de salida del compresor	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-405
201	Dir Viento <b>29</b>	Dirección del viento	Grados decimales (°)	WIND SENTRY 03002L
202	T agua <b>31</b>	Temperatura del agua atomizada	Grados Celsius (°C)	Desin ST-FFH PT100
203	Pres_diferencial <b>33</b>	Diferencia de presiones	Pascales (Pa)	No empleado
204	Vel viento <b>35</b>	Velocidad del viento	Metros por segundo (m/s)	WIND SENTRY 03002L
206	Irradiancia <b>37</b>	Irradiancia diaria	Vatios por metro cuadrado (W/m <sup>2</sup> )	Kipp&Zonen CM6B
207	HRAmb <b>39</b>	Humedad relativa en el aire ambiental	Valor porcentual (%)	YOUNG 41382LC2
208	Tp_sal_evap <b>41</b>	Temperatura del aire a la salida del evaporador	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
209	Tp_ent_evap <b>43</b>	Temperatura del aire a la entrada del evaporador	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
210	Tamb <b>45</b>	Temperatura ambiental	Grados Celsius (°C)	YOUNG 41382LC2
213	Vel aire <b>47</b>	Velocidad del aire expulsado con el ventilador del equipo	Metros por segundo (m/s)	OSAKA ANE-MS Distan

214	Temp Entrada <b>49</b>	Temperatura del aire medida en la sección de entrada del equipo	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
215	HR Entrada <b>51</b>	Humedad relativa del aire de entrada a la máquina	Valor porcentual (%)	E+E Elektronik EE210
216	Temp Int <b>53</b>	Temperatura del aire en el interior del laboratorio	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
217	HR Int <b>55</b>	Humedad relativa del aire del interior del laboratorio	Valor porcentual (%)	E+E Elektronik EE210
219	Temp Salida <b>57</b>	Temperatura de salida del aire del equipo	Grados Celsius (°C)	E+E Elektronik EE210
220	HR Salida <b>59</b>	Humedad relativa del aire en la salida del equipo	Valor porcentual (%)	E+E Elektronik EE210
221	P3 Salida Condensa <b>61</b>	Presión del refrigerante a la salida del condensador	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-405
222	P4 Salida valvula <b>63</b>	Presión del refrigerante a la salida de la válvula de expansión	Bares (bar)	Johnson Controls P499ACS-404

*Tabla:* Listado completo de variables, unidades y sondas de medida.

Se procede a comentar cada una de las 31 variables que han entrado en juego en este estudio:

- T\_sal\_evap, T\_ent\_comp, T\_sal\_comp, T\_ent\_cond, T\_sal\_cond, T\_ent\_evap: estas 6 variables de temperatura son las relativas a las temperaturas del ciclo frigorífico. Como bien indican las abreviaturas en los nombres las variables se refieren a: temperatura de salida del evaporador, temperatura de entrada al

compresor, temperatura de salida del compresor, temperatura de entrada al condensador, temperatura de salida del condensador y temperatura de entrada al evaporador, respectivamente. Estas variables son medidas mediante sensores de temperatura de los que ya se ha hablado en el subapartado de sensores 2.4. La peculiaridad de estos medidores respecto a otros es que estos están situados en el interior del equipo de climatización, ya que tienen que medir temperaturas de elementos situados en el interior de este. Las temperaturas de entrada y salida del evaporador se repiten en los canales 208 y 209.

- Prosiguiendo con los sensores de temperatura queda por nombrar el asociado al canal 202 encargado de medir la temperatura del agua atomizada por la parrilla de atomización que intercambia calor con el aire presente para conseguir su enfriamiento. También, nombrar las variables de los canales 210, 214, 216 y 219. Lecturas de temperatura medidas por termohigrómetros y es que miden, respectivamente, la temperatura en el ambiente fuera del laboratorio, entrada de la máquina, interior del laboratorio y salida de la máquina. El termohigrómetro que mide la temperatura ambiente se sitúa en la cubierta del edificio junto a la estación meteorológica. El que mide la temperatura en la entrada de la máquina se localiza justo a la entrada del condensador por la parte de fuera del equipo, junto a la sección de preenfriamiento evaporativo. El que mide la temperatura en el interior del laboratorio, lógicamente se sitúa en el interior de este, y finalmente, el termohigrómetro que mide la temperatura a la salida del equipo se sitúa justo a continuación del ventilador en el exterior de la máquina de aire acondicionado. De todos modos, en el subapartado 2.4.3, además de entrar en profundidad a detallar los termohigrómetros se inserta una imagen en la que se pueden apreciar los tres que están en el exterior del equipo.
  
- P1 asp comp, P2 desc comp, P3 salida condensador, P4 salida válvula: variables conectadas a los canales 121, 122, 221 y 222 de la unidad de adquisición de datos. Son cuatro presiones que se identifican con los 4 puntos del ciclo frigorífico, algo que ya se ha explicado en la introducción de la memoria. La presión a la salida del compresor (P2) y la de salida del condensador (P3) hacen referencia a la presión de alta, mientras que la presión baja de trabajo es la

presión a la salida de la válvula de expansión (P4) y la presión a la entrada del compresor o presión de aspiración (P1) usando la nomenclatura empleada en la lectura de medidas.

- HRAmb, HR Entrada, HR int, HR Salida: variables de humedad relativa conectadas a los canales 207, 215, 217 y 220. Hacen referencia a los valores de humedad recogidos por los termohigrómetros. Estos miden la humedad en el ambiente, entrada de la máquina, salida de la máquina e interior del laboratorio. En caso de trabajar mediante ensayos en seco el valor de humedad ambiente y humedad en la entrada del equipo deben ser similares, únicamente serán diferentes esos valores si está instalada la parrilla de atomización que al enfriar el aire de entrada a la máquina mediante agua sube la humedad de este. La localización de estos termohigrómetros está explicada dos párrafos antes, en el párrafo de medida de temperatura de los termohigrómetros.
- Dir Viento, Vel viento y Vel aire son las variables relativas al viento. Están conectadas a los canales 201, 204 y 213, respectivamente. Las variables de dirección del viento y velocidad del viento son medidas por la veleta y el anemómetro de cazoletas de la estación meteorológica de la cubierta del edificio Altet, mientras que la variable Vel aire hace referencia a la velocidad con la que el ventilador expulsa el aire del prototipo, que es medida por el anemómetro de filamento caliente. De nuevo, la explicación de estos sensores e imágenes de estos en el prototipo se ha dado en el subapartado 2.4.4 de la memoria
- Irradiancia, la variable conectada al canal 206, lógicamente, mide la irradiancia, o los vatios por metro cuadrado, sobre nuestra instalación fotovoltaica. De realizar la medición se encarga el piranómetro, sensor ubicado también en la cubierta del edificio.
- Por último, se encuentran las variables puramente eléctricas. Int Red, Volt Red, Int Compresor, Int PV, Volt PV. Conectadas a los canales 107, 108, 109, 118 y 120. Int Red y Volt Red miden la corriente que la red eléctrica proporciona al equipo de clima y la tensión a la que se encuentra la red. Lógicamente, este segundo valor, el de tensión de red va a mantenerse estable, ya que la red

eléctrica en monofásica tiene una tensión de 230 V. Por otro lado, la variable Int Compresor muestra la intensidad de corriente que consume el compresor del equipo de climatización. Por último, las variables Int PV y Volt PV muestran los valores de intensidad generada por los paneles fotovoltaicos y la tensión eléctrica de la instalación fotovoltaica. Los valores de corriente de la red y de la instalación fotovoltaica se complementarán entre ellos para alcanzar el valor de corriente necesario que debe emplear para su correcto funcionamiento el equipo de clima.

Tras este subapartado ya se conocen todas las variables de las cuales se pretende tomar lecturas y entrar a valorar los resultados. De este modo, ya se comprende qué es exactamente lo que es necesario medir (valores de presión, temperatura, irradiancia, humedad...). Unido a la descripción dada del prototipo y toda la instalación junto a la ubicación y explicación de cada sensor y qué es lo que mide uno ya es capaz de comprender la toma de medidas. Sin embargo, resta un tema crucial, ¿cómo es posible automatizar la recopilación de las lecturas para evaluar los resultados?

#### 4.3. PROCEDIMIENTO PARA LA AUTOMATIZACIÓN. PROGRAMACIÓN EN PYTHON.

Para tratar este subapartado es importante ir paso a paso, la programación no es algo que por lógica pueda intuirse, por lo que es crucial no saltarse pasos y no tratar los temas suponiendo que el lector es un entendido de la materia.

Una vez la unidad de adquisición de datos ha proporcionado al ordenador todos los valores de las diferentes magnitudes medidas, ¿cómo somos capaces, exactamente, de visualizar los resultados?

##### 4.3.1. El archivo csv o xlsx de toma de medidas

Pues bien, teniendo conectada la unidad de adquisición de datos al ordenador se generará en este un archivo de tipo “valores separados por comas” para abreviar utilizaremos su extensión “csv”, o bien en mayúsculas “CSV”. También se genera un archivo completamente idéntico con las mismas medidas, mismas variables, pero esta

vez de tipo Excel (se puede abrir con la aplicación de Excel de Office o con Hojas de cálculo de Google), con extensión *xlsx*.

Una vez abierto el archivo se puede contemplar lo siguiente:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Address	USB0::0x2A8D::0x6101::MY58000404::0::INSTR									
2	Model	DAQ970A									
3	Serial Number:	MY58000404									
4	Firmware Version	A.01.03-01.00-01.03-00.02-01.00-03-02									
5	Start Time	2023-07-12 9:59:27									
6	Stop Time	2023-07-12 19:30:22									
7	Data Log Stopped										
8											
9	Instrument Configuration										
10	Modules	4	Slot 1	DAQM901A	Slot 2	DAQM901A	Slot 4	DAQ970A Computer	Slot 10	Virtual Digitizer Channels	
11	Total Channels	31									
12											

Figura 4.2: Apariencia de un archivo csv de recopilación de medidas. Primera parte

Las primeras líneas del archivo muestran datos relativos a la unidad de adquisición de datos, la dirección que se emplea, número de serie, modelo...

También, cabe destacar el momento de inicio del ensayo de ese día (aparece año, mes, día, hora, minuto y segundo) así como el momento del día en el que el ensayo se ha detenido.

Por último, indica el número de canales utilizados, en este caso equivale al número de variables en estudio, 31.

Es apreciable que todavía no tenemos valores numéricos ni referencia a las variables del estudio. Estos datos aparecen en la siguiente sección del archivo:

	A	B
14	Channels	Name
15	101	T_sal_evap
16	102	T_ent_comp
17	103	T_sal_comp
18	104	T_ent_cond
19	105	T_sal_cond
20	106	T_ent_evap
21	107	Int Red
22	108	Volt Red
23	109	Int Compresor
24	118	Int PV
25	120	Volt PV
26	121	P1 asp comp
27	122	P2 desc comp
28	201	Dir Viento
29	202	T agua
30	203	Pres_diferencial
31	204	Vel viento
32	206	Irradiancia
33	207	HRAmb
34	208	Tp_sal_evap
35	209	Tp_ent_evap
36	210	Tamb
37	213	Vel aire
38	214	Temp Entrada
39	215	HR Entrada
40	216	Temp Int
41	217	HR Int
42	219	Temp Salida
43	220	HR Salida
44	221	P3 Salida Condensa
45	222	P4 Salida valvula
46		

Figura 4.3: Apariencia de un archivo csv de recopilación de medidas. Segunda parte

En esta segunda sección, aparecen todas las variables recogidas por filas con sus respectivos canales. Todavía no aparecen valores numéricos, ni lecturas de los sensores. Aparecen más columnas junto a estas dos, sin embargo, indican otros datos de menor importancia. Entre ellas podemos destacar la unidad de medida de las magnitudes medidas o el tipo de señal eléctrica recibida por la unidad de adquisición de datos.

Las unidades de medida de las diferentes magnitudes físicas que aparecen son:

- Presión: Bares (bar) o pascales (Pa).
- Temperatura: Grados Celsius (°C).
- Humedad relativa: Tanto por uno.
- Velocidad del viento: Metros por segundo (m/s).
- Dirección del viento: Grados (°).

- Irradiancia: Vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).
- Tensión eléctrica o voltaje: Voltios (V).
- Intensidad de corriente eléctrica: Amperios (A).

La tercera parte del archivo csv generado por la unidad de adquisición de datos es la más importante, indudablemente. Se corresponde con las medidas tomadas por los sensores de todo tipo. Muestra los valores en bares, grados, metros/segundo... de todas las variables que intervienen. Aparte de eso, también muestra claramente, el momento horario en el que se toma dicha medida. Se inserta una captura de pantalla a modo de ejemplo, para tener clara la vista de las medidas dentro del archivo:



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
66												
67	Scan Sweep Time (Sec)	Scan Number	101Time (Sec)	101 (°C)- T_sal_evap	102Time (Sec)	102 (°C)- T_ent_comp	103Time (Sec)	103 (°C)- T_sal_comp	104Time (Sec)	104 (°C)- T_ent_cond	105Time (Sec)	105 (°C)- T_sal_cond
68	2023-07-12 09:59:27.689	1	2023-07-12 09:59:27.688 30,286029		2023-07-12 09:59:27.741 29,2548252		2023-07-12 09:59:27.794 32,6216104		2023-07-12 09:59:27.846 32,4528182		2023-07-12 09:59:27.898 31,3777247	
69	2023-07-12 09:59:37.682	2	2023-07-12 09:59:37.682 30,2097635		2023-07-12 09:59:37.734 29,3778641		2023-07-12 09:59:37.786 32,9086722		2023-07-12 09:59:37.838 32,5529105		2023-07-12 09:59:37.890 31,2726376	
70	2023-07-12 09:59:47.682	3	2023-07-12 09:59:47.682 30,089558		2023-07-12 09:59:47.734 29,523245		2023-07-12 09:59:47.786 33,2548038		2023-07-12 09:59:47.838 32,6974739		2023-07-12 09:59:47.890 31,2114506	
71	2023-07-12 09:59:57.682	4	2023-07-12 09:59:57.682 29,949785		2023-07-12 09:59:57.734 29,6697112		2023-07-12 09:59:57.786 33,6702089		2023-07-12 09:59:57.838 32,9146243		2023-07-12 09:59:57.890 31,1504604	
72	2023-07-12 10:00:07.682	5	2023-07-12 10:00:07.682 29,795872		2023-07-12 10:00:07.734 29,7952969		2023-07-12 10:00:07.786 34,1325746		2023-07-12 10:00:07.838 33,2042928		2023-07-12 10:00:07.890 31,1606857	
73	2023-07-12 10:00:17.682	6	2023-07-12 10:00:17.682 29,635166		2023-07-12 10:00:17.734 29,8787209		2023-07-12 10:00:17.786 34,6241263		2023-07-12 10:00:17.838 33,5650678		2023-07-12 10:00:17.890 31,2200153	
74	2023-07-12 10:00:27.682	7	2023-07-12 10:00:27.682 29,4970423		2023-07-12 10:00:27.734 29,9496902		2023-07-12 10:00:27.786 35,1027932		2023-07-12 10:00:27.838 33,9416003		2023-07-12 10:00:27.890 31,2656387	
75	2023-07-12 10:00:37.682	8	2023-07-12 10:00:37.682 29,3724163		2023-07-12 10:00:37.734 30,000081		2023-07-12 10:00:37.786 35,5837615		2023-07-12 10:00:37.838 34,3311351		2023-07-12 10:00:37.890 31,2744586	
76	2023-07-12 10:00:47.682	9	2023-07-12 10:00:47.682 29,256728		2023-07-12 10:00:47.734 30,0431739		2023-07-12 10:00:47.786 36,0954842		2023-07-12 10:00:47.838 34,730506		2023-07-12 10:00:47.890 31,2618604	
77	2023-07-12 10:00:57.682	10	2023-07-12 10:00:57.682 29,1454835		2023-07-12 10:00:57.734 30,0805515		2023-07-12 10:00:57.786 36,6343217		2023-07-12 10:00:57.838 35,1352689		2023-07-12 10:00:57.890 31,2592981	
78	2023-07-12 10:01:07.682	11	2023-07-12 10:01:07.682 29,0511179		2023-07-12 10:01:07.734 30,1022347		2023-07-12 10:01:07.786 37,1926876		2023-07-12 10:01:07.838 35,5583963		2023-07-12 10:01:07.890 31,2752415	
79	2023-07-12 10:01:17.682	12	2023-07-12 10:01:17.682 28,9552969		2023-07-12 10:01:17.734 30,1198921		2023-07-12 10:01:17.786 37,7684997		2023-07-12 10:01:17.838 35,9987666		2023-07-12 10:01:17.890 31,2711667	
80	2023-07-12 10:01:27.682	13	2023-07-12 10:01:27.682 28,8666148		2023-07-12 10:01:27.734 30,1386168		2023-07-12 10:01:27.786 38,3699966		2023-07-12 10:01:27.838 36,4397117		2023-07-12 10:01:27.890 31,2537761	
81	2023-07-12 10:01:37.682	14	2023-07-12 10:01:37.682 28,7882657		2023-07-12 10:01:37.734 30,1459929		2023-07-12 10:01:37.786 38,9762918		2023-07-12 10:01:37.838 36,8963167		2023-07-12 10:01:37.890 31,2363678	
82	2023-07-12 10:01:47.682	15	2023-07-12 10:01:47.682 28,6738126		2023-07-12 10:01:47.734 30,1394114		2023-07-12 10:01:47.786 39,5921188		2023-07-12 10:01:47.838 37,3489611		2023-07-12 10:01:47.890 31,2613622	
83	2023-07-12 10:01:57.682	16	2023-07-12 10:01:57.682 28,5749087		2023-07-12 10:01:57.734 30,1428029		2023-07-12 10:01:57.786 40,175433		2023-07-12 10:01:57.838 37,7303706		2023-07-12 10:01:57.890 31,2307568	
84	2023-07-12 10:02:07.682	17	2023-07-12 10:02:07.682 28,5233065		2023-07-12 10:02:07.734 30,1591561		2023-07-12 10:02:07.786 40,7472383		2023-07-12 10:02:07.838 38,0656789		2023-07-12 10:02:07.890 31,203829	
85	2023-07-12 10:02:17.682	18	2023-07-12 10:02:17.682 28,499577		2023-07-12 10:02:17.734 30,1771399		2023-07-12 10:02:17.786 41,3257152		2023-07-12 10:02:17.838 38,4037075		2023-07-12 10:02:17.890 31,1692858	
86	2023-07-12 10:02:27.682	19	2023-07-12 10:02:27.682 28,4883642		2023-07-12 10:02:27.734 30,1962504		2023-07-12 10:02:27.786 41,9240768		2023-07-12 10:02:27.838 38,7628081		2023-07-12 10:02:27.890 31,1397073	
87	2023-07-12 10:02:37.682	20	2023-07-12 10:02:37.682 28,4824971		2023-07-12 10:02:37.734 30,2197547		2023-07-12 10:02:37.786 42,5373047		2023-07-12 10:02:37.838 39,1337962		2023-07-12 10:02:37.890 31,0951295	
88	2023-07-12 10:02:47.682	21	2023-07-12 10:02:47.682 28,4842394		2023-07-12 10:02:47.734 30,2436683		2023-07-12 10:02:47.786 43,1562881		2023-07-12 10:02:47.838 39,5284546		2023-07-12 10:02:47.890 31,0636478	
89	2023-07-12 10:02:57.682	22	2023-07-12 10:02:57.682 28,4834986		2023-07-12 10:02:57.734 30,2657321		2023-07-12 10:02:57.786 43,7858764		2023-07-12 10:02:57.838 39,9435628		2023-07-12 10:02:57.890 31,0205182	
90	2023-07-12 10:03:07.682	23	2023-07-12 10:03:07.682 28,4846839		2023-07-12 10:03:07.734 30,300266		2023-07-12 10:03:07.786 44,4238365		2023-07-12 10:03:07.838 40,3675961		2023-07-12 10:03:07.890 30,9970972	
91	2023-07-12 10:03:17.682	24	2023-07-12 10:03:17.682 28,4949662		2023-07-12 10:03:17.734 30,3277972		2023-07-12 10:03:17.786 45,0614421		2023-07-12 10:03:17.838 40,800653		2023-07-12 10:03:17.890 30,9927558	
92	2023-07-12 10:03:27.682	25	2023-07-12 10:03:27.682 28,5010112		2023-07-12 10:03:27.734 30,3629247		2023-07-12 10:03:27.786 45,7027436		2023-07-12 10:03:27.838 41,2508755		2023-07-12 10:03:27.890 30,9983189	
93	2023-07-12 10:03:37.682	26	2023-07-12 10:03:37.682 28,5125559		2023-07-12 10:03:37.734 30,4024466		2023-07-12 10:03:37.786 46,3532307		2023-07-12 10:03:37.838 41,7044192		2023-07-12 10:03:37.890 30,9928981	
94	2023-07-12 10:03:47.682	27	2023-07-12 10:03:47.682 28,5213448		2023-07-12 10:03:47.734 30,4467661		2023-07-12 10:03:47.786 47,0005551		2023-07-12 10:03:47.838 42,1642547		2023-07-12 10:03:47.890 30,9785456	
95	2023-07-12 10:03:57.682	28	2023-07-12 10:03:57.682 28,5307027		2023-07-12 10:03:57.734 30,4855536		2023-07-12 10:03:57.786 47,6491912		2023-07-12 10:03:57.838 42,6384193		2023-07-12 10:03:57.890 30,9728283	
96	2023-07-12 10:04:07.682	29	2023-07-12 10:04:07.682 28,5449797		2023-07-12 10:04:07.734 30,533705		2023-07-12 10:04:07.786 48,3011309		2023-07-12 10:04:07.838 43,1100321		2023-07-12 10:04:07.890 30,9827149	
97	2023-07-12 10:04:17.682	30	2023-07-12 10:04:17.682 28,5610405		2023-07-12 10:04:17.734 30,5812049		2023-07-12 10:04:17.786 48,9490242		2023-07-12 10:04:17.838 43,5757226		2023-07-12 10:04:17.890 31,0089707	
98	2023-07-12 10:04:27.682	31	2023-07-12 10:04:27.682 28,573913		2023-07-12 10:04:27.734 30,6287231		2023-07-12 10:04:27.786 49,5984986		2023-07-12 10:04:27.838 44,0532968		2023-07-12 10:04:27.890 31,0397165	
99	2023-07-12 10:04:37.682	32	2023-07-12 10:04:37.682 28,5836385		2023-07-12 10:04:37.734 30,6781932		2023-07-12 10:04:37.786 50,2568563		2023-07-12 10:04:37.838 44,5310941		2023-07-12 10:04:37.890 31,0664888	
100	2023-07-12 10:04:47.682	33	2023-07-12 10:04:47.682 28,5920128		2023-07-12 10:04:47.734 30,7341636		2023-07-12 10:04:47.786 50,9134407		2023-07-12 10:04:47.838 45,0131407		2023-07-12 10:04:47.890 31,0804206	
101	2023-07-12 10:04:57.682	34	2023-07-12 10:04:57.682 28,5990595		2023-07-12 10:04:57.734 30,7812274		2023-07-12 10:04:57.786 51,5666099		2023-07-12 10:04:57.838 45,4942979		2023-07-12 10:04:57.890 31,0898984	
102	2023-07-12 10:05:07.682	35	2023-07-12 10:05:07.682 28,6083109		2023-07-12 10:05:07.734 30,8343173		2023-07-12 10:05:07.786 52,22279		2023-07-12 10:05:07.838 45,9798853		2023-07-12 10:05:07.890 31,0928579	

Figura 4.4: Vista de las medidas tomadas. Archivo tipo xlsx.

La estructura seguida a la hora de registrar las medidas es la siguiente. La información se visualiza en un sistema de filas y columnas en el que cada columna indica que variable se está tratando. En el caso de las filas, mientras se va avanzando hacia abajo en el documento el tiempo va avanzando, por tanto, cuanto más tiempo dure el ensayo, más filas se generarán.

Hay que tener en cuenta que se toman medidas cada 10 segundos, y un ensayo puede durar en torno a 10 horas. De este modo tendríamos 3600 filas en las que aparecerían los valores de nuestras variables a lo largo de todo el día.

Debido a la longitud de este archivo no va a ser plasmado un archivo por completo en esta memoria y, mucho menos el conjunto de archivos correspondiente a los diferentes ensayos que se han realizado en el laboratorio.

Una vez ya se ha guardado el archivo csv en el ordenador del laboratorio ya se pueden interpretar los resultados, hacer gráficas...

#### 4.3.2. El cuaderno Jupyter. Introducción.

Para interpretar las lecturas de los ensayos diarios, se ha elaborado un programa de lenguaje Python de código abierto gracias a la aplicación Google Colab y los cuadernos Jupyter. Un cuaderno Jupyter es un entorno de lectura y ejecución de código abierto. Es un fichero que cuenta con dos principales funciones: insertar celdas de texto o celdas de código. Es capaz de ejecutar el código insertado en cada celda de código y mostrar los resultados instantáneamente. Por otra parte, las celdas de texto sirven a modo de explicaciones, aclaraciones, detallar con palabras lo que significa una determinada celda de código...

De este modo, los cuadernos Jupyter resultan una perfecta herramienta en estudios de este tipo, en el que texto y código se complementan de manera eficiente para obtener un documento que para un lector resulta considerablemente útil. A la vez que permite entender cada punto que se trata gracias a las celdas de texto, los datos de las celdas de código se pueden alterar y ejecutarlos al momento. Por ejemplo, si hay una celda de código que al ejecutarla muestra una gráfica de cómo avanza a lo largo del tiempo el voltaje de la instalación fotovoltaica, pero el lector únicamente pretende usar 30 medidas (que toman un tiempo de 300 segundos) pero el código insertado usa 50 medidas (500 segundos de medidas en el laboratorio) se puede, sin ningún problema,

editar el código para obtener la gráfica alternativa de cómo evoluciona la tensión de los paneles solares a lo largo de esos 300 segundos.

Para el desarrollador del cuaderno también resulta muy útil (hablando desde mi experiencia), ya que además de permitir la programación, las celdas de texto pueden servir a modo de diario, apunte o recordatorio.

Una vez explicado, resumidamente, cómo funcionan los cuadernos Jupyter se procede a insertar imágenes del cuaderno elaborado para la recepción y manipulación de los datos, a la vez que se explicará el código empleado para tal fin.



Figura 4.5: Interfaz cuadernos Jupyter.

La interfaz es bastante clara y sencilla de entender. En primer lugar, una barra de herramientas en el lateral que permite crear un índice, buscar, filtrar y reemplazar palabras, acceder a las variables que han sido introducidas en celdas de código y por último acceder a los archivos que se han subido al cuaderno, ya sea directamente o a través de drive.

Por otro lado, existe una barra de herramientas superior que contiene las funciones principales de la aplicación: crear un nuevo cuaderno, guardarlo, generar copias de cuadernos, cambiar el nombre del cuaderno, imprimirlo, eliminar celdas de código o texto, crear celdas de código o texto, incluso crear celdas de código temporales, ajustar

el entorno de ejecución del programa, indicar qué celdas se desea que se ejecuten y cuáles no o indicar cuáles se pretende que se ejecuten primero y cuáles en último lugar. Por último, esta barra de herramientas consta de un apartado de ayuda en el que es posible acceder a una sección de preguntas frecuentes o notificar un problema a soporte técnico para ponerle solución.

Sin embargo, las acciones más usadas son las de generar celdas de código o texto, algo que se puede hacer directamente desde los botones “+código” y “+texto”. Y también, haciendo clic en las celdas podemos editarlas: cambiarlas de posición, copiarlas, eliminarlas, realizar comentarios en las celdas e incluso entrar en parámetros de configuración de las celdas más avanzados.

#### 4.3.3. El cuaderno Jupyter. Desarrollo del código de programación.

Una vez están las bases de los cuadernos Jupyter asentadas es momento de explicar el código empleado para la automatización del procesado de lecturas en los ensayos.

Primeramente, es necesario encontrar una manera de que el cuaderno Jupyter acceda al archivo csv en estudio, dicho de otra forma, el cuaderno debe ser capaz de “leer” este archivo de medidas. Una forma de leerlo es insertar el enlace o, simplemente, insertar una imagen de este. La primera manera es acertada, sin embargo, es bastante difícil ser ordenado con tantos enlaces desperdigados por el cuaderno. La segunda forma no es para nada adecuada, ya que hemos visto que los archivos de lecturas de medida son excesivamente extensos. Hay registrados archivos con más de 2000 líneas. Si se tratasen ensayos con 20 líneas, en lugar de 2000, sería una idea por considerar.

Finalmente, se ha optado por crear una carpeta en Google Drive en la que se introduzcan todos los ensayos día tras día. De esta forma, es posible insertar una celda de código en la que se le diga al cuaderno Jupyter que acceda a esta carpeta de Google Drive.

El siguiente código permitirá a este cuaderno jupyter acceder a google drive

```
▶ from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

Mounted at /content/drive
```

Figura 4.6: Llamada del Cuaderno Jupyter a Google Drive

En primera instancia, es necesario acceder a Google Drive, y a continuación a la carpeta adecuada. En la figura 3.6 se muestra el código empleado para realizar la “llamada” a Google Drive para que entre en el cuaderno Jupyter. Una vez se ejecuta ese código hay que aceptar diferentes permisos para darle al cuaderno acceso al Drive.

Antes de indicar cómo acceder a la carpeta de Drive indicada es recomendado importar las librerías “pandas” y “numpy”. No es imprescindible hacerlo tan pronto, pero es recomendable importarlas al principio para no olvidarse de ejecutar el código que las contiene.

La librería “pandas” es muy empleada en el lenguaje Python, ya que permite manipular ficheros de datos. Puede moldearlos, alinearlos y así montarlos en tablas. “Numpy”, a diferencia de la anterior librería, es más orientada a fines matemáticos. Aporta gran variedad de funciones matemáticas, entre ellas, habilitan a agrupar los datos en vectores o matrices.

#### Importamos las librerías panda y numpy

```
[5] import pandas as pd
import numpy as np
```

Figura 4.7: Importar librerías “Pandas” y “Numpy” con los nombres “pd” y ”np”

Una vez las librerías necesarias han sido importadas, es momento de ordenar al cuaderno Jupyter que lea el archivo de medidas indicándole la ruta que debe seguir para encontrarlo. Para ello, en una celda de código, definimos una variable que sea la ruta del archivo en el drive. En este caso el nombre elegido para la variable es “ruta”.

Ahora que hemos accedido a google drive debemos acceder a la carpeta "pruebajupyter", "ENSAYOS\_SUBIR", y la respectiva carpeta con el día del ensayo

```
ruta = '/content/drive/MyDrive/pruebajupyter/ENSAYOS_SUBIR/11_JULIO_SECO/ENSAYO/ARCHIVO.CSV' #leemos el archivo desde drive
pd.set_option('display.max_columns', None) #configuramos para que se vean todas las columnas, no solo unas pocas
pd.set_option('display.width', 80) #vamos variando el ancho de display para que nos aparezcan las columnas agrupadas de dos en dos o cómo queramos

skiprows = 66 #que se lea a partir de la fila 65 (contando la posición 0)
n=10 #que muestre solo 10 primeras medidas de cada columna

medidas=pd.read_csv(ruta, skiprows=skiprows, nrows=n, delimiter=';')

# Enumeramos las columnas empezando desde 0 y le damos el color rojo a los números de la enumeración de columnas
def estilo_enumeracion(col_index, col_nombre):
    return f"\x1b[31m{col_index}.\x1b[0m {col_nombre}"

# Creamos otra hoja de datos que se diferencie de la anterior únicamente en que esta nueva tiene enumeración de color rojo
medidas_2 = pd.DataFrame({estilo_enumeracion(i, col_nombre): medidas[col_nombre] for i, col_nombre in enumerate(medidas.columns)})

# Reemplaza los valores vacíos con una cadena vacía
medidas_2.replace('', inplace=True)

# Muestra el DataFrame con los números de enumeración en rojo y espacios en blanco eliminados
print(medidas_2)
```

Figura 4.8: Código para leer, editar y mostrar las medidas

El código presentado en la figura 3.8 es el que se ha empleado para que, el cuaderno Jupyter una vez ya tiene acceso a Google Drive, sea capaz de leer el archivo y plasmarlo, o mejor dicho imprimirlo, en pantalla junto con algunos requisitos que se detallarán a continuación en la explicación del código, pero con una peculiaridad, ya que está agrupado según la librería pandas. Pandas permite coger un texto separado por comas y pasar de una visualización fastidiosa debido a datos físicamente tan juntos y solo separados por comas a un modo de vista mucho más sencillo y limpio con los datos agrupados por columnas con sus respectivos títulos.

La primera línea de este código sirve para indicar al cuaderno dónde está el archivo que queremos que lea. Únicamente, aparece la ruta del archivo: empezando por Google Drive, pasando por “mis unidades” dentro de Google Drive, carpeta “pruebajupyter” ... Antes de proceder a la lectura y la impresión en pantalla, es recomendable incluso necesario darle unos pequeños cambios al modo de visualización del archivo una vez lo imprimamos en pantalla.

Uno de estos cambios busca que el cuaderno muestre todas las variables, no solo unas pocas, es decir, la visualización por defecto únicamente muestra las cinco primeras variables y las cinco últimas, pero la intención es que muestre todas las variables, es decir todas las columnas. Esto es posible gracias a la función “pd.set.option”. Esta función sirve para modificar aspectos de la visualización del archivo una vez se imprime en pantalla. Dentro de esta función se debe indicar que el cuaderno lea e

imprima todas las columnas con el comando “`display.max_columns`”. A continuación, se emplea la misma función, pero con el comando “`display.width`” para ajustar la anchura del cuadro en el que se imprimen en pantalla los datos. Se ha dado un valor de tal forma que se obtenga en el cuadro de respuesta una columna con el tiempo en el que se toma la medición, a continuación, otra columna con los valores de las variables en cada tiempo y después un salto de línea para repetir el proceso hasta que se completen todas las variables.

Otra función imprescindible es “`skiprows`”, en español “saltar filas”. Para conocer esta función únicamente es necesario recordar que el archivo csv empleando la librería “`pandas`” se divide en filas y columnas. Esta función sirve para que a la hora de imprimir en pantalla se omitan los datos de las filas que se indiquen. En este caso se omiten los datos de las primeras 67 filas (contando desde 0 hasta 66), ya que el valor de las lecturas de los sensores comienza a partir de la fila 67.

En la siguiente línea del código se emplea “`n=10`” para indicar el número de valores que se quiere que se imprima en pantalla una vez demos la orden. Para explicar esto, hay que tener en consideración que se pueden tomar 3000 lecturas de una variable en un mismo día. Esta “`n`” se usa para indicarle al cuaderno que solo imprima las 10 primeras lecturas, es decir, desde que se empieza el ensayo diario hasta 100 segundos después. De este modo no se puede obtener resultados precisos, ya que es muy poco tiempo. Este valor empleado de `n=10` solo se usa para ejemplificar esta función. A la hora de analizar los resultados obtenidos se usarán valores de “`n`” más elevados.

Tras implementar todas estas especificaciones, toca decirle al cuaderno Jupyter que lea el archivo almacenado en la ruta indicada en la variable “`ruta`”. Esto es posible gracias a la función “`pd.read_csv`”. Entre paréntesis se introduce la variable que contiene la ruta del archivo a leer y a continuación todos los cambios en la visualización del archivo que se han indicado previamente. También es necesario indicar el delimitador que se ha empleado en el archivo csv, ya que de normal se sobreentiende que se usa la coma, sin embargo, en los archivos generados en el laboratorio se usa el punto y coma; es necesario hacérselo saber al cuaderno. Así, el cuaderno puede leer el archivo, sin embargo, es necesario almacenar la lectura del archivo en una variable, en este caso, llamada “`medidas`”. Se almacena la lectura del archivo en una variable, ya que es necesario imprimirla en pantalla. De esta forma, la variable “`medidas`” no contine un

número o una frase, la variable “medidas” contiene una gran matriz de valores medidos por sensores y valores de tiempos.

Las dos siguientes líneas del código sirven para, nuevamente, dar un cambio a la visualización del archivo. En este caso, sirve para enumerar los títulos de columnas, comenzando desde 0, es decir, si la columna 1 pertenece a valores de tiempos y la columna 2 pertenece a valores de temperatura, obtendremos en cuanto imprimamos en pantalla el archivo los títulos de columnas con su enumeración. Pero, además, en estas líneas también se le da el color rojo a estos números que marquen la enumeración de los títulos de columnas: **0** tiempos, **1** valores de temperatura.

A continuación, si se imprime en pantalla la variable “medidas”, se obtendría el archivo con todos los cambios implementados, excepto uno, la enumeración de los títulos de columnas en rojo, ya que se ha implementado este cambio después de almacenar la lectura del archivo en la variable “medidas”. Para conseguir imprimir en pantalla el archivo con esta enumeración es necesario crear otra variable: “medidas\_2”. En esta variable se almacena la lectura del archivo como en “medidas” pero, en adición, se tiene la enumeración requerida. Esta variable “medidas\_2” se genera empleando la función `pd.DataFrame`. No se usa “`pd.read_csv`” ya que se parte desde la base que es la variable “medidas” que ya es una variable que almacena una gran matriz, o dicho de mejor forma, un dataframe. Si fuera necesario leer un archivo csv sí usaríamos “`pd.read_csv`” pero ahora hay que leer un dataframe. Entre paréntesis se introduce la variable empleada para enumerar en rojo los títulos de columnas, que se basa en un bucle for para que al inicio de cada columna se enumere en rojo y al finalizar el dataframe se finalice el bucle. En la variable “`col_index`” se usa para indicar que el lugar donde queremos enumerar se sitúa en el título de las columnas, mientras que la variable “`col_nombre`” es el propio número en rojo que tomará un valor u otro (valor “`i`” desde 0 hasta 63) dependiendo qué columna se esté leyendo.

Al imprimir en pantalla el dataframe “medidas\_2” se presentaba una lectura un poco desordenada, ya que había muchos espacios entre el número y el título de columna e incluso muchos espacios antes de aparecer los valores de las variables a medir en cada fila. El comando “`.replace`” se usa acompañado del dataframe “medidas\_2” para eliminar estos espacios innecesarios.

Ahora sí, ya es posible imprimir en pantalla el dataframe “medidas\_2” en el que se obtiene la agrupación de los resultados del ensayo en cada tiempo del día (intervalos de

10 segundos) con todos los cambios implementados que ya han sido mencionados anteriormente.

El resultado obtenido es el siguiente:

0. Scan Sweep Time (Sec)	1. Scan Number \	
0	2023-07-11 10:04:39.548	1
1	2023-07-11 10:04:49.535	2
2	2023-07-11 10:04:59.535	3
3	2023-07-11 10:05:09.535	4
4	2023-07-11 10:05:19.535	5
5	2023-07-11 10:05:29.535	6
6	2023-07-11 10:05:39.535	7
7	2023-07-11 10:05:49.535	8
8	2023-07-11 10:05:59.535	9
9	2023-07-11 10:06:09.535	10

2. 101Time (Sec)	3. 101 (°C)- T_sal_evap \	
0	2023-07-11 10:04:39.548	30,0969161
1	2023-07-11 10:04:49.535	30,0938329
2	2023-07-11 10:04:59.535	30,0943132
3	2023-07-11 10:05:09.535	29,9841733
4	2023-07-11 10:05:19.535	29,7042508
5	2023-07-11 10:05:29.535	29,5545522
6	2023-07-11 10:05:39.535	29,5259305
7	2023-07-11 10:05:49.535	29,5386822
8	2023-07-11 10:05:59.535	29,4937522
9	2023-07-11 10:06:09.535	29,3784806

4. 102Time (Sec)	5. 102 (°C)- T_ent_comp \	
0	2023-07-11 10:04:39.600	29,6523348
1	2023-07-11 10:04:49.587	29,6517538
2	2023-07-11 10:04:59.587	29,6537399
3	2023-07-11 10:05:09.587	29,5819706
4	2023-07-11 10:05:19.587	29,1311388
5	2023-07-11 10:05:29.587	28,7625548
6	2023-07-11 10:05:39.587	28,5194187
7	2023-07-11 10:05:49.587	28,4486753
8	2023-07-11 10:05:59.587	28,4952981
9	2023-07-11 10:06:09.587	28,5810604

Figura 4.9: Impresión en pantalla de las lecturas del ensayo

Esta es la forma de representación de los resultados gracias, en gran parte, a la librería pandas que permite leer y organizar unos datos estructurados en forma de matriz.

La estructura de los resultados es bien sencilla. Las columnas están enumeradas (número en rojo) para una mejor comprensión del lector. Las columnas pares indican el tiempo exacto del día en el que el sensor toma la medida (año, mes, día, hora, minuto y segundo), mientras que las impares indican el valor físico medido. La disposición de los

resultados es tal que, aparecen columna par (con valores de tiempos) junto a la columna impar con los valores físicos que se miden en el momento exacto que indica la columna par. A continuación, se introduce un salto de línea. De este modo, se consigue una estructura muy clara en la que es posible con un simple golpe de vista ver el valor de la magnitud que se quiera en el momento del día que sea.

Como se mencionaba previamente, solo aparecen diez valores en cada columna. Para la visualización de más valores es necesario cambiar el parámetro “n”. Se procederá a aumentarlo para una correcta interpretación de los resultados en el siguiente apartado de este ensayo.

Debido a la excesiva extensión de la hoja de resultados únicamente se ha añadido en este apartado una pequeña visualización de esta (figura 4.9) para mostrar cómo se representa el resultado. En la hoja real no solo aparecen seis columnas, sino que aparecen sesenta y cuatro.

Una vez ya se ha aprendido a programar una imagen en la que se representen todas las lecturas tomadas en los ensayos, es turno de pasar a graficar los resultados, a obtener un código que permita expresar los resultados de forma gráfica.

Por un lado, las gráficas más importantes en este ensayo van a ser las gráficas de líneas que en el eje y contengan valores de las variables medidas en los ensayos, mientras que en el eje x se sitúan los valores de tiempo. Dicho de otra forma, la intención es comprender la evolución de las distintas variables que se miden en los ensayos a lo largo del día.

Para poder dibujar gráficas se necesita llamar a otra librería de la que todavía no se ha hablado.

La librería en cuestión es “matplotlib.pyplot”. Mientras que pandas habilita al usuario a comprender archivos de datos y numpy a agrupar los datos en matrices o vectores, además de aportar una gran variedad de funciones matemáticas, matplotlib.pyplot aporta las funciones necesarias para que sea posible programar un código que trace gráficas matemáticas.

En el siguiente código se llama a la librería matplotlib.pyplot:

```
[ ] import matplotlib.pyplot as plt
```

Figura 4.10: Importar librería “matplotlib.pyplot” con el nombre “plt”

Ahora sí, se procede a mostrar el código con el que se trazan las gráficas de líneas que estudian variables a lo largo del tiempo:

```
x_columna_index = 2 # Índice de la columna 2
y_columna_index_1 = 17 # Índice de la columna 17
y_columna_index_2 = 23 # Índice de la columna 23

medidas_2_1 = [] # Definimos lista vacía para los valores de voltaje de red convertidos a float
medidas_2_2 = [] # Definimos lista vacía para los valores de voltaje del panel fotovoltaico convertidos a float
medidas_2_voltaje_red = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_1].values # Valores de voltaje de red de medidas_2
medidas_2_voltaje_pv = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_2].values # Valores de voltaje del panel fotovoltaico de medidas_2
for i in range(0, len(medidas_2_voltaje_red)): # Recorremos medidas_2_voltaje_red de principio a fin
    medidas_2_1.append(float(medidas_2_voltaje_red[i].replace(',','.'))) # Para cada valor de medidas_2_voltaje_red, hacemos conversión a float
for i in range(0, len(medidas_2_voltaje_pv)): # Recorremos medidas_2_voltaje_pv de principio a fin
    medidas_2_2.append(float(medidas_2_voltaje_pv[i].replace(',','.'))) # Para cada valor de medidas_2_voltaje_pv, hacemos conversión a float y

x_columna_valores = medidas_2.iloc[:, x_columna_index].values # Valores para el eje X
y_columna_valores_1 = medidas_2_1 # Valores para el primer eje Y (Columna 17)
y_columna_valores_2 = medidas_2_2 # Valores para el segundo eje Y (Columna 23)

plt.plot(x_columna_valores, y_columna_valores_1, label='Voltaje red')
plt.plot(x_columna_valores, y_columna_valores_2, label='Voltaje PV')
plt.xlabel("Valores de la Columna 2")
plt.ylabel("Valores de las Columnas 17 y 23")
plt.title("Gráfico de Líneas Descendente")
plt.legend()
plt.xticks(rotation=45)

plt.show()
```

Figura 4.11: Código para trazar gráficas.

Como es perceptible a primera vista, la dificultad aumenta. El presente código resulta más complicado, ya que algunos valores de las medidas tomadas el cuaderno Jupyter no los trata como números, los trata como variables de texto y es imprescindible que el cuaderno los trate como números, más concretamente, números decimales para que al trazar las gráficas el cuaderno sepa exactamente cuál es su valor y no trate la variable como texto.

Otro aspecto que destacar en la figura 3.11 es que el código que en ella se muestra sirve para representar dos funciones evolucionando a lo largo del tiempo. A la hora de interpretar los resultados no siempre interesará representar dos funciones; en ocasiones será más interesante representar solo una función y en otros casos tres o más funciones o variables. Sin embargo, se considera que resulta una explicación más completa y sólida poniendo por ejemplo el trazado de una gráfica con dos funciones.

Se procede a explicar el código. Las tres primeras líneas hacen referencia a qué variables se quiere que entren en la gráfica. En el ejemplo puesto, en el eje x se van a introducir los valores de la columna 2 del dataframe `medidas_2`, es decir, valores de tiempo (en realidad todas las columnas pares dan los mismos valores de tiempo, ya que se toman medidas cada diez segundos), mientras que en el eje y se van a representar los valores de las columnas 17 y 23 del dataframe. Estas hacen referencia a las variables “voltaje de red” y “voltaje de la instalación fotovoltaica”. Es apreciable que al imprimir en pantalla el dataframe `medidas_2` las columnas aparecen enumeradas, y justamente, la columna 17 pertenece a valores de voltaje de red, mientras que la columna 23 incluye valores de tensión de la instalación fotovoltaica. Solo cambiando en el código el valor dado a las variables “`x_columna_index`”, “`y_columna_index_1`” y “`y_columna_index_2`” se puede pasar de introducir unas variables en la gráfica a introducir otras distintas. Por ejemplo, si a la variable “`y_columna_index_1`” se le diera el valor 21, en lugar del 17, ya no aparecería en la gráfica la columna de valores de tensión eléctrica de red, sino que se mostrarían los valores de la columna de medidas de intensidad de corriente generada por la instalación fotovoltaica.

A continuación, en el código aparecen 2 líneas dedicadas a crear otras dos variables “`medidas_2_1`” y “`medidas_2_2`” pero esta vez no son simples números, sino que van a ser cadenas de números decimales. Para explicarlo más detalladamente, hay que recordar que un error que se detectó en la elaboración y ejecución del código fue que el cuaderno no consideraba las medidas tomadas como números sino como texto. Para arreglarlo se han creado estas variables en forma de cadena. En las siguientes líneas de código se pretende convertir las medidas tomadas de texto a número decimal (más conocido en lenguaje de programación como “float”) y una vez estén convertidas a número se añadan a las variables cadena “`medidas_2_1`” y “`medidas_2_2`” para poder ser representadas. Esa es la finalidad de estas dos variables. En este primer momento, que hemos definido las variables, las cadenas están vacías.

Después de definir estas variables cadenas toca crear otro par de variables: “`medidas_2_voltaje_red`” y “`medidas_2_voltaje_pv`” (en caso de tratar con otras medidas se puede cambiar el nombre de las variables). Estas dos variables vuelven a ser cadenas, aunque esta vez son cadenas que van a recoger cada lectura de los sensores. Por ejemplo, tomando el código usado:

```
medidas_2_voltaje_red = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_1].values
```

En la variable “`medidas_2_voltaje_red`” se guardarán todas las lecturas de voltaje de red que se han registrado previamente en el dataframe “`medidas_2`”, es decir, las lecturas de

la columna 17, que aparentemente son números, pero el cuaderno Jupyter los trata como texto. Estos valores una vez se conviertan a número pasarán a formar parte de la primera función que entrará en la gráfica que se pretende trazar.

La posición en la que uno se encuentra en este momento es con dos cadenas vacías “medidas\_2\_1” y “medidas\_2\_2” esperando a recibir números decimales, y, por otro lado, otro par de cadenas que no están vacías: “medidas\_2\_voltaje\_red” y “medidas\_2\_voltaje\_pv”. Estas últimas son cadenas o strings formadas por texto, específicamente, los valores de voltaje de red y voltaje de la instalación fotovoltaica guardados en el dataframe “medidas\_2”, pero tratados como texto.

Para convertir este texto en números decimales hay que visualizar las siguientes líneas de código.

```
for i in range(0, len(medidas_2_voltaje_red))
medidas_2_1.append(float(medidas_2_voltaje_red[i].replace(',', ' ',
'. ')))
```

Estas líneas son las que convierten el texto en números decimales. Se emplea un bucle “for” para recorrer de principio a fin el string “medidas\_2\_voltaje\_red” (o en el otro caso “medidas\_2\_voltaje\_pv”). A medida que el bucle for va recorriendo el string (el valor que tome el contador “i” que variará desde 0 hasta el total de medidas de voltaje que tomamos en el dataframe “medidas\_2” indicará en qué posición del string “medidas\_2\_voltaje\_red se encuentra el bucle) se utilizará la función “.append” para seleccionar el texto que haya en la posición “i” del string “medidas\_2\_voltaje\_red”, convertir ese texto a número decimal y añadirlo a la cadena vacía “medidas\_2\_1”. Conforme vaya avanzando el bucle (o vaya avanzando el contador “i”) la cadena, en un principio vacía, “medidas\_2\_1” se irá rellenando con las lecturas de los sensores esta vez en formato número decimal, ya no texto.

La función “.replace” es crucial para cambiar el formato de texto a decimal, ya que el cuaderno Jupyter interpreta como número decimal si tenemos el signo de puntuación “.” como separador decimal.

Ahora que ya se tienen todas las variables auxiliares con cadenas de números decimales, se puede empezar a definir la gráfica.

Las tres siguientes líneas del código son necesarias para definir los ejes. Los valores del eje y ya son bastante claros porque son los valores de las cadenas “medidas\_2\_1” y

“medidas\_2\_2”, sin embargo, hay que recoger los valores de tiempo que queremos exponer en la gráfica en una variable.

Para ello se definen las variables strings “x\_columna\_valores”, “y\_columna\_valores\_1” y “y\_columna\_valores\_2”. Estas dos últimas van a estar formadas por los valores de las cadenas o strings “medidas\_2\_1” y “medidas\_2\_2”, por lo que podemos igualar “y\_columna\_valores\_1” a “medidas\_2\_1” e igualar “y\_columna\_valores\_2” a “medidas\_2\_2”.

El caso es distinto cuando hay que indicar que valores se deben colocar en el eje x. Ya se había indicado al inicio del código de la figura 3.11 que los valores que se pretendían usar son los de la columna 2 del dataframe “medidas\_2”.

```
x_columna_index = 2
```

Sin embargo, solo dándole a la variable “x\_columna\_index” no se consigue plasmar en la gráfica los valores de tiempo que aparecen en la columna 2 del dataframe “medidas\_2”.

Para conseguir ello, hay que crear una variable previa a la construcción de la gráfica. Es la variable mencionada previamente que queda por detallar: “x\_columna\_valores”

```
x_columna_valores = medidas_2.iloc[:, x_columna_index].values
```

Este fragmento de código sirve para crear una variable string “x\_columna\_valores” y rellenarla con los valores que aparezcan en la columna 2 del dataframe “medidas\_2” (si le hubiéramos dado a la variable “x\_columna\_index” el valor 4, por ejemplo, se habría llenado el string “x\_columna\_valores” con los valores de la columna 4).

Las dos siguientes líneas del código son expresamente para dibujar la gráfica.

```
plt.plot(x_columna_valores, y_columna_valores_1, label='Voltaje  
red')  
plt.plot(x_columna_valores, y_columna_valores_2, label='Voltaje  
PV')
```

La función “plot” de la librería “matplotlib.pyplot” habilita al usuario a la construcción de gráficas. Dentro del paréntesis de la función “plot” se coloca, en primer lugar, los valores que se pretenden usar en el eje x, en este caso se escribe la variable string “x\_columna\_valores”, ya que es una cadena que contiene los valores de la columna 2 del dataframe “medidas\_2”, lo que es lo mismo, los valores de tiempo que se pretenden plasmar en el eje x. En segundo lugar, se coloca el string “y\_columna\_valores\_1”,

variable que contiene los valores de la columna 17 del dataframe “medidas\_2” convertidos de texto a número decimal (float). Por último, con el comando “label” escribimos el título de la función, en este caso “label=” Voltaje de red””. Como la intención es representar también el voltaje de la instalación fotovoltaica se repite de nuevo la función “plot” pero, esta vez introduciendo en el segundo espacio del paréntesis el string “y\_columna\_valores\_2”, ya que es la variable que contiene los valores numéricos de voltaje de la instalación fotovoltaica y cambiando el título de la función a “Voltaje PV”.

Las siguientes líneas están destinadas a retocar la gráfica.

Las funciones “plt.xlabel” y “plt.ylabel” sirven para dar el título que uno quiera al eje x y al eje y, respectivamente.

La función siguiente, “plt.title”, como indica su nombre sirve para darle un título a la gráfica.

A continuación, plt.legend es empleada para ubicar una leyenda en la gráfica trazada con los nombres impuestos a las funciones, en este caso, “Voltaje de red” y “Voltaje PV”.

La penúltima, “plt.xticks(rotation)” sirve para rotar los valores físicos que aparecen en el eje x, ya que como son valores de tiempo extensos (año, mes, día, hora, minuto y segundo) se rota para una mejor visualización. La variable “plt.yticks” se usaría para modificar la apariencia de los valores del eje y.

Por último, “plt.show” dibuja o imprime en pantalla la gráfica que desde el principio del código se ha estado elaborando”. El resultado mostrado es el siguiente:

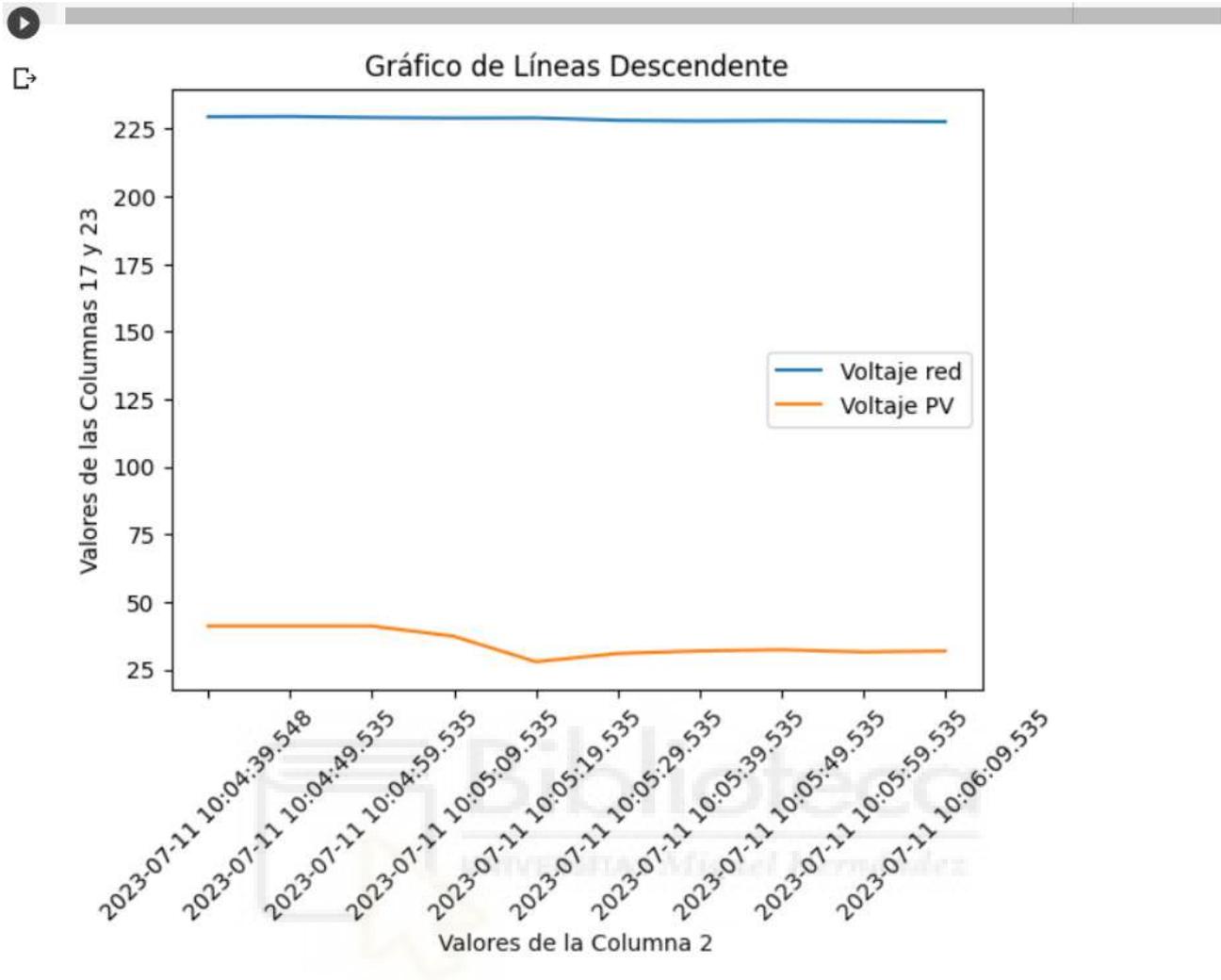


Figura 4.12: Ejemplo de gráfica de líneas trazada con cuaderno Jupyter.

Este es un claro ejemplo de gráfica que podemos trazar con los cuadernos Jupyter. Se presenta este ejemplo con leyenda, título de gráfica y título en los ejes, pero la gráfica está sujeta a los cambios que desee el usuario como, por ejemplo, el cambio de color de la línea que representa la evolución del voltaje de red y el voltaje de red (en este caso porque son las variables representadas) a lo largo del tiempo en los ensayos diarios del laboratorio.

Se puede realizar un adelanto al apartado 5 de esta memoria en el que se analizan los resultados y estudiar por encima esta gráfica, y de paso, analizar si es posible obtener conclusiones con los datos representados, el número de datos representados y las variables representadas.

Primeramente, las variables que intervienen en la gráfica tienen sentido que vayan juntas, es decir, puede ser importante medir la evolución del voltaje, tanto de red, como la instalación fotovoltaica para comprobar que a lo largo del día no se producen caídas de tensión inesperadas o sobretensiones dañinas. Los motivos pueden ser de lo más variados.

Sin embargo, observando el eje x, en concreto el primer y último valor, uno se puede dar cuenta fácilmente que este estudio solo se está llevando a cabo en un intervalo de un minuto y medio, desde las 10:04 de la mañana hasta las 10:06. Se están perdiendo los datos que fácilmente se pueden estar tomando en el laboratorio hasta las 20:00, por ejemplo. Es más correcto realizar un estudio, si bien no completo, que abarque más horas al día.

Otro aspecto negativo a resaltar en la elaboración de esta gráfica en específico es introducir las variables voltaje de red y voltaje de la instalación fotovoltaica juntos, ya que las variaciones que tienen a lo largo del tiempo suelen ser despreciables (exceptuando sobretensiones y caídas de tensión) y cómo el voltaje de red ronda los 230 Voltios y la tensión eléctrica de la instalación fotovoltaica varía entre los 25 y 50 Voltios (en esta gráfica) no se pueden apreciar las pequeñas variaciones que se produzcan, sobre todo, observando que el eje y varía desde 25 hasta 225.

Además, puede ser interesante realizar otro tipo de gráficas para no usar siempre líneas que representen a la función, se pueden emplear gráficos de barras. Para sustituir las líneas por las barras únicamente hay que cambiar la función empleada para plotear las gráficas. Para trazar las gráficas de líneas se usa la función “plt.plot”, ahora, para dibujar gráficos de barras, se debe emplear la función “plt.bar”.

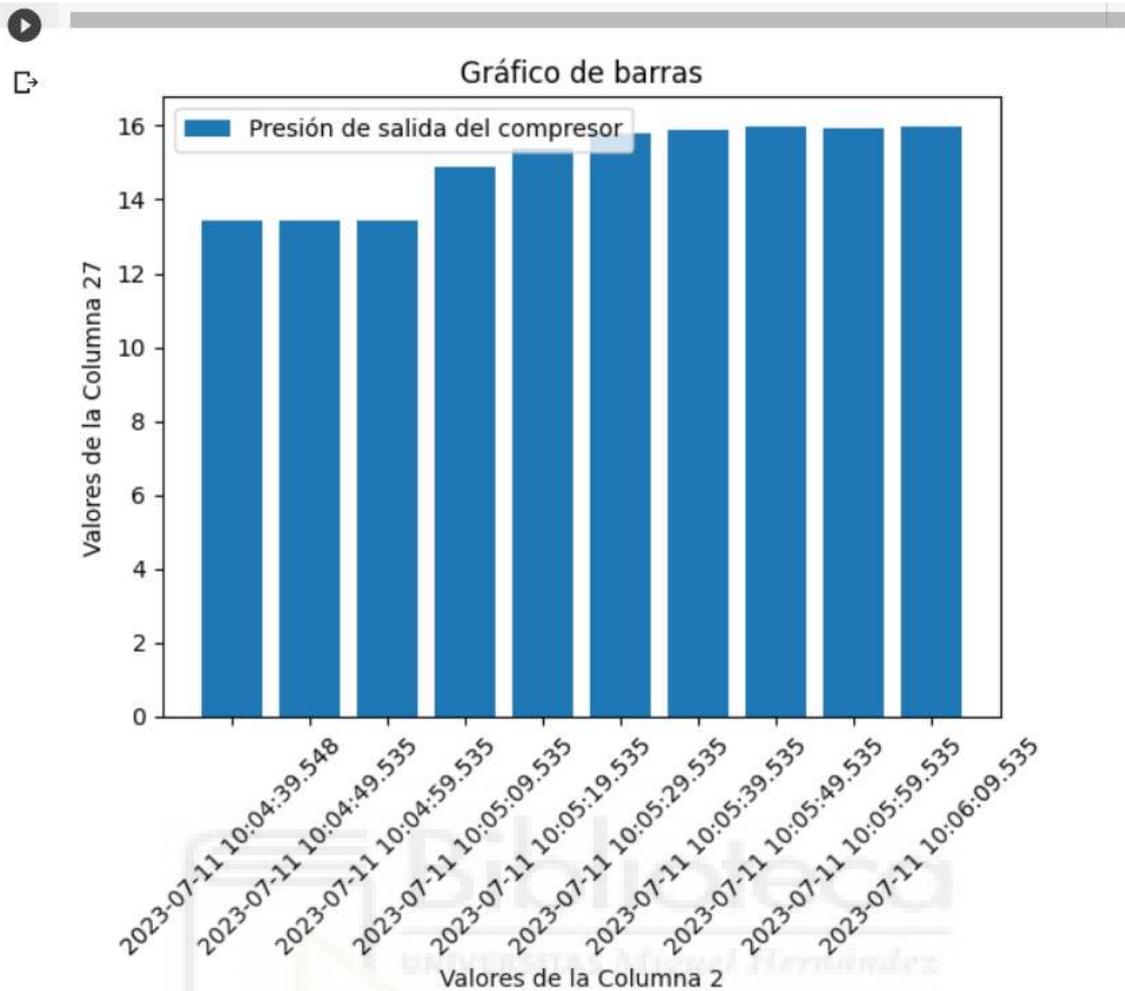


Figura 4.13: Ejemplo de gráfica de barras trazada con cuaderno Jupyter

Al fin y al cabo, la información representada es la misma, independientemente si se trata como líneas o como barras, simplemente es por diversificar el estilo, ya que se van a representar numerosas gráficas en esta memoria. Otro factor de estilo a destacar es el cambio de fondo. Es posible implantar gráficas, pero esta vez con fondo oscuro, en lugar de fondo blanco.

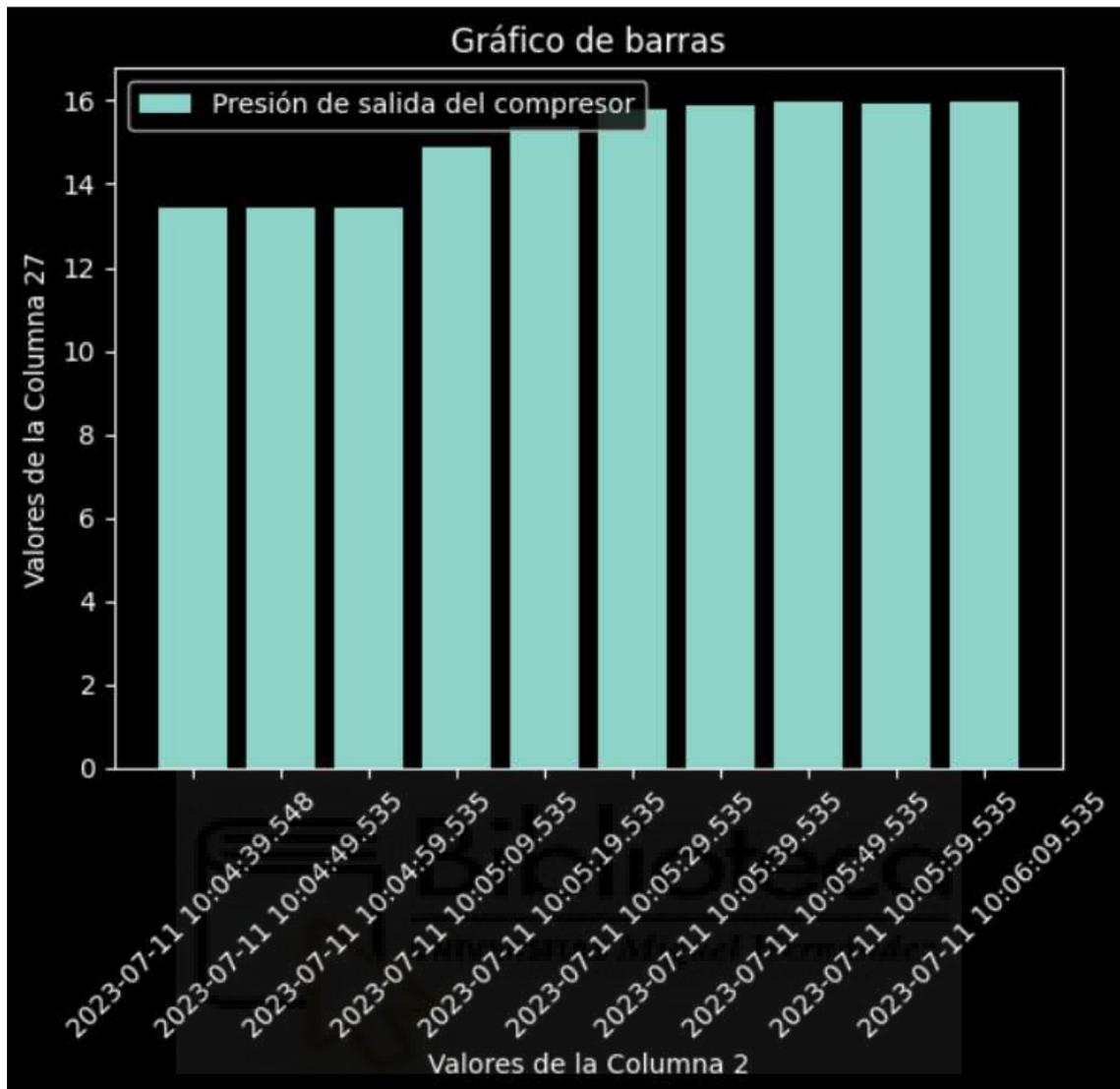


Figura 4.14: Ejemplo de gráfico de barras trazado en fondo oscuro

Para cambiar el fondo únicamente es necesario aplicar una función: “plt.style.use”, función habilitada gracias a la librería “matplotlib.pyplot”. Escribiendo la siguiente línea de código es posible aplicar el fondo oscuro

```
plt.style.use('dark_background')
```

También puede resultar útil saber cambiar el color con el que aparecen las barras o las líneas en la gráfica. Dentro de la función empleada para dibujar las gráficas de barras o líneas “plt.bar” o “plt.plot”, respectivamente, escribiendo: “color=’red’” las barras o líneas pasarán a ser de color rojo.

En este estudio, además, para obtener el valor final de eficiencia energética ha sido necesario extraer valores como puede ser el valor medio de ciertas variables para el

cálculo del valor de EER. Para ello, una vez se ha ejecutado la celda de código que te muestra en pantalla todas las lecturas y en la que se asigna cada variable a un número, el cálculo del valor medio, mínimo y máximo es inmediato:

```
promedio_v_red = np.mean(medidas_2_1)
max_v_red=np.max(medidas_2_1)
min_v_red=np.min(medidas_2_1)
print("Valor medio de tensión de red", promedio_v_red)
print("Valor máximo de tensión de red", max_v_red)
print("Valor mínimo de tensión de red", min_v_red)
```

Figura 4.15: Código para la obtención de valores medios, máximos y mínimos.

Como conclusión, hay que destacar que este procedimiento, referente a la elaboración del código, ha sido el seguido para la obtención de resultados: importación de las librerías necesarias, acceso a Google Drive, guardar la ruta del archivo csv pertinente, leer el archivo, imprimirlo en pantalla ajustando el número de medidas que se quiere ver, la elaboración de las gráficas y, finalmente la extracción de valores medios, mínimos y máximos.

Una vez se ha aprendido a programar la recopilación de datos en cuadernos Jupyter se pueden analizar los resultados.

#### 4.3.4. Ejemplos prácticos.

Antes de entrar a hablar de cada ensayo en particular, es conveniente detallar mediante casos prácticos las ventajas que una aplicación como el cuaderno Jupyter puede aportar a una investigación de este tipo.

Al ser un entorno de programación basado en código, específicamente, código abierto es fácil alterar el programa en caso de querer cambiar algún parámetro o modo de representar los resultados.

Este subapartado tiene como objetivo mostrar cómo resolver de forma fácil obstáculos o problemas que pueden surgir a la hora de interpretar o analizar resultados usando otras aplicaciones como Excel, como bien se ha explicado en el apartado de objetivos.

#### 4.3.4.1. Ejemplo práctico 1: Introducción de una nueva variable

Este es uno de los casos que pueden resultar más frecuentes en un proyecto de investigación de este tipo. Puede ponerse por ejemplo el caso de una sonda inhabilitada por mal funcionamiento, mantenimiento etc. La sonda sí está vinculada a la unidad de adquisición de datos, pero al comienzo de la investigación no se pueden tomar valores porque el medidor no funciona.

También se puede dar el caso de adquirir una nueva sonda a mitad de investigación que no ha estado vinculada a la unidad de adquisición de datos.

La intención es que a partir de que se repare o se adquiera la nueva sonda la visualización e interpretación de datos sea inmediata, es decir, si el 1 de enero comienza el estudio y el 1 de febrero se implementa un nuevo sensor, la intención es que desde el mismo día 1 de febrero sea posible visualizar en el cuaderno Jupyter la lectura de la sonda y graficar sus valores de la forma más sencilla y rápida posible. Empleando Excel para introducir los valores lleva su tiempo, ya que son más de 3000 lecturas por ensayo y resultaría muy tedioso hacer las gráficas a mano y además se debería averiguar cómo varía la eficiencia final con esta nueva variable. Tener que hacer todo a mano durante muchos días que puede durar el estudio y con todas las variables que intervienen es inviable e ineficiente. Con una aplicación de código abierto como es el cuaderno Jupyter todo esto se resume a un clic. El programa que se ha desarrollado en este proyecto es capaz de leer el archivo csv e introducir las lecturas de todas las variables que se muestren en él, es decir, en el momento que se introduzca una nueva variable, el cuaderno Jupyter va a ser capaz de mostrar las lecturas de esta nueva sonda únicamente ejecutando la secuencia de código que se encarga de mostrar en pantalla las lecturas de las sondas. Solo con un clic o pulsando una tecla.

```
ruta = '/content/drive/MyDrive/pruebajupyter/ENSAYOS_SUBIR/1_AGOSTO_ATOM/ENSAYO/ARCHIVO.CSV'  
medidas=pd.read_csv(ruta, skiprows=skiprows, nrows=n, delimiter=';')
```

Figura 4.16: Lectura del archivo csv

Este fragmento de código, en primer lugar, crea una variable “ruta” para dar la dirección al cuaderno Jupyter del archivo csv. Una vez el cuaderno Jupyter tiene acceso a drive y sabe en qué dirección se encuentra el archivo csv se usa la orden “pd.read\_csv” para leer el archivo csv y almacenar todo lo que ha leído en la variable “medidas”.

Con esto se pretende especificar que el programa es muy flexible a la hora de introducir variables nuevas, porque el programa no detecta unas variables que aparecen en el csv y muestra los resultados, el programa lee y muestra toda la información que aparece en el csv, por tanto, en el caso de implementar otra variable vinculada a la unidad de adquisición de datos va a aparecer junto a sus medidas en el archivo csv y, por tanto, se mostrará en el cuaderno Jupyter.

A la hora de realizar gráficas también es instantáneo el hecho de implementar variables y visualizar los resultados el mismo día. Únicamente hay que cambiar un número. El código para dibujar gráficas se ha mostrado antes, pero en este momento, es necesario destacar cómo es que el cuaderno Jupyter sabe qué variable tiene que graficar y en qué eje x o y.

```
x_columna_index = 41  
y_columna_index = 57
```

Figura 4.17: Asignación de variables a ejes “x” e “y”

Los números que aparecen en la figura “41” y “57” hacen referencia a las variables que se pretende que se visualicen en el eje x y en el eje y, respectivamente. Para que esta correspondencia sea posible, a la hora de imprimir las lecturas de las sondas en pantalla (en el fragmento de código anterior) a las variables se le asignaron un número (número que aparece en rojo justo antes del nombre asignado a la variable). De este modo, a la hora de implementar una nueva sonda, se le asignará un número a esta variable. Para poder graficarla en el eje y, por ejemplo, únicamente hay que cambiar el número 41 (que es el número asignado a la humedad ambiental) por el nuevo número, que en este caso sería el 67).

#### 4.3.4.2. Ejemplo práctico 2: Cálculo y seguimiento de EER con cuaderno Jupyter

En caso de querer llevar un seguimiento del dato de eficiencia energética en cada ensayo, algo que es lógico en estudios de este tipo es posible realizarlo gracias a Google Colab.

Para realizar esto es necesario programar en el cuaderno Jupyter el procedimiento de cálculo de la eficiencia energética en cada ensayo. Una vez se programe esta secuencia

de código es posible almacenar el valor de eficiencia energética del ensayo en una variable cadena. A medida que avancen los ensayos es posible ampliar esta cadena.

Finalmente, obtendremos una variable cadena que se dispondrá en una gráfica que muestre en el eje x el avance de los ensayos (ensayo 1, ensayo 2, ensayo 3...).

De este modo es fácil llevar un seguimiento del dato de eficiencia energética logrado en cada ensayo.

La realización de la gráfica es idéntica a la explicada previamente, únicamente tratamos con variables diferentes. Por un lado, en el eje y se muestran los porcentajes de eficiencia en cada ensayo, mientras que en el eje x aparecen las fechas de los ensayos pertinentes.

```
#Definimos variables vacías
promedio_v_red = np.mean(medidas_2_1)
promedio_v_pv = np.mean(medidas_2_2)
promedio_i_red = np.mean(medidas_2_3)
promedio_i_pv = np.mean(medidas_2_4)
promedio_T_sal_comp = np.mean(medidas_2_5)
promedio_P_desc_comp = np.mean(medidas_2_6)
promedio_T_ent_comp = np.mean(medidas_2_7)
promedio_P_asp_comp = np.mean(medidas_2_8)
promedio_T_ent_evap = np.mean(medidas_2_9)
promedio_P_sal_valv = np.mean(medidas_2_10)
```

Figura 4.18: Valores promedio auxiliares necesarios

Como se aprecia en la imagen, es necesario calcular el valor promedio de ciertas variables de intensidad, tensión, temperatura etc. La función “np.mean” que se incluye en la librería “numpy” sirve para calcular el valor promedio de variables. En este caso, se desea calcular el valor medio de las variables “medidas\_2\_1”, “medidas\_2\_2” ...

Como ya se ha visto previamente, en esas variables cadena almacenamos, por ejemplo, todos los valores de tensión eléctrica de red de un ensayo válido. A partir de estos valores será posible obtener tanto la potencia de entrada como la potencia de salida del equipo. La relación entre estas dos magnitudes conforma el valor de eficiencia energética del equipo.

```

medidas_2_var1 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_1].values
medidas_2_var2 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_2].values
medidas_2_var3 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_3].values
medidas_2_var4 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_4].values
medidas_2_var5 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_5].values
medidas_2_var6 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_6].values
medidas_2_var7 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_7].values
medidas_2_var8 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_8].values
medidas_2_var9 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_9].values
medidas_2_var10 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_10].values

for i in range(0, len(medidas_2_var1)):
    medidas_2_1.append(float(medidas_2_var1[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var2)):
    medidas_2_2.append(float(medidas_2_var2[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var3)):
    medidas_2_3.append(float(medidas_2_var3[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var4)):
    medidas_2_4.append(float(medidas_2_var4[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var5)):
    medidas_2_5.append(float(medidas_2_var5[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var6)):
    medidas_2_6.append(float(medidas_2_var6[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var7)):
    medidas_2_7.append(float(medidas_2_var7[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var8)):
    medidas_2_8.append(float(medidas_2_var8[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var9)):
    medidas_2_9.append(float(medidas_2_var9[i].replace(',', '.')))
for i in range(0, len(medidas_2_var10)):
    medidas_2_10.append(float(medidas_2_var10[i].replace(',', '.')))

```

Figura 4.19: Construyendo variables cadena

Siguiendo el ejemplo de rellenar una variable cadena con los datos de tensión eléctrica, es cierto que, en un primer lugar, estas lecturas de voltaje del ensayo se almacenan en las variables “medidas\_2\_var1”, “medidas\_2\_var2” etc. Sin embargo, el formato no es correcto, es decir, las lecturas del formato .csv están en formato de texto. Es necesario pasarlas a formato numérico. Para ello se crea otra variable “medidas\_2\_1”, “medidas\_2\_2” etc. En las primeras variables creadas “medidas\_2\_var1”, “medidas\_2\_var2” se almacenan las lecturas de tensión en formato texto, mientras que “medidas\_2\_1”, “medidas\_2\_2” ... se guardan los datos de tensión, pero convertidos ya a formato numérico.

Como ya se han calculado los valores promedio de tensión e intensidad es posible, a través de ellos, calcular la potencia de entrada y a la vez, teniendo los valores promedio de temperatura y presión, es posible obtener todos los valores de entalpía del ciclo para conocer el caudal de refrigerante y la potencia de salida. Los valores de entalpía se consiguen gracias a la librería “CoolProp”. En el apartado 5.1 de Análisis Matemático se explicará cómo se relacionan tensión e intensidad para hallar la potencia del compresor y cómo afecta el caudal de refrigerante o las entalpías en la potencia de salida.

Antes de calcular potencia de entrada y salida se expone a continuación cómo calcular las entalpías en un estado termodinámico:

```
import CoolProp.CoolProp as CP

# Componentes del R410A y sus fracciones molares
componentes = ['R32', 'R125']
fracciones_molares = [0.5, 0.497]

# Especifica la presión y la temperatura
presion = 9.48 # en atmósferas
temperatura = 19.89 # en grados Celsius

# Inicializa las entalpías de los componentes
entalpia_r32 = CP.PropsSI('H', 'T', temperatura + 273.15, 'P', presion * 101325, 'R32')
entalpia_r125 = CP.PropsSI('H', 'T', temperatura + 273.15, 'P', presion * 101325, 'R125')

# Calcula la entalpía de la mezcla
entalpia_1 = fracciones_molares[0] * entalpia_r32 + fracciones_molares[1] * entalpia_r125

print(f"Entalpía de R410A a {presion} atm y {temperatura} °C: {entalpia_1} J/mol")
```

Entalpía de R410A a 9.48 atm y 19.89 °C: 438848.5608668447 J/mol

Figura 4.20: Obtención de entalpías con cuaderno jupyter

Es importante destacar que los valores de presión y temperatura ya están almacenados en las variables como se ha explicado en el anterior apartado, sin embargo, en esta imagen, al servir de explicación para el lector se han creado unas nuevas variables llamadas “presión” y “temperatura” para facilitar la comprensión.

Esta librería no incluye el refrigerante R410A, pero sí los dos componentes que lo conforman, el R32 y R125. De este modo, sí es posible obtener el valor de entalpía del estado que sea necesario, solo conociendo los valores de presión y temperatura.

Habiendo obtenido ya los valores medios necesarios (voltaje, temperatura, presiones, corrientes...) y calculado las entalpías de los estados del ciclo frigorífico, por lo que es posible calcular cualquier parámetro de funcionamiento de la instalación. Por ejemplo, a continuación, se calcula el valor de la potencia eléctrica total consumida por el equipo de aire acondicionado.

```
[ ] #Una vez obtenido el promedio de las variables obtenemos potencia de entrada contando con el factor de potencia del equipo
cos_phi=1
potencia_entrada=(promedio_v_red*promedio_i_red*cos_phi)+(promedio_v_pv*promedio_i_pv)
print("Valor de potencia de entrada", potencia_entrada)
```

Figura 4.21: Obtención del valor de potencia de entrada

La potencia térmica del equipo, en modo refrigeración se calcula con el caudal másico de refrigerante, a su vez este es calculado con la potencia del compresor, que es un dato que es posible conocer. A través de esta potencia del compresor y los valores de entalpía del ciclo es posible calcular el caudal másico y la potencia térmica. Este dato de potencia se calcula como el producto de la energía intercambiada en el evaporador por el flujo másico de refrigerante:

```
P_compresor=0.8302*P_entrada
rend_mec=0.93
caudal_ref=((P_compresor*rend_mec)/(h2-h1))
P_salida=caudal_ref*(h1_1-h3)

print("El valor de potencia del compresor es", P_compresor)
print("El caudal de refrigerante empleado es de", caudal_ref)
print("El valor de potencia de salida es", P_salida)
```

Figura 4.22: Obtención de la potencia del compresor, caudal de refrigerante y potencia térmica de refrigeración.

La relación entre potencia térmica útil de refrigeración y potencia de entrada da como resultado la eficiencia energética. Únicamente es necesario dividir estos dos valores para obtener el EER.

Al obtener este valor de eficiencia energética, únicamente es necesario crear una variable cadena con los resultados de eficiencia energética obtenidos en cada ensayo para poder representar gráficamente los valores de EER en cada día ensayado:

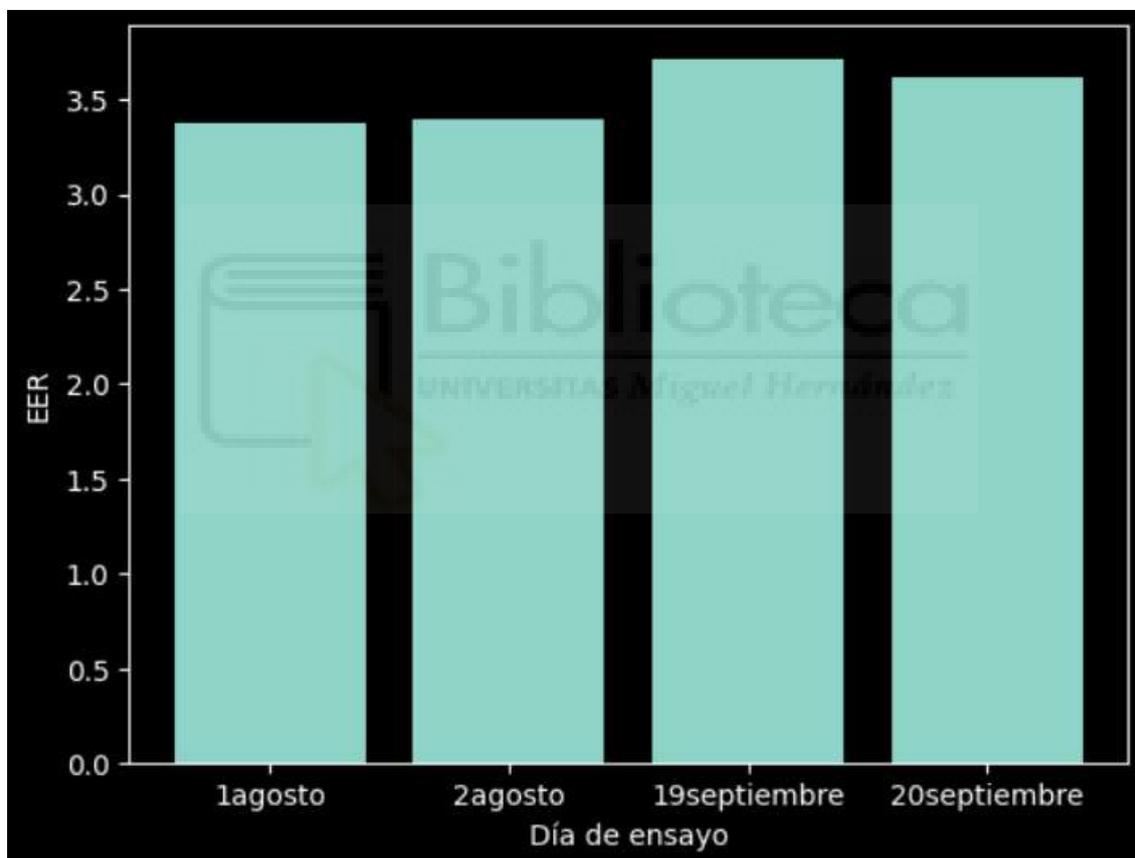


Figura 4.23: Gráfica de barras seguimiento de eficiencia energética

Se han representado los cuatro primeros días en los que se han tomado ensayos satisfactorios para mostrar el seguimiento de la eficiencia energética. Claro está, el gráfico de barras no es el único gráfico que se puede emplear; también pueden usarse gráficos de líneas, puntos etc.

Para el gráfico de líneas hay que emplear la función “plt.plot”, para emplear el gráfico de barras la instrucción a escribir es “plt.bar” y para usar un gráfico de puntos se introduce “plt.scatter”.



Figura 4.24: Gráfico de puntos de seguimiento de eficiencia energética.

#### 4.3.4.3. Ejemplo práctico 3: Filtrado de lecturas y detección de desviación en los ensayos.

En muchas ocasiones, puede resultar interesante estudiar un conjunto de lecturas obtenidas de un ensayo en las que el valor estudiado no se desvíe un porcentaje determinado respecto al valor inicial de este conjunto.

Este caso puede darse, por ejemplo, con la variable de humedad relativa ambiental, una de las variables medidas por las sondas de este estudio. Puede haber momentos del día en los que la humedad se sitúa cerca del 70% y en las primeras horas de la tarde esta puede bajar hasta el 30% o el 20% en los casos más extremos. A la hora de analizar los resultados obtenidos a partir de un ensayo no es posible extraer conclusiones adecuadas

si un valor de partida como puede ser el de humedad ambiental fluctúa tanto a lo largo del día. Para solucionar este caso, se propone este ejemplo práctico.

Se pone por ejemplo el ensayo tomado el día 1 de agosto y tomando como referencia un valor determinado de la variable “HRAmb”, dicho de otra forma, la humedad relativa ambiental. Se va a explicar el procedimiento en términos de programación llevado a cabo para poder ejecutar un código con este objetivo, sin embargo, es necesario, en primer lugar, ejecutar el código mostrado en la figura 4.8, que ordena al Cuaderno Jupyter devolver un dataframe con todas las lecturas de todas las variables tomadas en ese ensayo del día 1 de agosto ordenadas por columnas, como ya se ha explicado anteriormente.

También es necesario ejecutar el código que aparece en la figura 4.11. Ahora mismo no interesa dibujar gráficas, sino la otra función de ese código que es crear variables cadena en las que se almacenan los valores numéricos (de tipo float) que antes eran valores de tipo texto de cada dato de presión, humedad, temperatura... a lo largo de todo el ensayo. En la figura 4.11, únicamente, se ejemplifica con las variables relativas a voltaje de red y voltaje de la instalación fotovoltaica, por lo que esta vez se hará con la humedad relativa ambiental, que tiene asignado el número 41 en el dataframe “medidas\_2” del día 1 de agosto de 2023.

```
y_columna_index_12 = 41

medidas_2_12 = []

medidas_2_var12 = medidas_2.iloc[:, y_columna_index_12].values

for i in range(0, len(medidas_2_var12)):
    medidas_2_12.append(float(medidas_2_var12[i].replace(',', '.')))
```

Figura 4.25: Conversión a número de una variable (HRAmb) previamente de tipo texto

Al ejecutar este código (y, lógicamente el que aparece en la figura 4.8), todos los valores de humedad relativa desde el principio del ensayo hasta el final de este están guardados dentro de la variable “medidas\_2\_12” en formato numérico.

Ya es posible ejecutar el siguiente código, que permite mostrar un dataframe modificado, que comience desde donde seleccione el usuario, que tome un valor de referencia de humedad relativa y que no sobrepase un valor numérico límite porcentual. El dataframe modificado se detendrá cuando se sobrepase ese valor límite.

```
columna_analizada = medidas_2_12

# Establecemos el valor de referencia de humedad y el porcentaje de desviación máximo permitido
fila_inicial = 100
valor_referencia = columna_analizada[fila_inicial]
porcentaje_desviacion = 0.05

# Creamos una variable binaria (verdadero o falso) para rastrear si se ha alcanzado la desviación
desviacion = False

# Lista para almacenar las filas hasta la primera desviación del 5%
fila_final = []

# Iterar sobre las filas y detenerse cuando se encuentre la primera desviación
for i, valor in enumerate(columna_analizada[fila_inicial:]):
    if not desviacion and (valor > valor_referencia * (1 + porcentaje_desviacion) or valor < valor_referencia * (1 - porcentaje_desviacion)):
        desviacion = True
        fila_detenida = i + fila_inicial
    if not desviacion:
        fila_final.append(i + fila_inicial)

# Filtrar el DataFrame hasta la primera desviación
medidas_mod = medidas_2.iloc[fila_final]

# Mostrar el DataFrame filtrado
print(medidas_mod)

# Mostrar la fila en la que se detuvo el DataFrame filtrado
print(f"El DataFrame se detuvo en la fila {fila_detenida}")
print(f"El valor de humedad relativa de referencia es", valor_referencia)
```

Figura 4.26: Código para detección de desviaciones en las lecturas usando una variable restrictiva

En primer lugar, hay que indicar qué variable es la que se va a estudiar en este código, es decir, qué variable es la que no se desea que pase de cierta desviación. En este caso se ha optado por la humedad relativa ambiental, almacenada en la variable “medidas\_2\_12”.

A continuación, es necesario precisar a partir de qué momento se desea estudiar el ensayo: desde la mañana, mediodía, tarde, noche... para ello seleccionamos la fila a partir de la que se desea analizar el ensayo, en este caso la fila 100, correspondiente a los datos tomados a las 13 h 48 ' 46 '' del presente ensayo del 1 de agosto. Indicando la

fila deseada, 100 en este caso, la variable “valor\_referencia” guarda el valor número 100 encontrado en la variable “medidas\_2\_12” de humedad.

En la variable “porcentaje\_desviación” se indica cuál es el porcentaje respecto al valor base de humedad relativa almacenado en “valor\_referencia, que no se puede sobrepasar ni por encima ni por debajo. En este ejemplo se selecciona una desviación porcentual máxima del 5%.

Se crean dos variables específicas para emplearlas en un bucle. Una de ellas es “desviacion”, variable lógica que puede tomar el valor verdadero o falso que será capaz de detectar si los valores de humedad que se van leyendo a lo largo del tiempo sobrepasan el porcentaje límite indicado o no. En la variable “fila\_final” se almacenará el número de filas que se han leído hasta que se ha encontrado una desviación de humedad superior al 5%.

Al entrar en el bucle, el programa lee el valor de humedad de la fila inicial indicada, la número 100. Si ese valor leído entra dentro del 5% admitido por la desviación, el bucle continúa, incrementando en una unidad el contador “i”, por lo que se procede a repetir el bucle leyendo el valor de humedad de la siguiente fila. Cuando se sobrepasa la desviación máxima permitida del 5% la variable “desviacion” cambia a valor verdadero y se registra en una variable llamada “fila\_detenida\_” cuál ha sido la lectura en la que se ha parado de contar.

El dataframe modificado se guarda en “medidas\_mod” que enseña un dataframe como era el inicial “medidas\_2” pero que se detiene en cuanto se encuentra un valor de humedad ambiental que sobrepasa el 5%.

De este modo, el nuevo dataframe se corta en el momento en el que la desviación comienza a ser demasiado alta como para poder lograr un ensayo satisfactorio. Además, este dataframe alterado no solo muestra esos valores de humedad hasta que se corta, sino que también enseña los valores de presión, temperatura, intensidad... En resumen, sigue mostrando todos los valores medidos en las sondas, imprescindibles para poder hallar un valor de eficiencia energética y poder establecer unas conclusiones sobre el resultado de un ensayo.

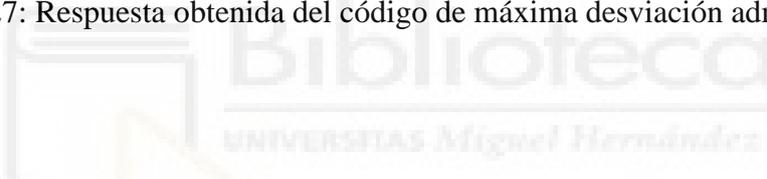
Adicionalmente, el dataframe imprime en pantalla una frase que indica en qué fila se ha detenido. En el caso que se muestra a continuación, la fila en la que se detiene el dataframe es la 160, y, teniendo en cuenta que se ha empezado a evaluar las lecturas desde la fila 100, en el dataframe modificado se han registrado un total de 60 lecturas de

cada variable. También muestra cuál es el valor de referencia de humedad (o la variable que se seleccione para estudiar) a partir del cual no es posible desviarse más del porcentaje indicado.

La salida obtenida, como se comentaba, es la siguiente:

157	2023-08-01 13:58:16.100	943,568707
158	2023-08-01 13:58:26.100	943,365195
159	2023-08-01 13:58:36.101	942,559005
<b>40. 207Time (Sec) 41. 207 (HR)- HRamb \</b>		
100	2023-08-01 13:48:46.142	52,0668961
101	2023-08-01 13:48:56.142	52,3271308
102	2023-08-01 13:49:06.142	51,7000264
103	2023-08-01 13:49:16.142	51,1928391
104	2023-08-01 13:49:26.142	50,9319068
105	2023-08-01 13:49:36.142	50,8859971
106	2023-08-01 13:49:46.142	50,7266838
107	2023-08-01 13:49:56.142	50,9139866
108	2023-08-01 13:50:06.142	51,4840028
109	2023-08-01 13:50:16.189	51,7341157

Figura 4.27: Respuesta obtenida del código de máxima desviación admitida (1).



<b>42. 208Time (Sec) 43. 208 (°C)- Tp_sal_evap \</b>		
100	2023-08-01 13:48:46.183	18,0591014
101	2023-08-01 13:48:56.183	18,0728629
102	2023-08-01 13:49:06.183	18,0906854
103	2023-08-01 13:49:16.183	18,0718263
104	2023-08-01 13:49:26.183	18,0325319
105	2023-08-01 13:49:36.183	18,0114718
106	2023-08-01 13:49:46.184	18,0050953
107	2023-08-01 13:49:56.183	18,0137154
108	2023-08-01 13:50:06.183	18,0010938
109	2023-08-01 13:50:16.230	17,9736283
110	2023-08-01 13:50:26.184	17,9618224
111	2023-08-01 13:50:36.183	17,9498743
112	2023-08-01 13:50:46.183	17,8888614

Como se explicaba, también se obtienen resultados de las demás variables:

Figura 4.28: Respuesta obtenida del código de máxima desviación admitida (2).

Por último, se muestra como el Cuaderno Jupyter devuelve el valor de referencia de humedad que no se debe sobrepasar en un 5% y la fila en la que se ha detenido el dataframe.

Se puede ir un paso más allá y no contar, únicamente, con la humedad como variable restrictiva. El parámetro de temperatura ambiental también suele ser crítico a la hora de evaluar las lecturas en este tipo de estudios. Los cuadernos Jupyter, por supuesto, ofrecen la posibilidad de asignarle un porcentaje de desviación a las lecturas de humedad ambiental y otro distinto (o el mismo) a la temperatura ambiental, y que la impresión en pantalla de las lecturas se detenga cuando se supere una de esas desviaciones y cuando se vuelva a encontrar lecturas de humedad y temperatura que entran en el porcentaje de desviación permitido se sigan mostrando en pantalla las lecturas.

El código para poder llevar esto a cabo es el siguiente:

```

columna_humedad = medidas_2_12
columna_temperatura = medidas_2_18

# Establecemos el valor de referencia y el porcentaje de desviación máximo permitido para la humedad y la temperatura
fila_inicial = 100
valor_referencia_humedad = columna_humedad[fila_inicial]
valor_referencia_temp = columna_temperatura[fila_inicial]
porcentaje_desviacion_humedad = 0.05
porcentaje_desviacion_temp = 0.03

# Creamos variables binarias (verdadero o falso) para rastrear si se ha alcanzado la desviación para la humedad y la temperatura
desviacion_humedad = False
desviacion_temp = False

# Lista para almacenar las filas del DataFrame que cumplen con los criterios de desviación permitida para la humedad y la temperatura
filas_validas = []

# Iterar sobre las filas y detenerse cuando se encuentre la primera desviación
for i, (valor_humedad, valor_temperatura) in enumerate(zip(columna_humedad[fila_inicial:], columna_temperatura[fila_inicial:])):
    if not desviacion_humedad and (valor_humedad > valor_referencia_humedad * (1 + porcentaje_desviacion_humedad) or valor_humedad < valor_referencia_humedad * (1 - porcentaje_desviacion_humedad)):
        desviacion_humedad = True
    if not desviacion_temp and (valor_temperatura > valor_referencia_temp * (1 + porcentaje_desviacion_temp) or valor_temperatura < valor_referencia_temp * (1 - porcentaje_desviacion_temp)):
        desviacion_temp = True
    if not desviacion_humedad and not desviacion_temp:
        filas_validas.append(i + fila_inicial)

# Filtrar el DataFrame hasta la primera desviación
medidas_mod = medidas_2.iloc[filas_validas]

# Mostrar el DataFrame filtrado
print(medidas_mod)

```

Figura 4.29: Código para detección de desviaciones en las lecturas usando más de una variable restrictiva

En este caso, el porcentaje de desviación máximo admitido para la temperatura ambiental es del 3%.

Otro planteamiento que se puede dar a la hora de gestionar las lecturas es filtrar por número, es decir, que el cuaderno Jupyter, únicamente, muestre 100 lecturas de cada variable, por ejemplo. Pero además de eso, cabe recordar que sigue habiendo un porcentaje de desviación máximo para humedad y temperatura ambiental que no se debe superar.

Se ha elaborado otra celda de código en la que se juntan tres restricciones:

- La primera restricción es que la impresión en pantalla de las lecturas debe detenerse si se supera el porcentaje de desviación máxima de humedad ambiental.
- La segunda restricción es que la impresión en pantalla de las lecturas debe detenerse si se supera el porcentaje de desviación máxima de temperatura ambiental.
- La tercera restricción es que la impresión en pantalla debe detenerse si se alcanza el número de lecturas que queremos que se muestren de cada variable.

En el caso que se está planteando este número está ajustado a 100.

Por tanto, en cuanto una de esas tres condiciones se cumpla, la impresión en pantalla de las lecturas debe detenerse. De este modo, se logra un filtrado de medidas muy útil en el que se puede filtrar por variables como humedad, temperatura y número de lecturas, o bien, solo emplear una condición como el filtro por humedad únicamente, que fue el caso mostrado al inicio del caso práctico.

El código necesario para lograr establecer estas tres condiciones y filtrar de una forma completa las medidas es el siguiente:

```
columna_humedad = medidas_2_12
columna_temperatura = medidas_2_18

# Establecemos el valor de referencia y el porcentaje de desviación máximo permitido para la humedad y la temperatura
fila_inicial = 100
valor_referencia_humedad = columna_humedad[fila_inicial]
valor_referencia_temp = columna_temperatura[fila_inicial]
porcentaje_desviacion_humedad = 0.05
porcentaje_desviacion_temp = 0.03

# Creamos variables binarias (verdadero o falso) para rastrear si se ha alcanzado la desviación para la humedad y la temperatura
desviacion_humedad = False
desviacion_temp = False

# Lista para almacenar las filas del DataFrame que cumplen con los criterios de desviación permitida para la humedad y la temperatura
filas_validas = []

# Iterar sobre las filas y detenerse cuando se encuentre la primera desviación
for i, (valor_humedad, valor_temperatura) in enumerate(zip(columna_humedad[fila_inicial:], columna_temperatura[fila_inicial:])):
    if not desviacion_humedad and (valor_humedad > valor_referencia_humedad * (1 + porcentaje_desviacion_humedad) or valor_humedad < valor_referencia_humedad * (1 - porcentaje_desviacion_humedad)):
        desviacion_humedad = True
    if not desviacion_temp and (valor_temperatura > valor_referencia_temp * (1 + porcentaje_desviacion_temp) or valor_temperatura < valor_referencia_temp * (1 - porcentaje_desviacion_temp)):
        desviacion_temp = True
    if not desviacion_humedad and not desviacion_temp:
        filas_validas.append(i + fila_inicial)

# Filtrar el DataFrame hasta la primera desviación
medidas_mod = medidas_2.iloc[filas_validas]

# Filtrar el DataFrame mostrando 100 lecturas
print(medidas_mod.head(100))
```

Figura 4.30: Código para detección de desviaciones en las lecturas usando más de una variable restrictiva y número de lecturas máximo a mostrar



## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISIS MATEMÁTICO

La recopilación de datos que es posible elaborar en los cuadernos Jupyter facilita la interpretación de los resultados. A través de gráficas, estudiando la evolución y el comportamiento de las magnitudes medidas por sensores (temperaturas del ciclo termodinámico, presiones del ciclo de refrigeración, intensidad del equipo, voltaje de red...) es posible analizar los cambios en la eficiencia energética del equipo, que, al fin y al cabo, es el tema principal de estudio.

Como ya se ha explicado en el subapartado 2.3 de esta memoria, la eficiencia energética de una máquina de aire acondicionado se puede medir mediante el EER (“Energy Efficiency Ratio”). El valor del EER representa cuántos vatios de potencia térmica frigorífica genera la máquina a partir de los vatios de entrada consumidos para el funcionamiento de esta. Como se indicaba previamente en la ficha técnica del equipo, el EER del prototipo empleado en el laboratorio es de 3.73. Transformándolo a palabras, se puede afirmar que de cada vatio eléctrico que se requiere para el funcionamiento del equipo de climatización se transmite al medio 3.73 vatios de potencia frigorífica. Para las máquinas de climatización que funcionen en modo de calefacción se utilizará la palabra COP (“Coefficient Of Performance”).

En resumen, la eficiencia energética, o el EER depende de dos valores: la potencia de entrada y la potencia de salida.

$$EER = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}}$$

La potencia de entrada es un valor eléctrico, ya que se calcula como el producto de tensión eléctrica por corriente eléctrica que recibe el equipo y el factor de potencia que se redondeará a la unidad para la normalización del cálculo en cada ensayo

Por otro lado, la potencia de salida es de tipo térmica. El intercambio de calor producido entre el líquido refrigerante y el aire va a ser el que proporcione el valor de energía transmitida al aire en forma de frío. Teniendo esto en cuenta la potencia eléctrica de entrada y la potencia térmica de salida se calcularán a través de las siguientes expresiones:

$$P_{entrada} = I * V * \cos(\phi)$$

$$P_{salida} = \dot{m}_{refrigerante} * \Delta h$$

Llegados a este punto, es perceptible ver que el valor final de eficiencia se obtiene a partir de unos pocos valores, sin embargo, si esto es así, ¿por qué se presentan tantas variables en nuestro estudio?

Pues bien, cabe destacar que todas las variables de nuestros ensayos van a afectar de una forma u otra, tanto a la hora de obtener la potencia de entrada como para hallar el valor de potencia de refrigeración. Por ejemplo, para obtener una estimación del caudal de agua que consume el sistema de preenfriamiento habrá que considerar las lecturas de todos los termohigrómetros y de la sonda de velocidad de aire de salida del equipo.

En primer lugar, se analiza el dato de potencia eléctrica o potencia de entrada. Como bien se ha expresado en la ecuación, va a depender tanto de la tensión eléctrica como de la intensidad de corriente. Sin embargo, cabe recordar que hay varios modos de alimentar el prototipo: a través de la red eléctrica, como consumo de la generación fotovoltaica y, por último, alimentación mixta, tanto fotovoltaica como de la red eléctrica.

Aquí entran en juego muchas variables del ensayo de laboratorio. Cuando la máquina de climatización se esté alimentando a través de la red eléctrica las únicas variables que intervendrán para el cálculo de la potencia de entrada serán la tensión de red (número de variable asociado: 17) y la intensidad de corriente de red (15). También será necesario tener en cuenta la intensidad recibida por el compresor (19) porque cuando no se trabaje a plena carga el EER no es el valor más preciso sino el SEER. En caso de prescindir de la alimentación de red y emplear solo la energía solar las variables más importantes con las que se obtiene el valor de potencia de entrada son la tensión de la instalación fotovoltaica (23) y la intensidad de corriente generada por los módulos solares (21). Ambas dependen en menor o mayor medida del valor de irradiancia (37) captado por el piranómetro de la cubierta del edificio.

En el caso de una alimentación mixta entran en juego todas las variables mencionadas en los dos casos anteriores.

En resumen, cuando se analiza la potencia de entrada, es decir, la potencia eléctrica, todas las variables eléctricas tienen algo que decir para afectar en su valor. De forma contraria sucederá en el caso de la potencia de salida.

El valor de la potencia de salida, como se expresa en la ecuación anterior, va a depender de forma proporcional del producto del caudal másico de refrigerante y la diferencia de entalpías entre la salida y entrada del evaporador o calor por unidad de masa intercambiado entre refrigerante y aire.

En esta situación, el resto de las variables o parámetros medidos en el ensayo van a afectar de una forma u otra al valor de potencia de salida. En un ciclo frigorífico que, como ya se explicó en la introducción, podemos dividir en 4 puntos: etapa de compresión, etapa del condensador, etapa de expansión y etapa del evaporador se tienen diversas temperaturas y presiones. Si se observa la ecuación de la potencia de salida se puede ver que únicamente depende de la diferencia de entalpías en la salida y entrada del evaporador, sin embargo, si alteramos una de las temperaturas de todo el ciclo, las demás van a empezar sufrir modificaciones también. Así pues, todas las variables de temperatura van a ser destacables a la hora de obtener un dato u otro de potencia térmica o de salida.

Los datos de humedad también son importantes, un valor alto de humedad relativa en el ambiente indica que se ha estado atomizando agua durante bastante tiempo. De este modo, ya no solo medimos temperaturas más bajas a la entrada del condensador, sino que se estudia cómo afecta la atomización de agua al ambiente; si la humedad sube demasiado, si hay peligro de oxidación en el equipo, etc.

Los valores de presión en el ciclo frigorífico también son cruciales para tener en consideración. Además de influir en la eficiencia del equipo, valores irregulares de presión pueden ser indicadores de malfuncionamiento del equipo y que debe ser reparado. La modificación de los valores de presión de alta y presión de baja se traducen en la condensación y evaporación del refrigerante del equipo a unas temperaturas u otras, lo que influirá en la entalpía de las fases del ciclo, variando de esta forma la potencia térmica generada.

Una vez se analiza cómo afecta cada variable a los datos de eficiencia energética, se procede a detallar el cálculo de esta. Una vez más, la ecuación para el cálculo de esta se puede expresar:

$$EER = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}}$$

Ahora, teniendo en cuenta que la potencia de entrada depende de los parámetros eléctricos de red y fotovoltaicos, la potencia de entrada quedaría:

$$P_{entrada} = (I_{red} * V_{red} * \cos(\phi)) + (I_{fotovoltaica} * V_{fotovoltaica})$$

Al poder alimentar el equipo simultáneamente con energía eléctrica de red y la proveniente de la radiación solar se deben tener en cuenta ambos aportes. Esta última ecuación se puede agrupar en valores de potencia:

$$P_{entrada} = P_{red} + P_{fotovoltaica}$$

Esta va a ser la expresión fundamental para calcular el valor de potencia de entrada que se introducirá en la expresión del EER para el cálculo de eficiencia energética en un ensayo.

Como, perfectamente, se pueden presentar en un ensayo más de 3000 lecturas de estos parámetros eléctricos, se calculará el valor medio de tensiones eléctricas (tanto de red como tensión de los módulos solares) y de intensidades de corriente (de nuevo, los valores de red y de aporte fotovoltaico) en todo el ensayo. Una vez se hayan obtenido se realizará el producto de los parámetros eléctricos medios de red y los relacionados con el aporte fotovoltaico, por separados.

$$\overline{P_{red}} = \overline{V_{red}} * \overline{I_{red}} * \cos(\phi)$$

$$\overline{P_{fotovoltaica}} = \overline{V_{fotovoltaica}} * \overline{I_{fotovoltaica}}$$

La suma de la potencia de red y potencia fotovoltaica se obtendrá el valor de potencia de entrada.

$$\overline{P_{entrada}} = \overline{P_{red}} + \overline{P_{fotovoltaica}}$$

Por otro lado, se va a obtener de forma similar la potencia de salida. Esta vez se tratan más variables: temperatura, humedad, presión, velocidad del aire... Sin embargo, muchas de estas son variables “auxiliares” que van a afectar en mayor o menor medida en las temperaturas del ciclo frigorífico, como, por ejemplo, las variables de humedad, velocidad del viento, temperatura ambiente etc. Finalmente, las variables que intervienen directamente son las que afectan para el cálculo de los valores de entalpía en la fase del evaporador del ciclo frigorífico. Otra variable que va a afectar es el caudal másico de refrigerante. Ya se ha visto que el calor intercambiado en el evaporador (que entra en la ecuación del EER) depende del caudal másico de refrigerante.

Se necesita saber la potencia o energía intercambiada en un proceso para a partir de ella conociendo esta energía y las entalpías de entrada y salida del proceso despejar el caudal másico.

El único punto del ciclo en el que es posible saber el intercambio de calor es en la etapa de compresión. Es posible conocer la potencia del compresor a partir de la potencia eléctrica requerida, es decir, la potencia de entrada (suma de la potencia de red y fotovoltaica) un factor de conversión y el rendimiento mecánico del compresor empleado:

$$P_{\text{compresor}} * \eta_{\text{mecánico}} = \dot{m}_{\text{refrigerante}} * (h_2 - h_1)$$

$$\eta_{\text{mecánico}} = 0,93$$

Dicha ecuación tiene en cuenta que la etapa 2 es el momento en el que el refrigerante ha sido comprimido, es decir, la salida del compresor, mientras que la etapa 1 es el momento previo a la compresión.

Solo resta conocer el factor de conversión para pasar de la potencia total empleada por el equipo a la potencia consumida por el compresor. Gracias a un analizador de redes eléctricas que ha permitido separar el consumo requerido por el compresor y por otros componentes, se puede conocer este factor:

$$P_{\text{compresor}} = 0.8302 * P_{\text{entrada}}$$

Los únicos valores que quedan por conocer para obtener el flujo másico de refrigerante son las entalpías del proceso. Conociendo dos variables de cada punto del ciclo se puede obtener la entalpía de un estado gracias a bases de datos y tablas con valores tabulados de entalpía, entropía, etc. En este ensayo, se toman lecturas de presión y temperatura en cada punto del ciclo, de este modo, a través de las tablas termodinámicas o, más fácilmente, con la librería coolprop que se puede emplear en los cuadernos Jupyter es posible obtener los valores de entalpía requeridos.

Conociendo ya el flujo másico de refrigerante, los valores que restan por saber para hallar el calor intercambiado en el evaporador (también conocido como potencia de salida) son los valores de entalpía en los estados previo y posterior al evaporador. El cálculo del valor de entalpía a la salida del evaporador podría decirse que es prácticamente idéntico al valor de entalpía a la entrada del compresor, ya que físicamente, coinciden en el equipo de refrigeración, pero se pueden producir intercambios de calor en las tuberías de refrigerante mientras este llega al compresor, por lo tanto, para alcanzar una mayor precisión, a través de EES o de los cuadernos

Jupyter se obtendrá el valor de entalpía a la salida del evaporador gracias a los datos de temperatura y presión a la salida de este. Llamaremos a este estado 1'. Para la entalpía del estado 4 o entrada del evaporador (o salida de la válvula de expansión) no se cuentan con los parámetros suficientes para calcular la entalpía, ya que se encuentra dentro de la campana de saturación. Por ello, se hará una simplificación, y es suponer que en la válvula de expansión se produce una expansión isoentálpica, es decir, la entalpía a la salida de la válvula de expansión será la misma que a la entrada de esta o a la salida del condensador. Por tanto, la entalpía en la salida del condensador se mantendrá constante en este proceso, y se usará en el estado 4, entrada del evaporador. Cabe decir que la entalpía de la salida del condensador sí se puede calcular usando EES. En este punto, se han recopilado los datos necesarios para hallar la potencia de salida o calor intercambiado en el evaporador:

$$P_{salida} = Q_{evaporador} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_{1'} - h_4)$$

Conociendo ya los valores medios de potencia de entrada y de salida es posible hallar el valor de eficiencia ERR, obtenido como el cociente entre potencia de salida (o calor intercambiado en el evaporador) y la potencia de entrada (suma de potencia de red y la generada con la instalación solar fotovoltaica).

## 5.2. ENSAYOS Y GRÁFICAS

Debido a la gran cantidad de lecturas en valores de temperatura, presión, tensión eléctrica e intensidad de corriente para concretar un valor exacto para llevar a cabo los cálculos matemáticos, se utilizará el valor medio. Ya que se ha trabajado a lo largo de todo el proyecto con los cuadernos Jupyter, se puede crear una celda de código para obtener los valores medios de estas variables en todo el ensayo realizado. Por ejemplo, tomando la variable número 3, la temperatura de salida del evaporador:

```
▶ #Cálculo del valor medio de la variable en el ensayo:
```

```
valor_medio = np.mean(medidas_2_1)

# Imprime el valor medio
print("Valor medio temperatura", valor_medio)
```

```
Valor medio temperatura 28.795080712729728
```

Figura 5.1: Código para obtener los valores medios

De este modo, se puede calcular el valor medio de la variable que estemos representando en el eje y, la variable que esté almacenada en el string “medidas\_2\_1”, que en este caso es la temperatura de salida del evaporador.

Comenzando ahora sí con los ensayos, es destacable mencionar los días en los que estos se han llevado a cabo. Se han realizado ensayos en seco y ensayos con la parrilla de atomizadores instalada.

Los ensayos de los que se discutirá y/o se expondrán en esta memoria fueron llevados a cabo los días:

- 1 de agosto de 2023 (con atomización)
- 2 de agosto de 2023 (seco)
- 26 de septiembre de 2023 (seco)
- 27 de septiembre de 2023 (seco)
- 28 de septiembre de 2023 (con atomización)
- 29 de septiembre de 2023 (seco)
- 2 de octubre de 2023 (seco)
- 4 de octubre de 2023 (con atomización)
- 5 de octubre de 2023 (con atomización)
- 6 de octubre de 2023 (con atomización)

Con los ensayos de julio existe un problema, y, es que, después de tanto tiempo en desuso la máquina carecía de la cantidad adecuada de refrigerante, es más la cantidad era excesivamente baja, además de eso varios sensores no funcionaban correctamente; entre ellos, los relativos a las medidas de viento e incluso el convertidor que indica el valor de intensidad del compresor también daba problemas que están por solucionarse.

Los dos ensayos de agosto se han llevado a cabo con la cantidad correcta de refrigerante, sin embargo, se dieron dos cortes de luz en sendos días de agosto que impidieron que los ensayos comenzaran a la hora pertinente. El ensayo del día 1 de agosto comenzó a las 13:32 horas y el del día 2 de agosto comenzó a las 14:13 horas. A pesar de no contar con todas las horas disponibles para el ensayo opino que es mejor a mostrar unos ensayos con falta de refrigerante y que va a alterar los valores reales. Por tanto, los ensayos a analizar en primer lugar y en detalle son:

- 1 de agosto de 2023 (con atomización).
- 2 de agosto de 2023 (seco).

Para mostrar los resultados en estos dos primeros ensayos se introducirán las gráficas de las variables estudiadas, concretamente, su evolución a lo largo del tiempo. Cabe recordar que se deberá tomar el valor medio de diversos parámetros a lo largo del ensayo, para eso se introducirá a continuación de la gráfica otra imagen con el valor medio, únicamente en las variables que sea necesario, como, por ejemplo, la tensión eléctrica de la red. No se indicará el valor medio de variables que no sean necesarios, como puede ser el caso de la dirección del viento.

Se empezará a analizar el ensayo del día 2 de agosto.

Posteriormente, se hará lo mismo con el ensayo del día 1 de agosto.

Según la humedad ambiental se clasificará el ensayo en día húmedo o seco. Al encontrar grandes diferencias entre día húmedo o seco, la eficiencia en el equipo se evaluará por separado, teniendo en cuenta si el día es húmedo o seco. Se considerará día húmedo si la humedad ambiental media es superior al 50% y baja si es inferior al 50%.

Finalmente, se compararán los valores de eficiencia energética y se establecerán conclusiones.

#### 5.2.1. Ensayo en seco: 2 de agosto de 2023

### PARÁMETROS TÉRMICOS, AMBIENTALES Y DE PRESIÓN

Como se detalló previamente, se comenzará por añadir y detallar gráficas con las variables de estudio.

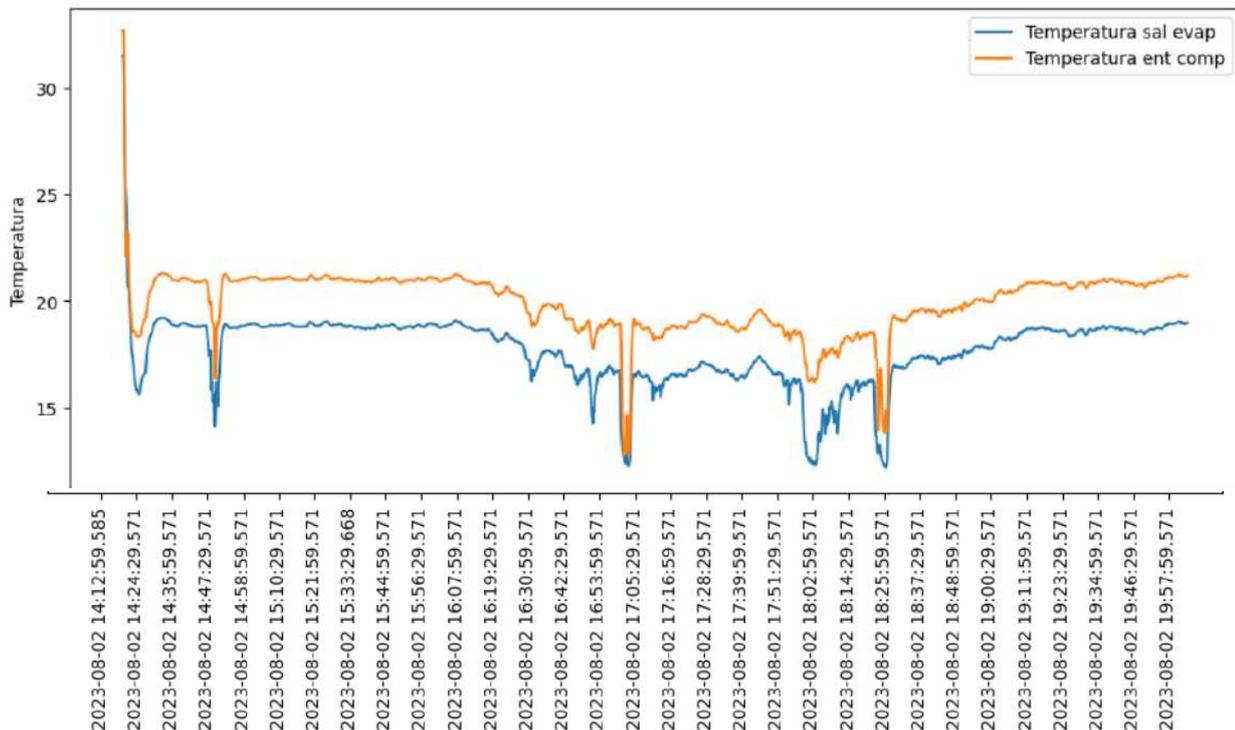


Figura 5.2: 02/08. T\_sal\_ev, T\_ent\_comp

**Valor medio T\_sal\_evap**=17.660318316778525

**Valor medio T\_ent\_comp**=19.899380412511984

Recordando el ciclo de refrigeración, a continuación del evaporador aparece el compresor. De este modo, la salida del evaporador coincide con la entrada del compresor. Simplemente, hay una diferencia de espacio físico entre ambos puntos, pero no hay ningún elemento que intente variar la temperatura o presión de la sustancia refrigerante. Es por eso por lo que las funciones, prácticamente, se superponen. El motivo por el que la temperatura de salida del evaporador es menor que la temperatura de entrada del compresor es porque el punto más frío del ciclo de refrigeración es justamente la salida del evaporador, donde se ha producido un intercambio de calor con la finalidad de enfriar. La temperatura a la entrada del compresor es mayor porque al estar en distintos puntos del espacio físico, el refrigerante en estado gaseoso recorre la canalización mientras sigue intercambiando calor con el aire. Por un lado, el refrigerante se enfría y el aire se calienta hasta llegar a la sección de entrada del compresor del equipo.

Los picos de temperaturas son debidos al funcionamiento del equipo de climatización y su tecnología. Cuando se alcanza la temperatura de consigna, el equipo “se detiene” y cuando detecta un aumento de temperatura en la sala vuelve a funcionar inmediatamente para enfriarla.

Se llega a alcanzar unos valores de 12 °C a la salida del evaporador.

El pico tan elevado de temperatura, que, incluso supera los 30 °C es debido al arranque del equipo. La máquina ha estado un tiempo sin funcionar y debe pasar un tiempo en el que la máquina esté funcionando de forma continua para alcanzar unos valores más lógicos. En este primer momento, las temperaturas del ciclo son menos extremas, más asemejadas a la temperatura ambiente, no las que se pretende conseguir.

De esta forma, se cuenta con que, durante los primeros minutos de funcionamiento, la máquina va a pasar por un régimen transitorio en el que los valores, en la mayoría de los casos, no son indicativos para obtener conclusiones de los ensayos. Una vez la máquina se estabiliza, y alcanza un régimen permanente de funcionamiento, se obtienen los valores correctos y se pueden establecer conclusiones lógicas y basadas en lecturas aplicables al estudio.



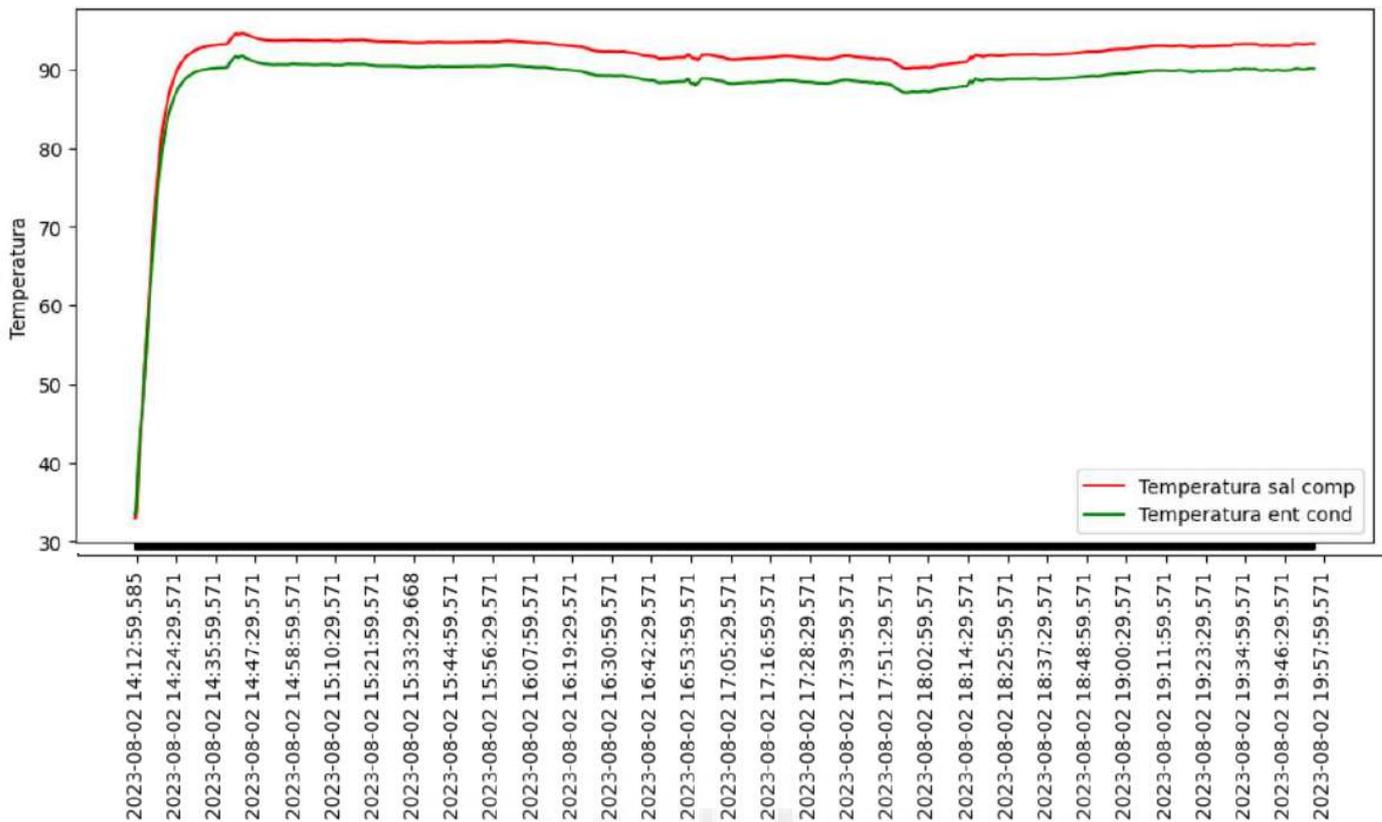


Figura 5.3: 02/08. T\_sal\_comp, T\_ent\_cond

**Valor medio T\_sal\_comp=** 91.58121259942473

**Valor medio T\_ent\_cond=** 88.55996291246404

Nuevamente, al igual que en la gráfica anterior, entre el compresor y el condensador no existe ningún elemento que varíe las características físicas del refrigerante. Únicamente están separados por un tramo de canalización, están separadas por un espacio físico.

Además, el compresor, es un equipo eléctrico que desprende energía en forma de calor, calentando dicha sección. Por ese motivo, la salida del compresor es uno de los puntos más calientes del ciclo.

Otra vez, es apreciable, que, durante los 10-12 primeros minutos del ensayo se presentan valores de temperatura excesivamente bajos. En régimen permanente se alcanzan valores cercanos a los 90 °C, superando, incluso, los 94.5 °C cerca de las 14:30 horas.

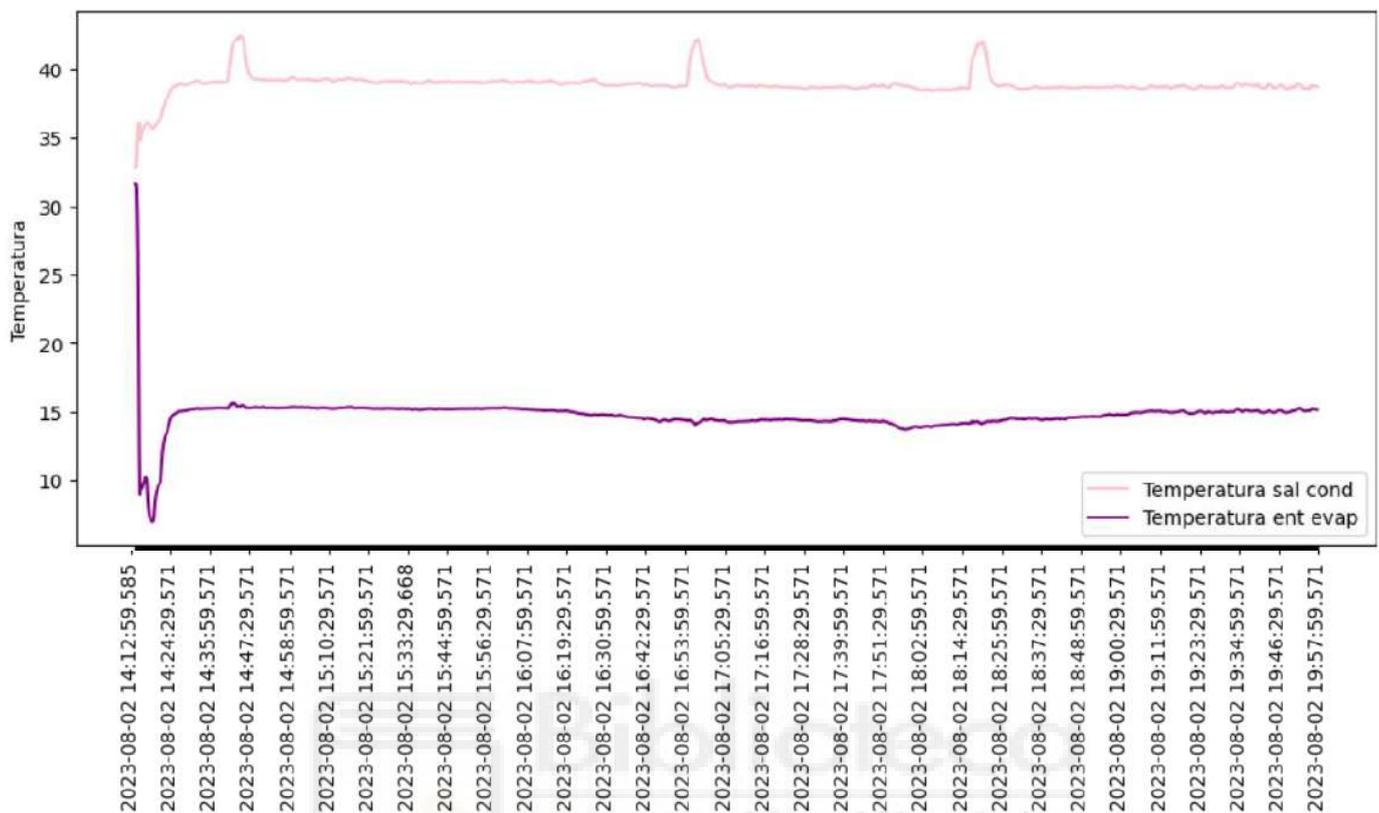


Figura 5.4: 02/08. T\_sal\_cond, T\_ent\_evap

**Valor medio T\_sal\_cond**=38.89641898312559

**Valor medio T\_ent\_evap**=14.709808185982743

Esta gráfica es bastante diferente a las dos previas. En esta gráfica se introducen las funciones de temperatura de salida del condensador y de temperatura de entrada al evaporador. Esta vez sí existe un elemento entre ambas que varía las características físicas del refrigerante, ahora en estado líquido. El elemento en cuestión es la válvula de expansión, cuyo objetivo es disminuir la presión del refrigerante para conseguir que en el siguiente proceso (evaporador) se alcance el estado de vapor saturado a una temperatura más asequible y no tan elevada.

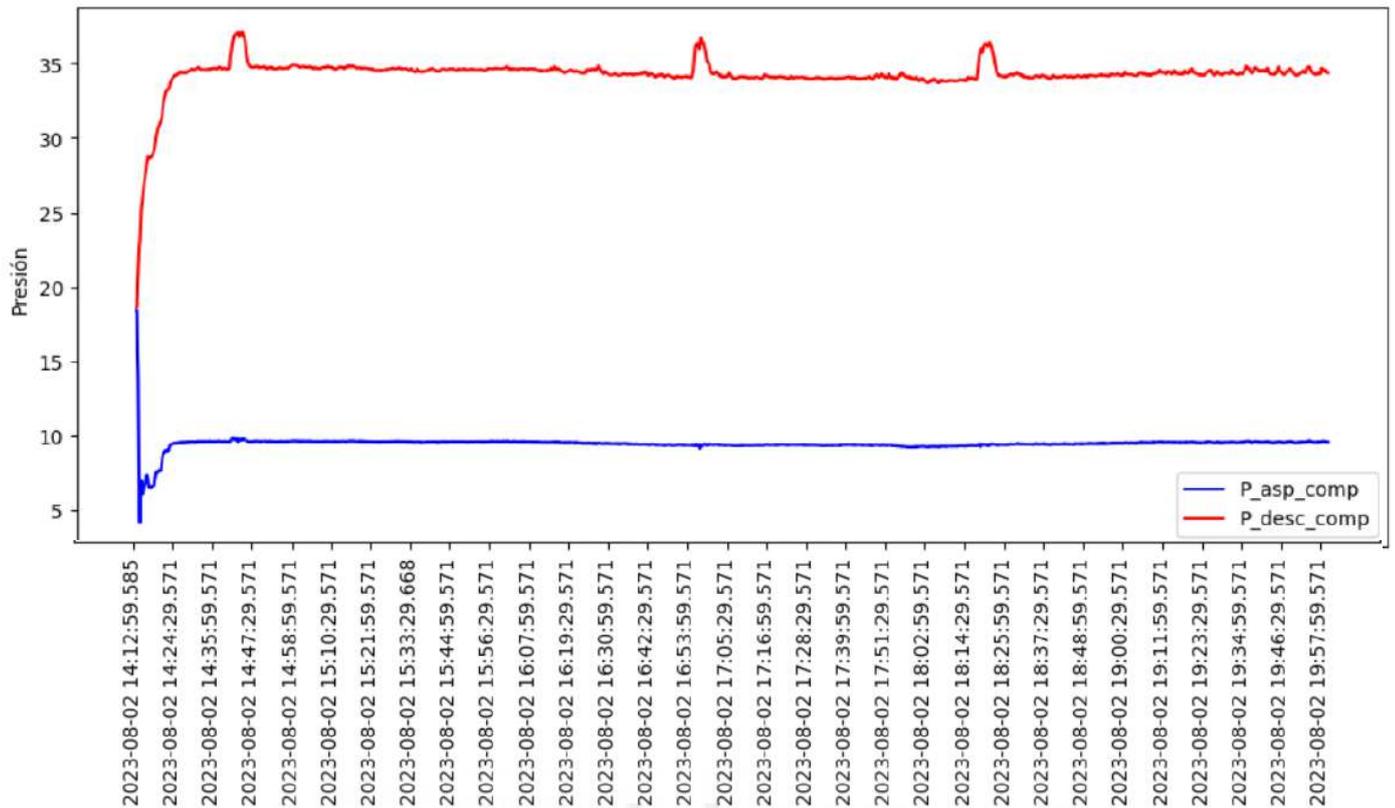


Figura 5.5: 02/08. P\_asp\_comp, P\_desc\_comp

**Valor medio P\_asp\_comp**=9.479625856126559

**Valor medio P\_desc\_comp**=34.26923705805369

Llega el momento de comenzar a analizar los valores de presión del ciclo. En primer lugar, se grafican la evolución de la presión del ciclo previo a la etapa de compresión y posterior a la etapa de compresión. La presión de baja, en color azul, se sitúa en torno a los 10 bares, mientras que la presión de alta, coloreada en rojo, se sitúa próxima a los 35 bares.

En la siguiente gráfica se procede a mostrar los otros dos valores de presión que restan: la presión del ciclo en el estado a continuación del condensador y la presión del ciclo después de pasar por la válvula de expansión (o lo que es lo mismo, justo antes de entrar al evaporador).

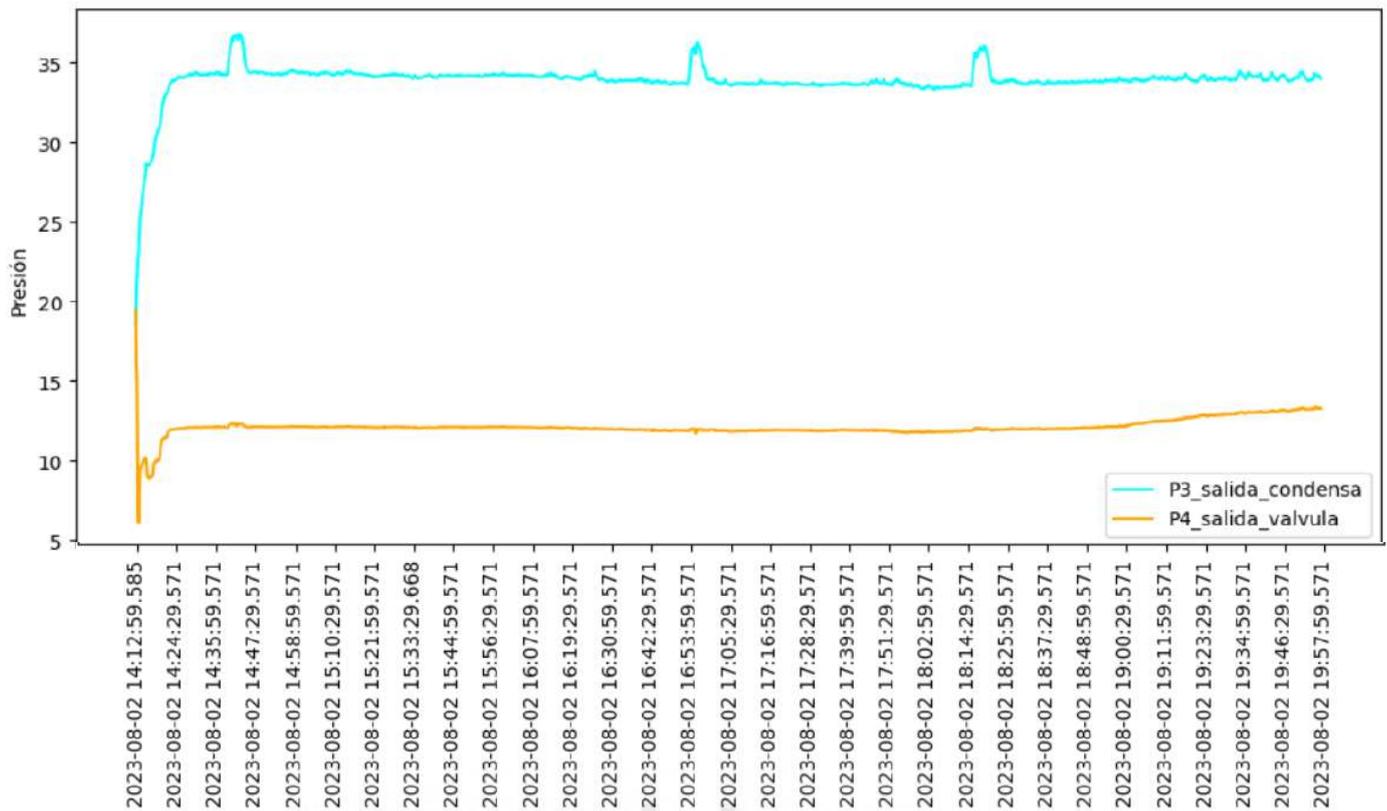


Figura 5.6: 02/08. P3\_salida\_condensa, P4\_salida\_valvula

**Valor medio P3\_salida\_condensa=33.888672716107386**

**Valor medio P4\_salida\_valvula=12.089914888269414**

En el trazado de las gráficas de las presiones restantes, es sencillo darse cuenta de que la gráfica es, prácticamente, igual a la anterior. Se cuenta con una presión de alta y una presión de baja. Como se comentó en la introducción de la memoria, en un ciclo de refrigeración no se tienen cuatro niveles de presiones distintos, se tienen dos, llamados presión de alta y presión de baja. Y es lógico, ya que los componentes que se dedican a transformar los niveles de presión son dos: el compresor y la válvula o elemento de expansión.

Los otros dos elementos principales del ciclo frigorífico son el evaporador y el condensador, sin embargo, estos simplemente funcionan con el objetivo de llevar a cabo un intercambio de calor con el aire, no cambian la presión en gran medida, sí ligeramente. La presión de baja respecto a la anterior gráfica es ligeramente superior,

mientras que esta nueva presión de alta es ligeramente inferior a la presión de alta mostrada en la gráfica de la figura 4.5.

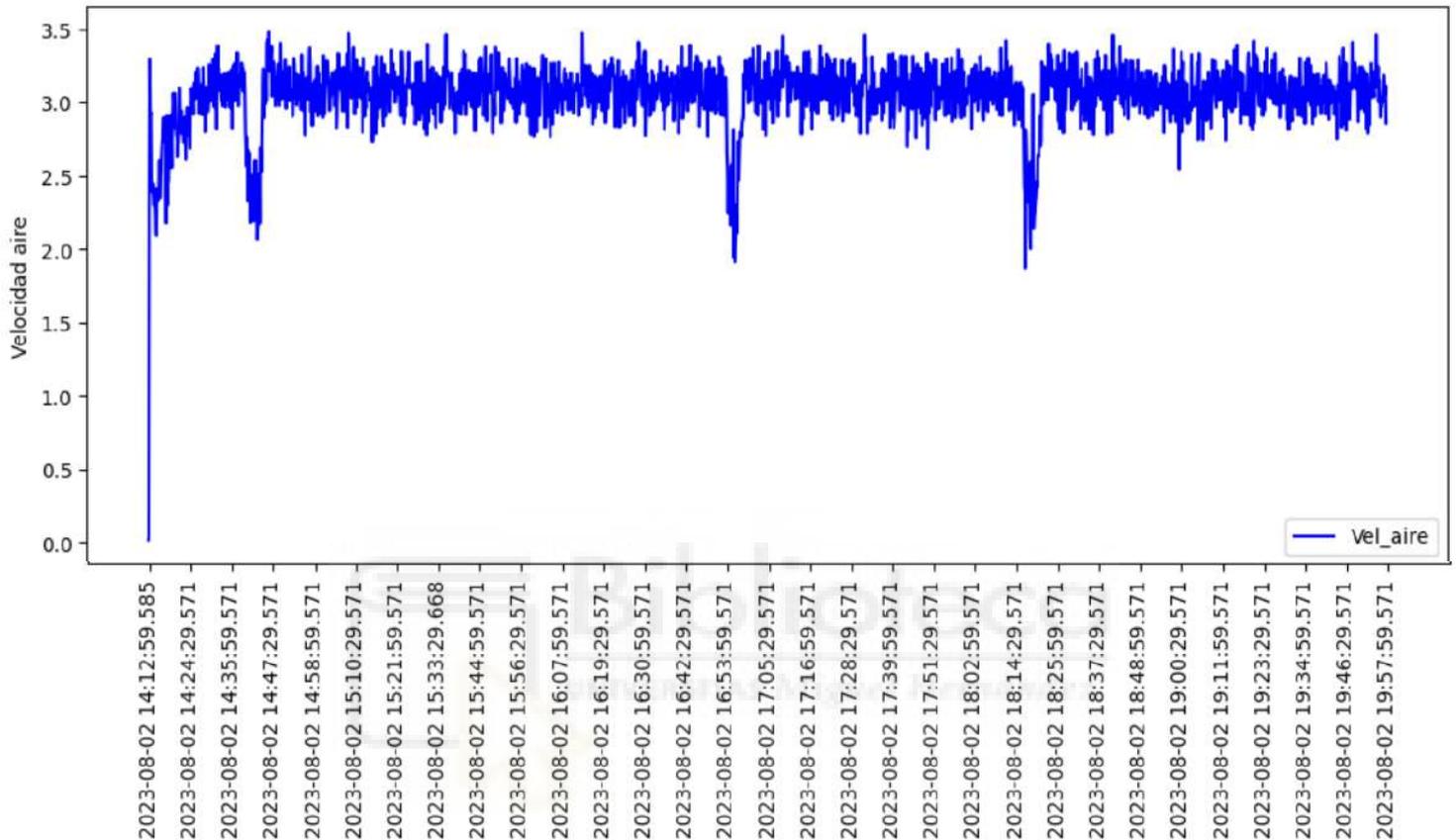


Figura 5.7: 02/08. Vel\_aire

El parámetro Vel\_aire se refiere a la velocidad del aire que sale del prototipo, es decir, la velocidad con la que el ventilador expulsa el aire de la máquina. Es una gráfica que cuenta con muchos picos en cortos intervalos de tiempo.

Al fin y al cabo, la velocidad con la que sale el aire proveniente de una ventilación forzada va a depender de la temperatura del equipo. Ante una alta demanda, el equipo se calentará y la ventilación se dedica justamente a refrigerar con aire el equipo. Se produce un intercambio de calor entre este aire dedicado a refrigerar y los componentes que se pueden sobrecalentar del equipo. Finalmente, se expulsa este aire a través del ventilador, ahora más caliente.

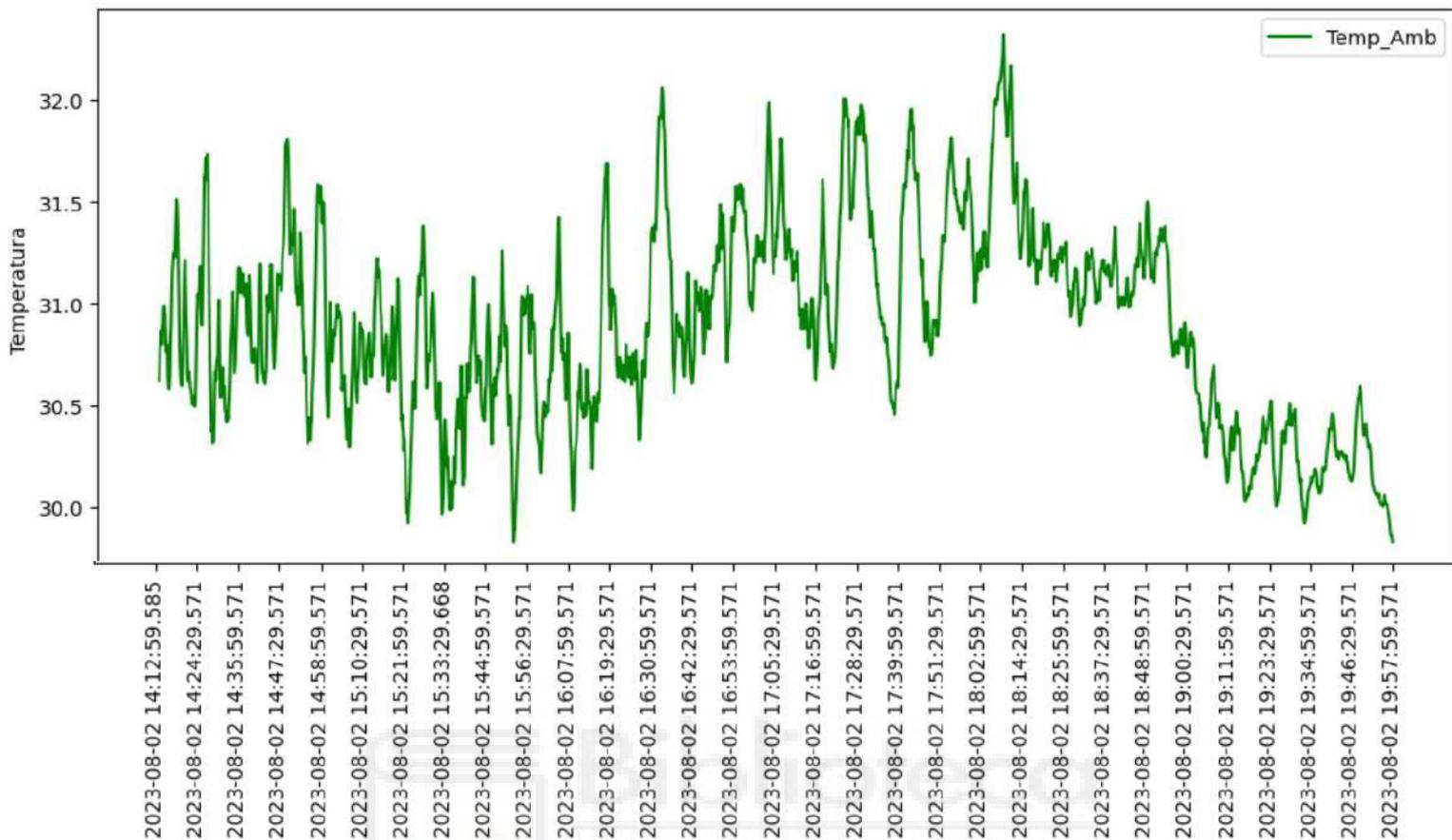


Figura 5.8: 02/08. T\_amb

La temperatura ambiental no se refiere a la del laboratorio, sino a la temperatura medida fuera de este, en la calle. Quizá influya más en los ensayos la variable conocida como T\_int, o temperatura del interior, pero también influye, y es necesario evaluar sus resultados también para asegurarse de que el transductor funciona de forma correcta, algo que no sucede con el anemómetro que mide la velocidad del viento (no confundir vel\_viento con vel\_aire).

En efecto, los valores tienen sentido. Un día caluroso de agosto, sobre todo cerca de las 18:00 que se alcanza el pico cercano a los 33 °C, y a medida que se aproximan las horas nocturnas la temperatura va disminuyendo.

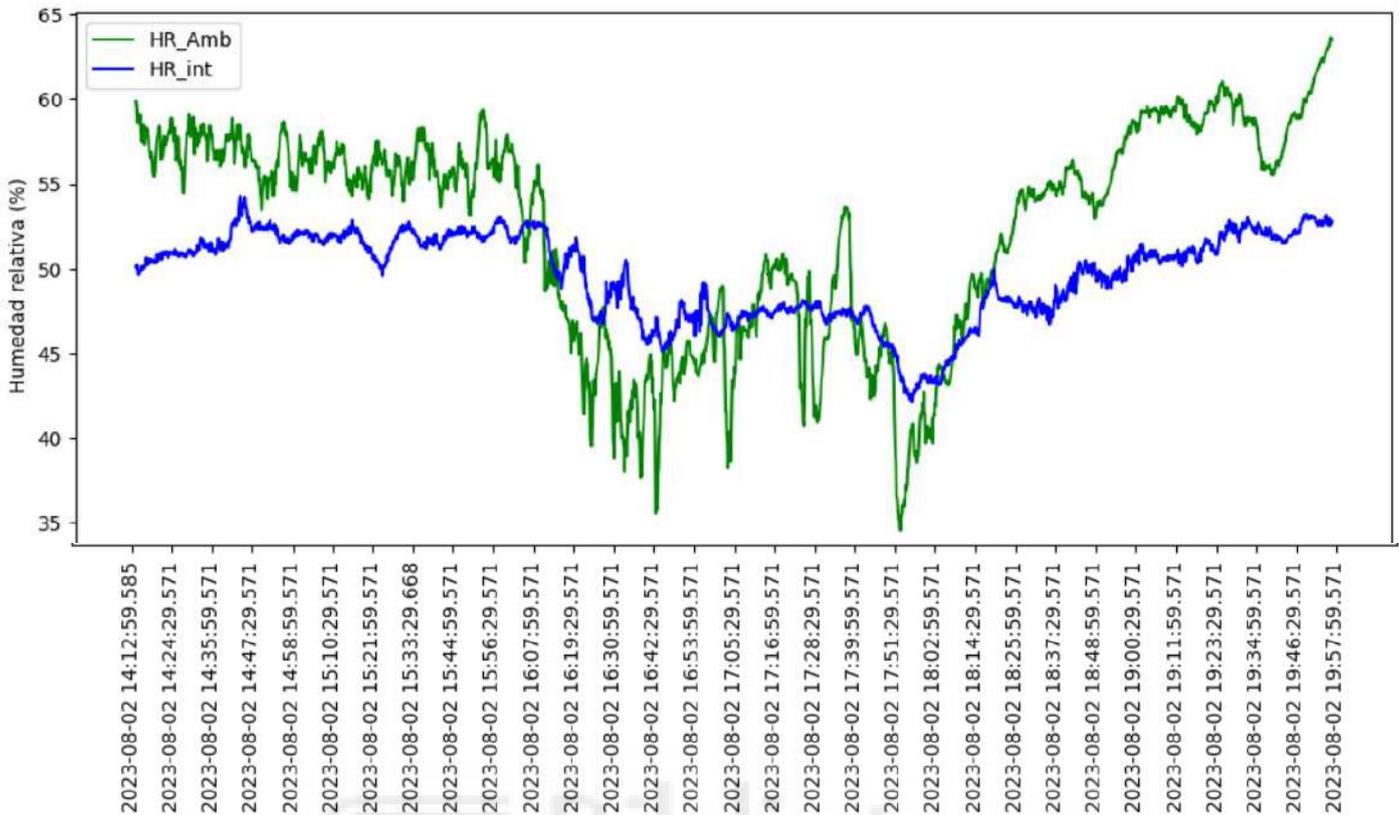


Figura 5.9: 02/08. HR\_Amb, HR\_Int

La variable de humedad relativa es un dato imprescindible que medir y a tener en cuenta. Por ejemplo, muchos equipos, sobre todo eléctricos no pueden trabajar en estancias con un porcentaje elevado de humedad en el aire. Además, los ensayos con parrilla de atomización van a humedecer el aire bastante.

Sin embargo, este ensayo es en seco; por ese motivo, la humedad en el interior del laboratorio (azul) no aumenta en exceso a lo largo del ensayo. Se llega a acercarse al 55% a las 14:30 horas, pero ya no vuelve a subir. La humedad ambiental, por otra parte, está sujeta en mayor medida a los factores climatológicos y varía en mayor medida que la humedad del laboratorio bajo techo y entre cuatro paredes.

En ensayos húmedos, la variable de humedad en el laboratorio será apreciablemente mayor.

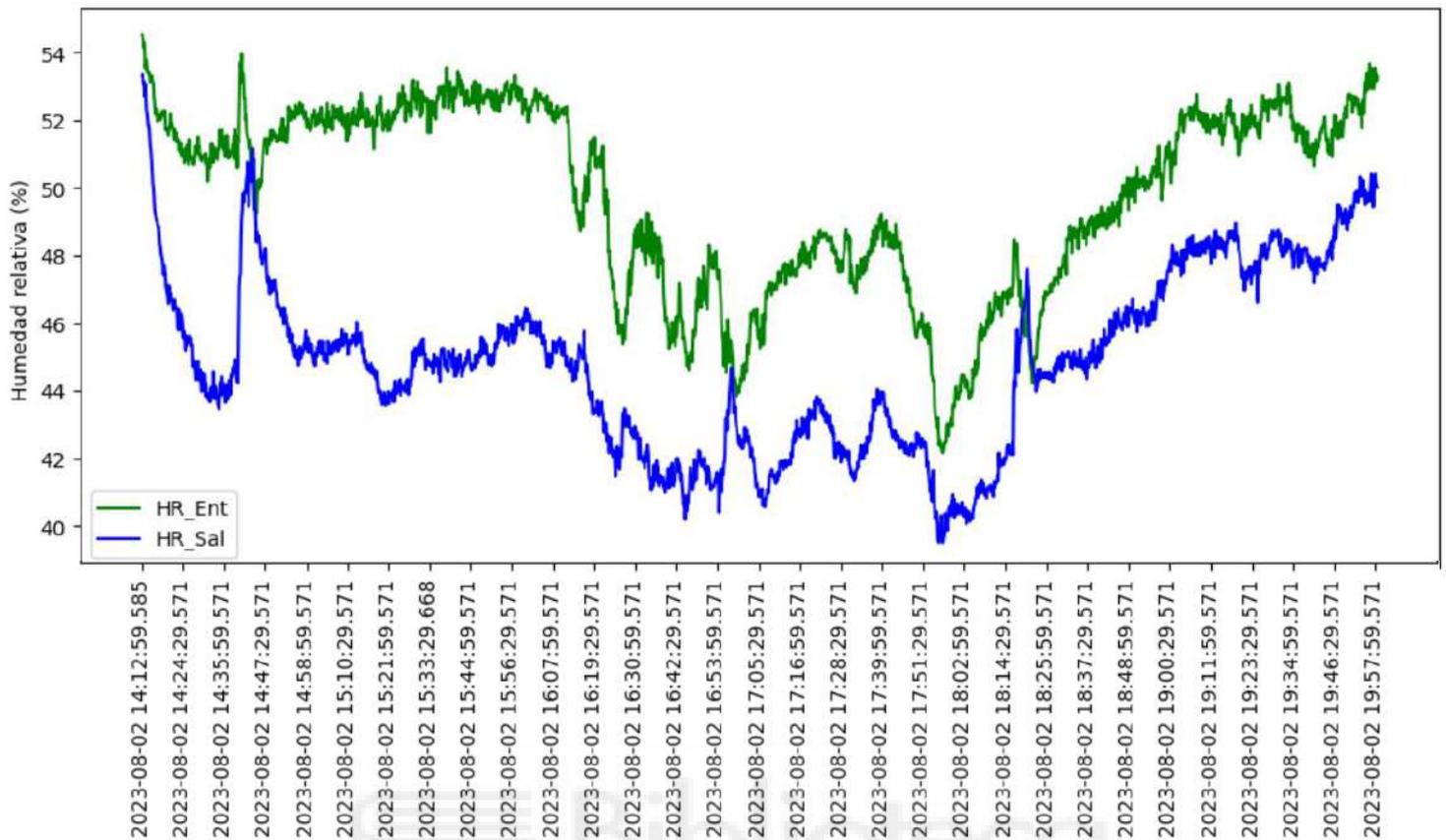


Figura 5.10: 02/08. HR\_Ent, HR\_Sal

Por otro lado, se puede medir también la humedad relativa del aire a la entrada y a la salida del equipo de aire acondicionado. Al igual que en la humedad ambiental, los valores más altos de humedad (tanto a la entrada como a la salida) se encuentran de 14:15 a 16:10 y a últimas horas de la tarde que vuelve a aumentar. A mitad de tarde, de 16:15 a 18:30, se visualiza una depresión en la gráfica, con bajos valores de humedad en el aire.

Tiene sentido que a la entrada del equipo de climatización el aire tenga un porcentaje mayor de humedad relativa que en la salida. Esto es debido al proceso de condensación del ciclo de refrigeración. Esas gotas de agua que se pueden observar en los equipos domésticos de aire acondicionado son la prueba de ello. La máquina absorbe una cierta cantidad de humedad del aire, secando el aire que expulsa, finalmente.

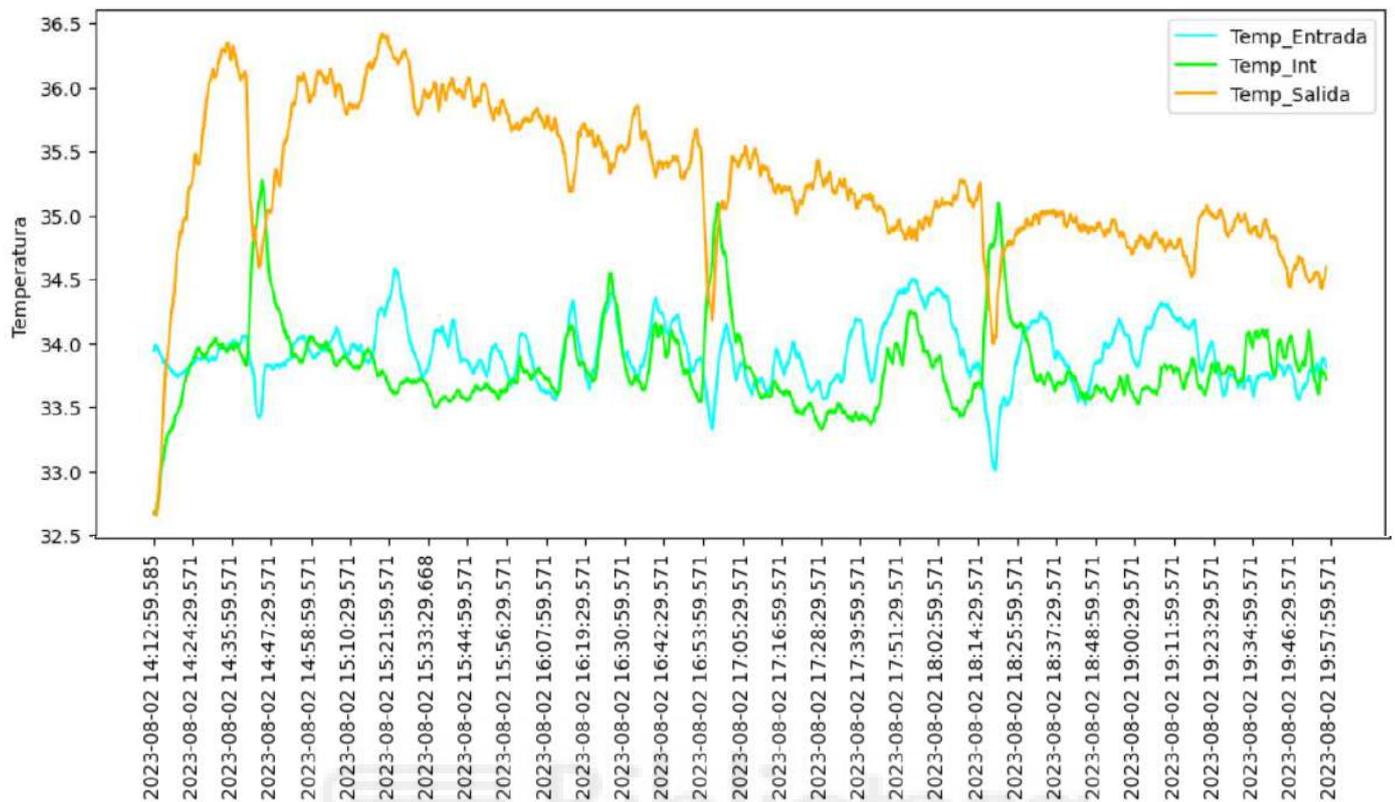


Figura 5.11: 02/08. Temp\_Entrada, Temp\_Int, Temp\_Salida

En esta gráfica se muestran los parámetros de temperatura en el exterior de la máquina: en el interior del laboratorio, justo antes de entrar a la máquina y justo a la salida del ventilador.

Como es natural, la temperatura más alta de todas es la de la salida del ventilador. Se expulsa aire caliente a través de ventilación forzada, como se ha explicado previamente.

La temperatura del laboratorio y de la entrada a la máquina se mantienen prácticamente iguales, como es lógico, ya que a la entrada no se está atomizando agua.

Existen unos curiosos picos en estas gráficas. Esto es debido, de nuevo a la tecnología del equipo de clima que deja de funcionar durante un breve intervalo de tiempo según la velocidad a la que trabaja el compresor. Al dejar de funcionar, el ventilador ya no funciona y el aire en la sección de salida pasa a asemejarse a la temperatura del laboratorio que aumenta debido a que no funciona el equipo de clima que no puede enfriar la estancia.

## PARÁMETROS ELÉCTRICOS E IRRADIANCIA

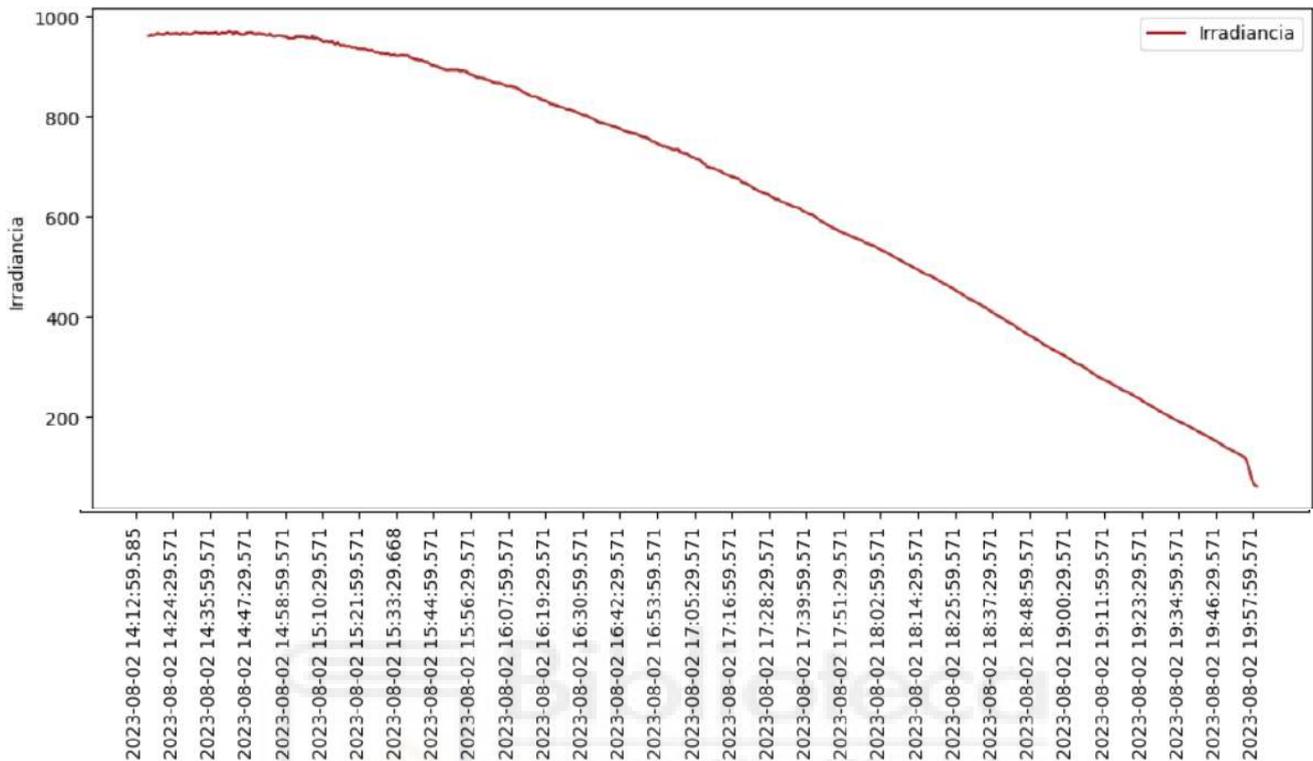


Figura 5.12: 02/08. Irradiancia

Los valores de irradiancia van ligados a la radiación que emite el Sol por unidad de superficie. Evidentemente, de madrugada y por la noche estos valores son muy bajos, al mediodía se encuentra el pico de radiación, mientras que, por la tarde, conforme pasa el tiempo estos valores se reducen considerablemente.

El ensayo que se está tratando comienza a las 14:00, aproximadamente, por ello se encuentra el pico de irradiancia nada más comenzar el ensayo, rondando los 1000 vatios por metro cuadrado. Va evolucionando de la misma forma, disminuyendo de forma parabólica hasta llegar al mínimo valor al final del ensayo: cerca de los 60 vatios por metro cuadrado a las 20:00 horas.

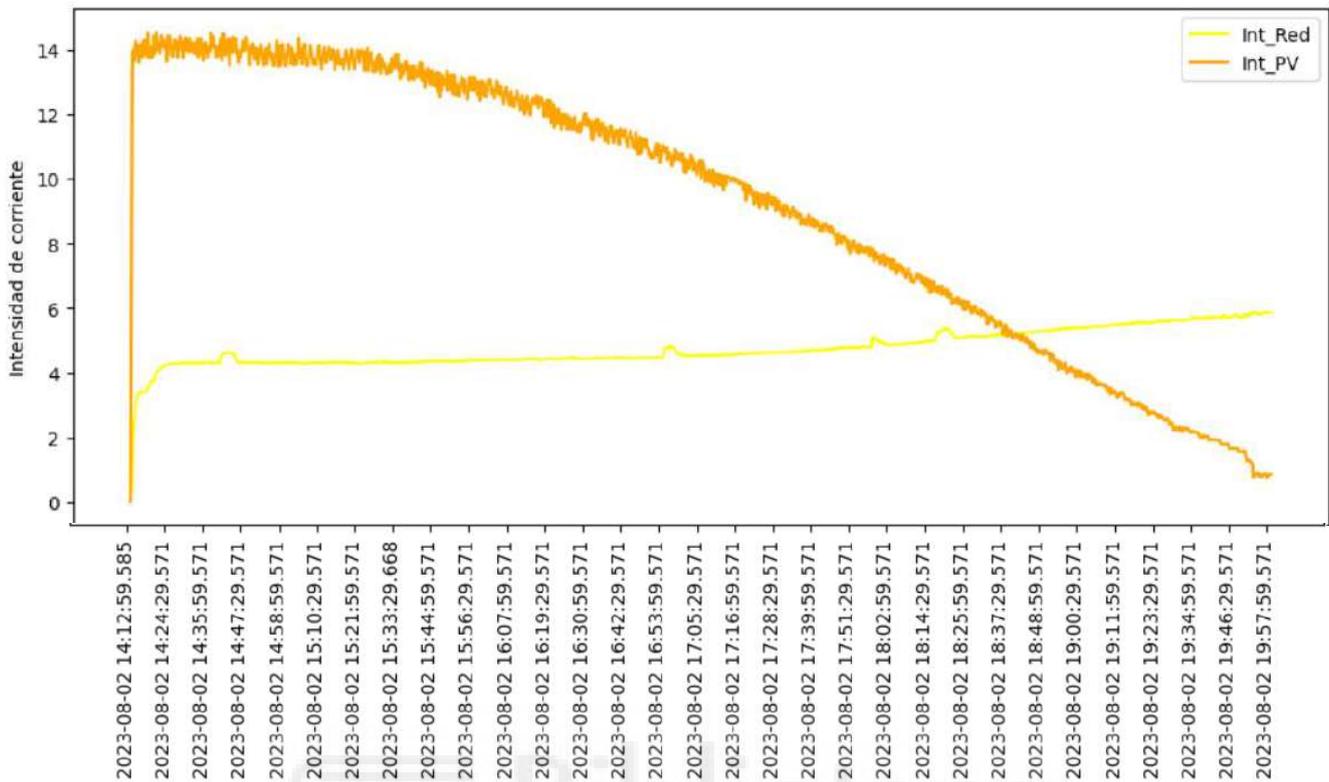


Figura 5.13: 02/08. Int\_Red, Int\_PV

**Valor medio Int\_Red**=4.741201502696549

**Valor medio Int\_PV**=9.259308089046879

La gráfica de intensidad de corriente generada por los módulos fotovoltaicos, prácticamente, tiene forma de un cuarto de circunferencia, al igual que la gráfica de irradiancia. A primera hora del ensayo, sobre las 14:00 a mayor irradiancia se consigue la mayor intensidad, pero a medida que avanza la tarde y disminuye la irradiancia, los valores de intensidad disminuyen, ya que esta depende en gran medida de los parámetros ambientales, no como la intensidad de red.

El suministro de intensidad de red es continuo, aumenta ligeramente a lo largo de la tarde, puesto que la temperatura del laboratorio va aumentando. Ese aumento de temperatura se traduce en una mayor demanda por parte del equipo de clima, es decir, será necesaria mayor intensidad de corriente eléctrica.

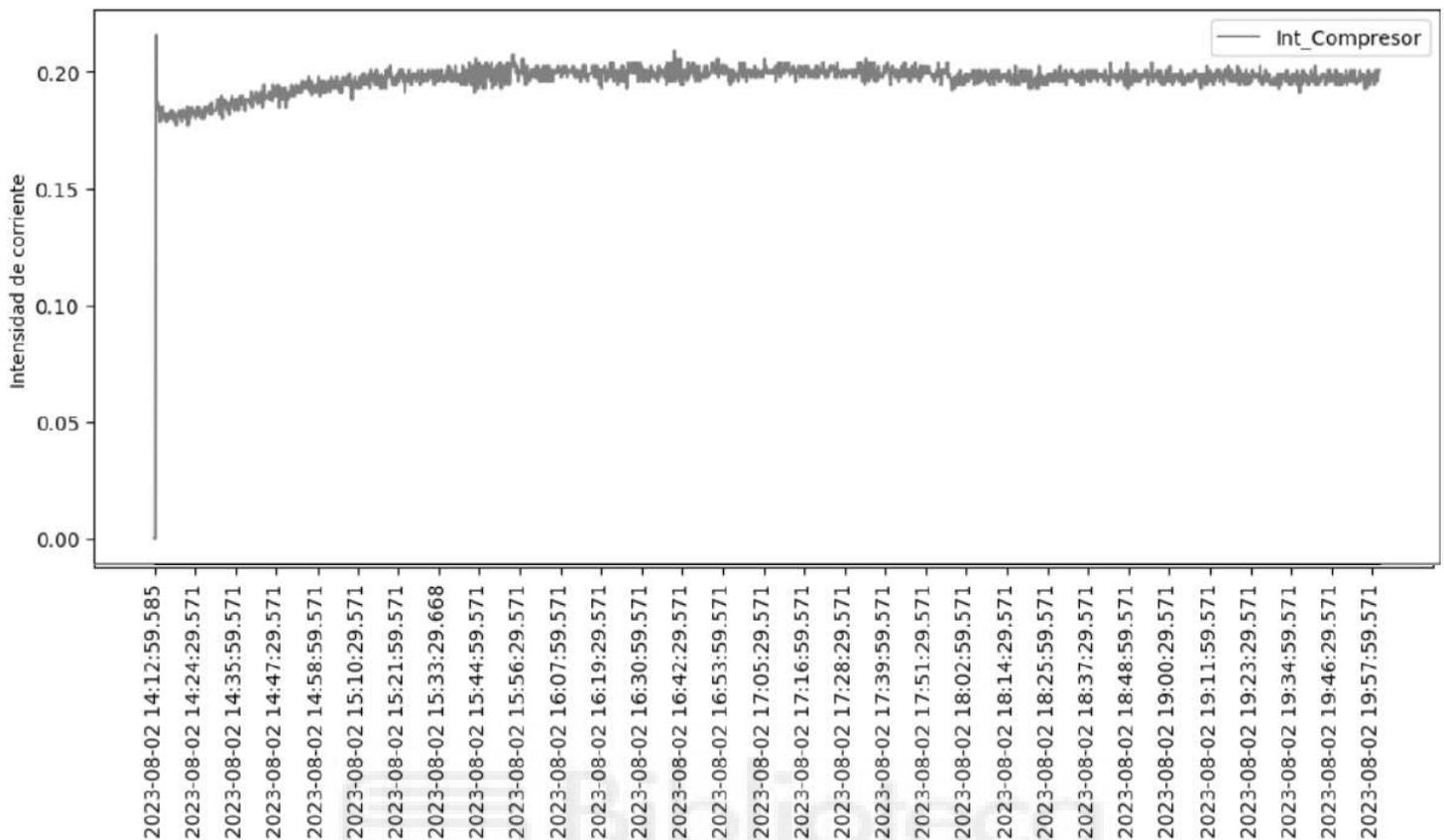


Figura 5.14: 02/08. Int\_comp

La gráfica de la intensidad del compresor es muy reconocible. En primer lugar, el arranque de este. En el arranque de un compresor, motor... se demanda una intensidad mayor que en el funcionamiento estable del equipo. Tras alcanzar este pico de intensidad, la corriente eléctrica se estabiliza cerca de los 0.2 Amperios.

En el régimen estable se aprecia un ligero incremento de intensidad del orden de las decenas de miliamperios. Esto es debido a que la temperatura en el interior del laboratorio aumenta y la demanda del equipo de aire acondicionado aumenta.

Más tarde se estabiliza en los 0.2 Amperios, ya que la temperatura en el interior del laboratorio ya no sube, el día avanza, las horas pasan y la temperatura ambiental y la del laboratorio no suben, sino que como hemos visto previamente se mantienen en un valor cercano a los 33 °C.

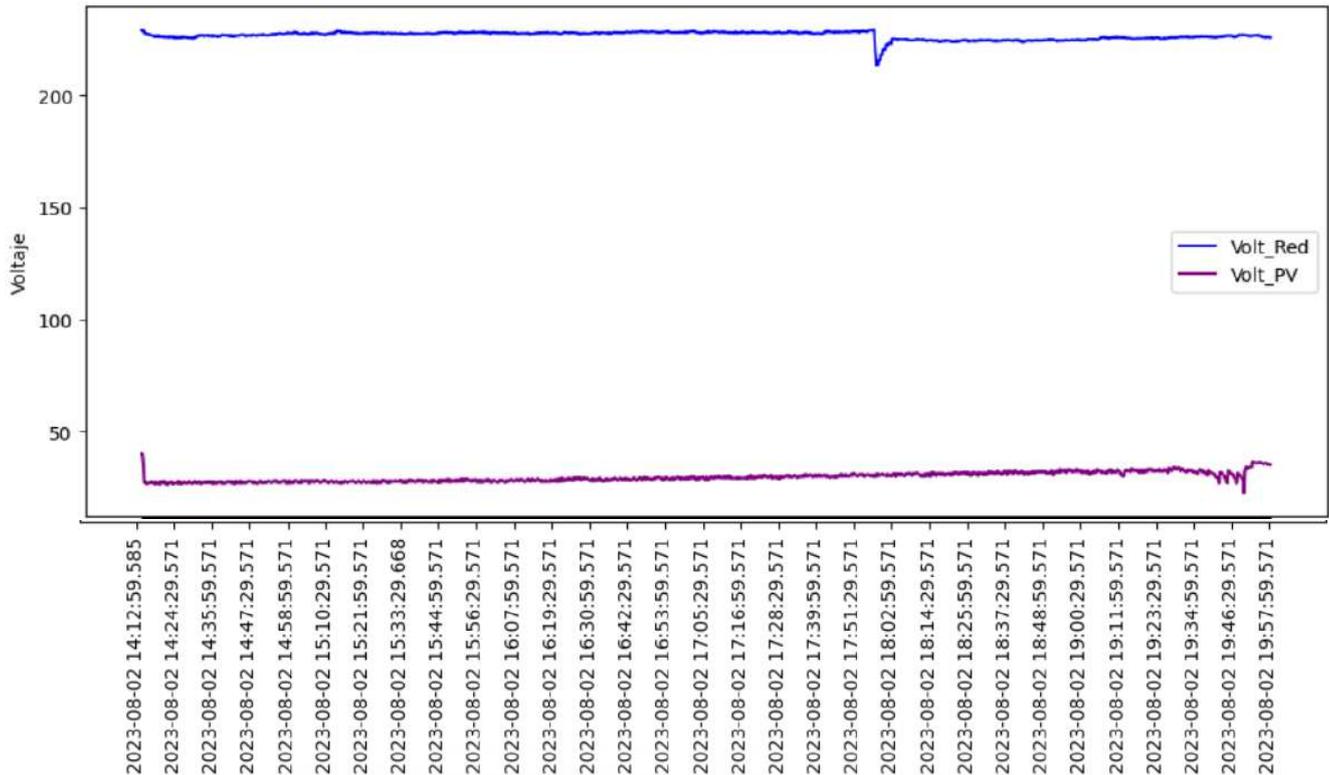


Figura 5.15: 02/08. Volt\_Red, Volt\_PV

**Valor medio Volt\_red**=226.55981147123683

**Valor medio Volt\_PV**=29.77849990810163

La gráfica de voltajes es bastante simple. Por un lado, el voltaje de red siempre va a ser similar, rondando los 230 voltios en monofásico y 400 en trifásico. Como se trabaja en monofásico se tiene un valor de 230 voltios.

Por otra parte, el voltaje de la instalación fotovoltaica se mantiene también constante cercano a los 30 voltios. Se aprecia una ligera subida conforme va pasando la tarde. Esto es debido a uno de los factores que influye en los paneles fotovoltaicos, la temperatura. Al disminuir progresivamente la temperatura el voltaje sube ligeramente a la vez.

Una vez se han obtenido todas las gráficas y extraído los valores medios, es momento de hallar los valores que permiten obtener el dato de eficiencia energética del equipo de climatización.

Potencia de entrada:

$$P_{entrada} = P_{red} + P_{fotovoltaica}$$

$$= (Int_{red} * Volt_{red}) + (Int_{fotovoltaica} * Volt_{fotovoltaica})$$

Los parámetros de potencia eléctrica se pueden descomponer en el producto de tensión por intensidad de corriente. De este modo, si es posible calcular la potencia eléctrica de entrada, ya que se conocen los valores medios tanto de tensión eléctrica como de intensidad de corriente (valores de red y de la instalación fotovoltaica).

Cabe destacar, como se ha mencionado en la gráfica de Intensidad de red, que es esta, la red eléctrica la que aporta cerca de 4.7 A lo que equivale a la totalidad de intensidad requerida. Eso quiere decir que el interruptor que conecta la instalación fotovoltaica con el suministro a la máquina está abierto, la fotovoltaica está “desconectada”.

**Valor Int\_Red=4.741201502696549**

**Valor Int\_PV=9.263747932255313**

**Valor Volt\_red=226.55981147123683**

**Valor Volt\_PV=29.77849990810163**

Sustituyendo estos parámetros eléctricos en la ecuación anterior y se obtiene un valor de potencia de entrada

**$P_{entrada} = 1349.5646 \text{ W}$**

Potencia de salida:

$$P_{salida} = \dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_1' - h_4)$$

Para hallar la potencia de salida, se encuentran tres incógnitas como son el caudal másico de refrigerante R410A y los valores de entalpía antes y después de entrar al evaporador. Primeramente, se hallará la masa de refrigerante por unidad de tiempo en este ensayo. Para ello, las lecturas de los sensores y las tablas de propiedades termodinámicas serán de gran ayuda.

Como se vio en el apartado de análisis matemático:

$$P_{compresor} * \eta_{mecánico} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_2 - h_1)$$

$$P_{compresor} = 0.8302 * P_{entrada}$$

Como ya es conocida la potencia de entrada se puede hallar la potencia consumida por el compresor:

$$P_{compresor} = 1120.4185 \text{ W}$$

El rendimiento mecánico del compresor también es un dato conocido, este es del 93%. Por tanto, únicamente queda conocer la diferencia de entalpía entre la salida y entrada del compresor, relativos al estado 2 y 1, respectivamente.

Valores de presión y temperatura en el estado 2:

$$\text{Valor } T_{sal\_comp} = 91.58$$

$$\text{Valor } P_{desc\_comp} = 34.27$$

Valores de presión y temperatura en el estado 1:

$$\text{Valor } T_{ent\_comp} = 19.90$$

$$\text{Valor } P_{asp\_comp} = 9.48$$

Empleando el software EES o librerías específicas en el cuaderno Jupyter, es posible hallar la entalpía de los estados deseados conociendo dos datos, como, en este caso, la temperatura y la presión:

$$h_2 = 480.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_1 = 438.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Estos valores tienen sentido, ya que el ciclo frigorífico cuenta con una compresión y una expansión casi isoentálpica (totalmente isoentálpica en el ciclo ideal), es decir, la diferencia de entalpía en el proceso de compresión (o expansión) es cero, aproximadamente. Lógicamente, tienen lugar en el compresor y en la válvula de expansión, respectivamente.

$$P_{compresor} * \eta_{mecánico} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_2 - h_1)$$

De esta ecuación se puede despejar el caudal másico de refrigerante:

$$\dot{m}_{refrigerante} = 0.02517 \text{ kg/s}$$

Una vez calculado el flujo másico de refrigerante, únicamente falta hallar las entalpías a la entrada y a la salida del evaporador,  $h_4$  y  $h_1$ .

$$P_{salida} = \dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_1' - h_4)$$

Como se detallaba en el apartado de análisis matemático a través de EES se obtiene la entalpía para el estado 1' gracias a la temperatura y presión a la salida del evaporador, pero la entalpía del estado 4 la obtendremos con la temperatura y presión del estado 3 y asumiendo que se produce en la válvula de expansión del equipo una expansión isoentálpica.

Valores de presión y temperatura en el estado 3

**Valor medio T\_sal\_cond=33.90**

**Valor medio P3\_ent\_valv=33.90**

Valores de presión y temperatura en el nuevo estado 1

**Valor medio T\_sal\_evap=17.66**

**Valor medio P\_asp\_comp=9.48**

$$h_1' = 436.5 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_4 = 254.2 \text{ kJ/kg}$$

Finalmente, ya es posible hallar la potencia de salida o calor útil, intercambiado en el evaporador

$$P_{salida} = 4588.2353 \text{ W}$$

Contando con los valores finales de potencia de salida y potencia de entrada uno es capaz de obtener el dato de eficiencia energética:

$$EER = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{4588.2353 \text{ W}}{1349.5646 \text{ W}}$$

$$EER = 3.4$$

Este es el resultado de este primer ensayo. De cada vatio eléctrico que ha consumido la máquina, esta ha generado una potencia térmica equivalente a 3,4 vatios.

5.2.2. Ensayo húmedo. 1 de agosto de 2023

El ensayo del día 1 de agosto de 2023 será distinto al anterior tratado, al del día 2. Las condiciones climáticas ambientales pueden ser diferentes y son cruciales a la hora de obtener un valor final de ahorro de energía o eficiencia energética. Pero, sobre todo, la principal diferencia es la instalación de la sección de preenfriamiento evaporativo compuesta por la parrilla de atomizadores ultrasónicos de agua. En este ensayo se han empleado en total 81 atomizadores entre las 15:30 horas y las 17:30 horas.

### PARÁMETROS TÉRMICOS, AMBIENTALES Y DE PRESIÓN

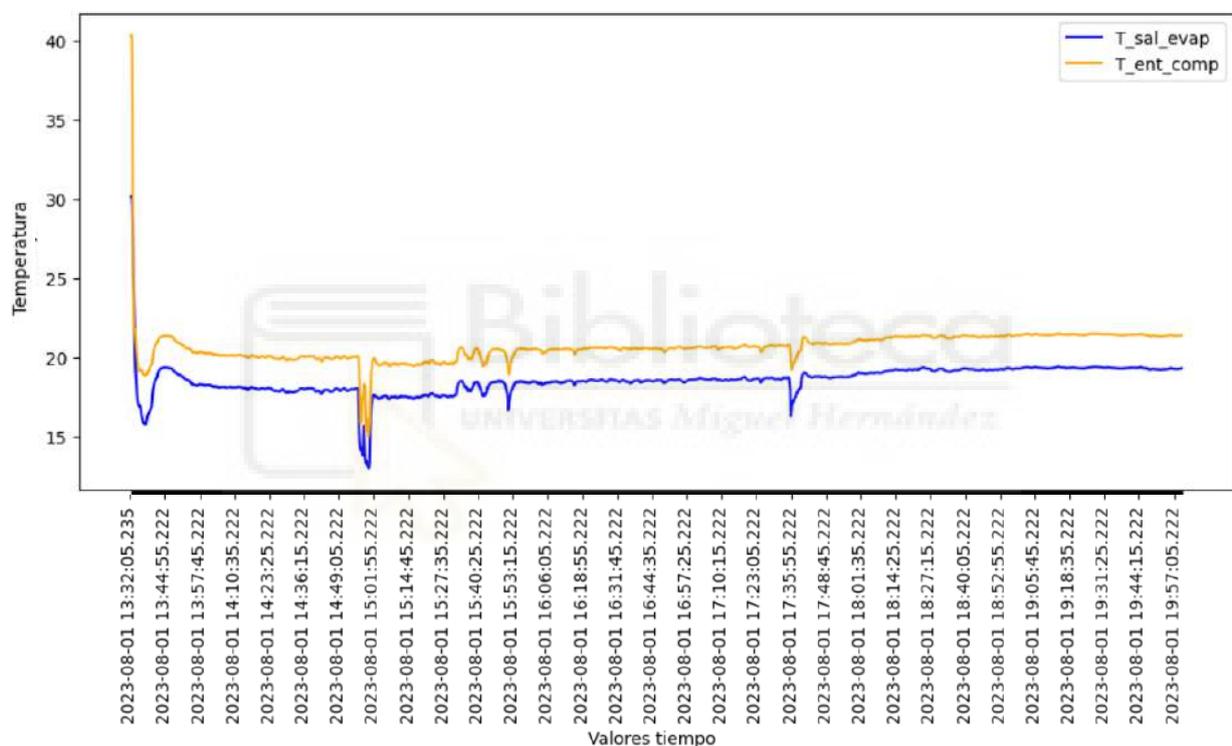


Figura 5.16: 01/08. T\_sal\_evap, T\_ent\_comp

**Valor medio T\_sal\_evap=18.51814833687366**

**Valor medio T\_ent\_comp=20.611466579571733**

Repitiendo las gráficas que se elaboraron en el ensayo anterior, la gráfica que mide la temperatura de salida del evaporador y entrada al compresor es muy similar a la del primer ensayo. Valores muy similares con picos de temperatura menos acentuados.

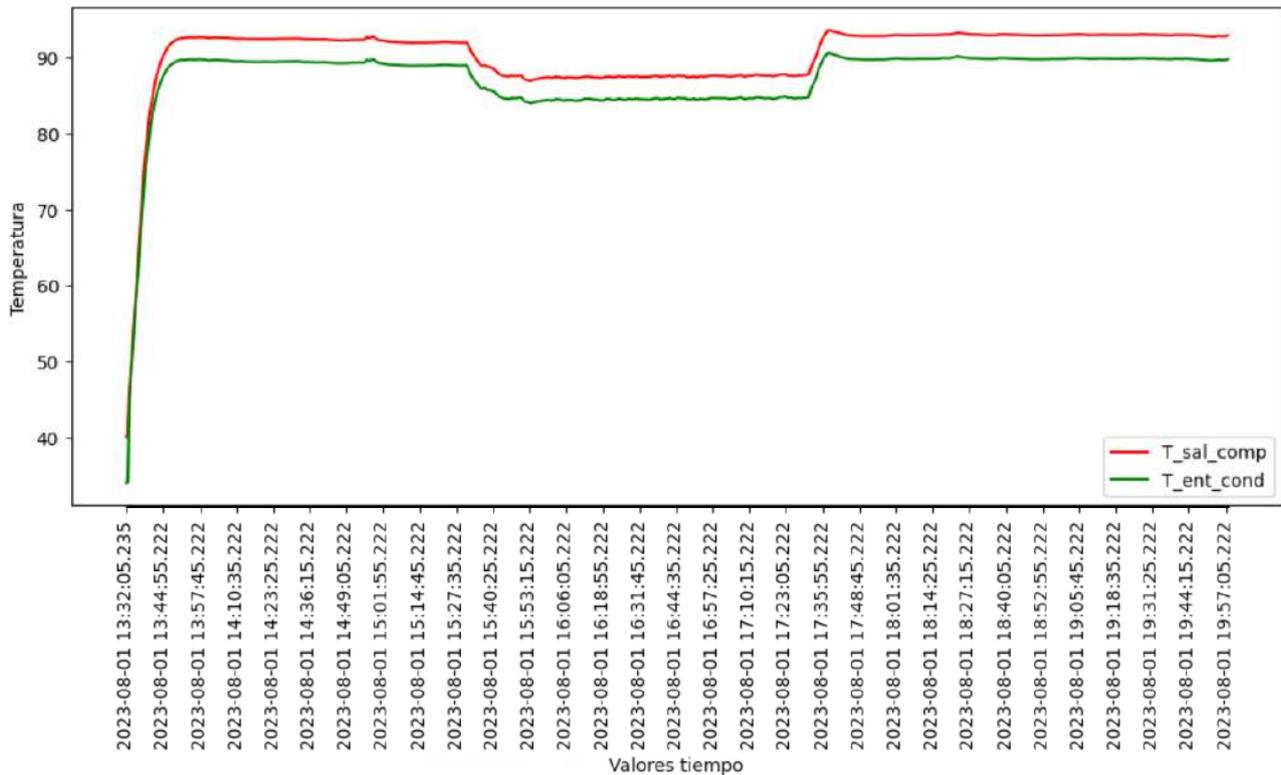


Figura 5.17: 01/08. T\_sal\_comp, T\_ent\_cond

**Valor medio T\_sal\_comp**=90.40962111862954

**Valor medio T\_ent\_cond**=87.39943468736617

De nuevo, la gráfica de temperaturas, a la salida del compresor y a la entrada del condensador es muy similar a la del primer ensayo. Tanto en el trazado de la función como en los valores medios obtenidos.

La primera gran subida de temperatura a primera hora del ensayo corresponde con el encendido del equipo.

El escalón de bajada de temperaturas entre las 15:30 y 17:30 es justamente debido a la atomización de agua que tiene lugar en ese intervalo. El aire de entrada a la máquina se enfría y no tiene una temperatura tan elevada al entrar al condensador. Se verá en las próximas gráficas como repercute en las distintas variables que restan por estudiar.

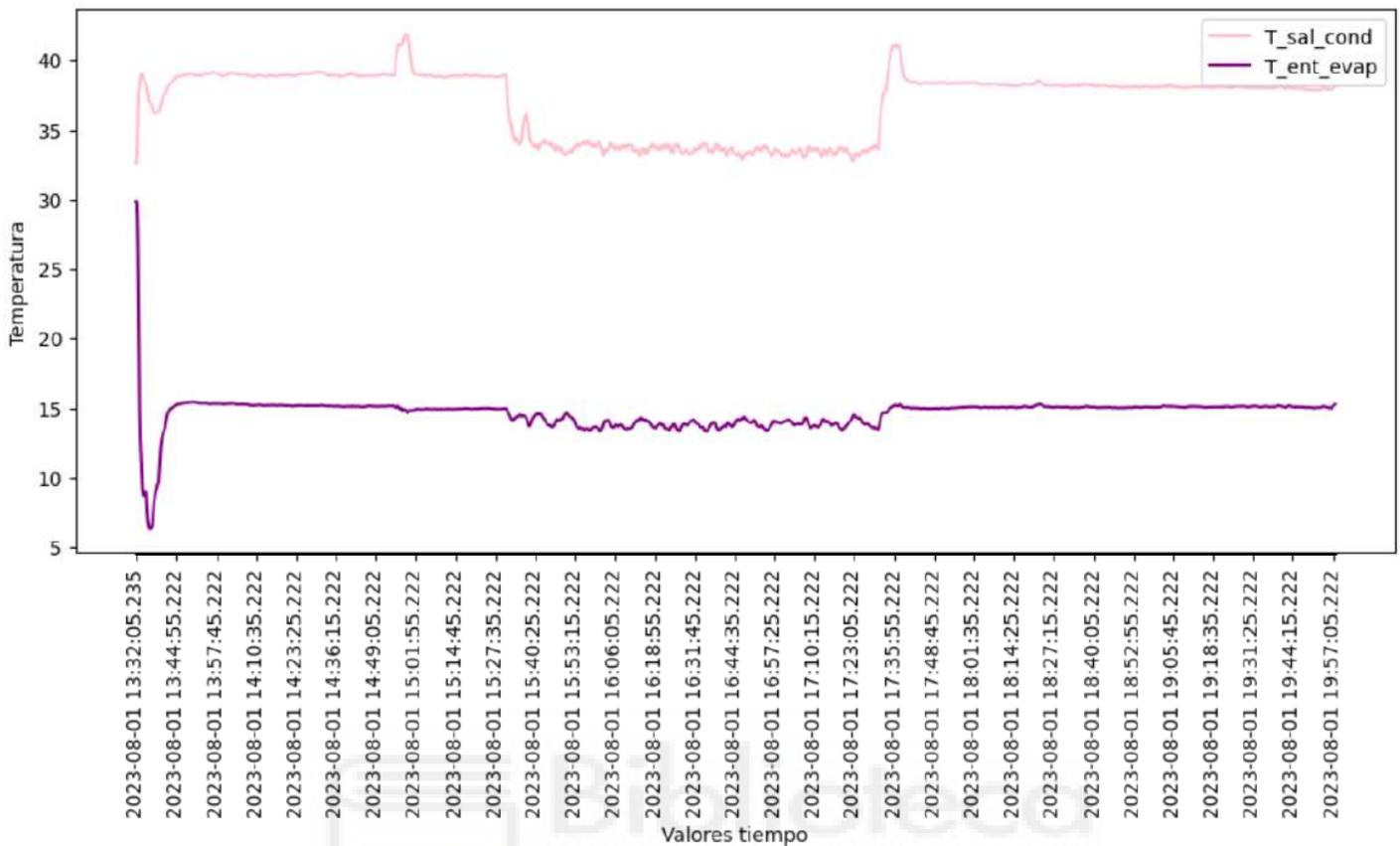


Figura 5.18: 01/08. T\_sal\_cond, T\_ent\_evap

**Valor medio T\_sal\_cond**=37.00314613957173

**Valor medio T\_ent\_evap**=14.61735777400428

De nuevo, se aprecia el mismo escalón de bajada de temperaturas de 15:30 a 17:30 por acción de la parrilla de atomizadores. Es evidente que, si el aire pasa por el condensador a una temperatura más baja, saldrá de este a una temperatura más baja. A la hora de entrar al evaporador, más tarde en el ciclo, ese descenso de temperatura no es tan apreciable.

Quitando el escalón, la gráfica es, nuevamente, similar a la del primer ensayo analizado en seco, con temperaturas similares.

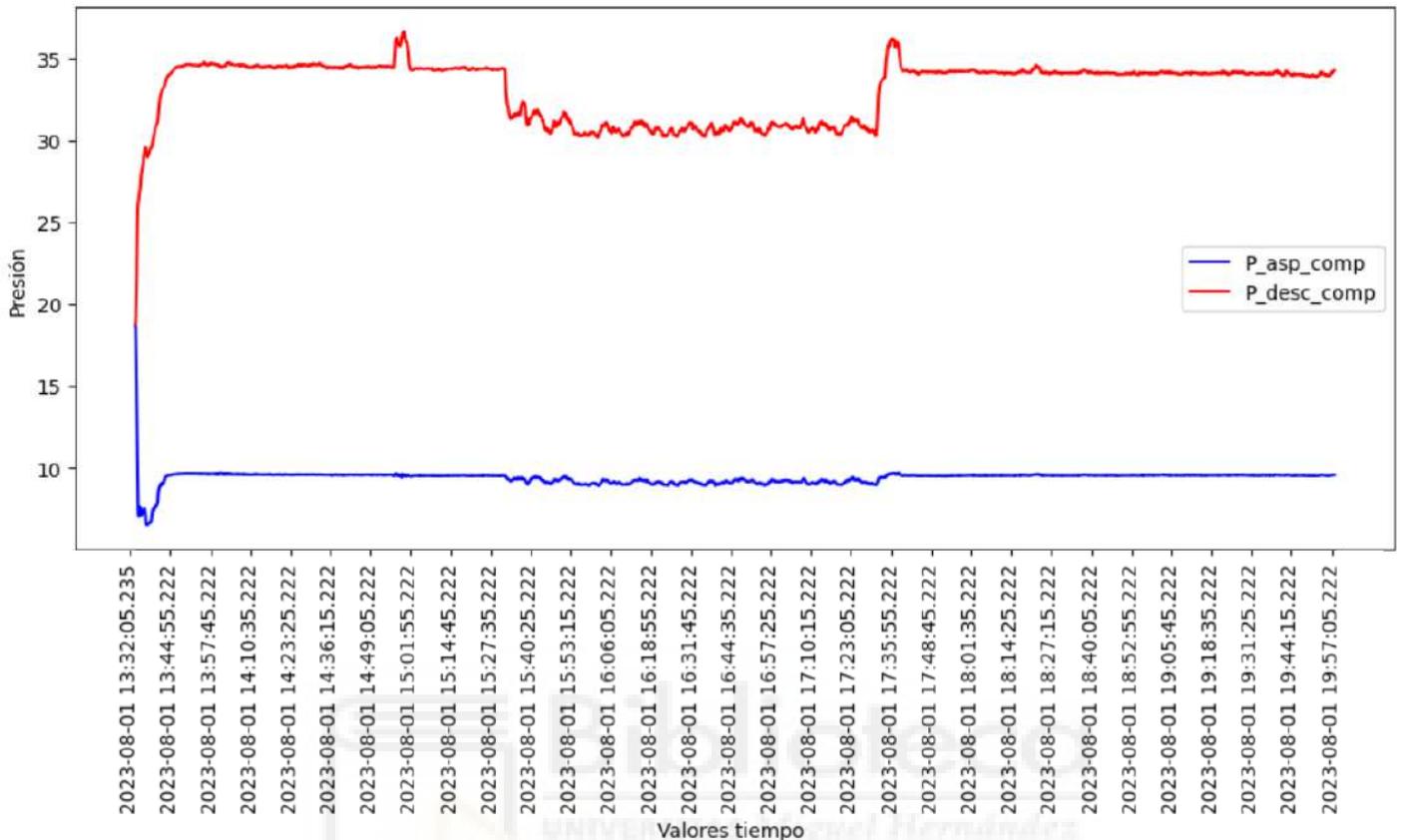


Figura 5.19: 01/08. P\_asp\_comp, P\_desc\_comp

**Valor medio P\_asp\_comp**=9.423895152895074

**Valor medio P\_desc\_comp**=33.10637045404711

Como se mencionaba previamente, efectivamente se aprecia el escalón de bajada en la gráfica de presión, concretamente en la presión de alta, justamente a la salida del compresor. Este es el efecto de la atomización de agua. Esa bajada en la temperatura que se apreciaba a la entrada del condensador se refleja ahora en un descenso en la presión de alta. Esto tiene sentido, ya que si la presión no bajara se podría saturar el gas y aparecer las primeras gotas de agua antes de entrar al condensador.

Por lo demás, la gráfica es semejante a la del primer ensayo. Las presiones se mantienen constantes en régimen estable, con valores medios similares a los del primer ensayo que se llevó a cabo sin pulverizar agua.

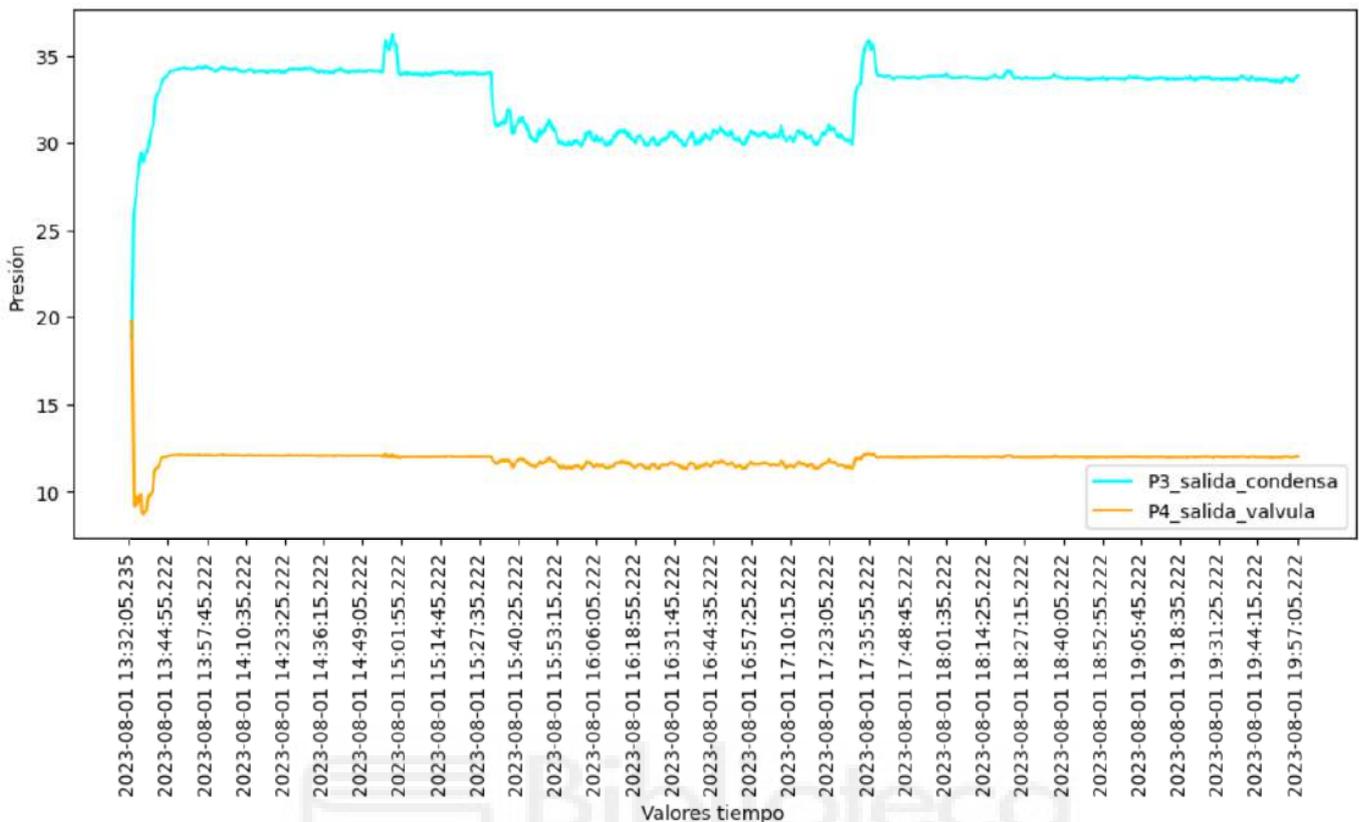


Figura 5.20: 01/08. P3\_salida\_condensa, P4\_salida\_valvula

**Valor medio P3\_salida\_condensa=32.73543645593148**

**Valor medio P4\_salida\_valvula=11.836847821207709**

Repitiendo el razonamiento seguido en la explicación dada en el primer ensayo, esta gráfica debe ser igual a la anterior, la de la figura 4.19. Esto es porque en el ciclo de refrigeración hay una presión de alta y una presión de baja. Teniendo cuatro estados en el ciclo dos de ellos se caracterizan por tener una presión de alta y los otros dos tienen una presión de baja. Para cambiar de un nivel de presión a otro se debe pasar por el compresor o por la válvula de expansión.

Efectivamente, la gráfica es igual a la anterior, variando ligeramente los valores medios de presión.

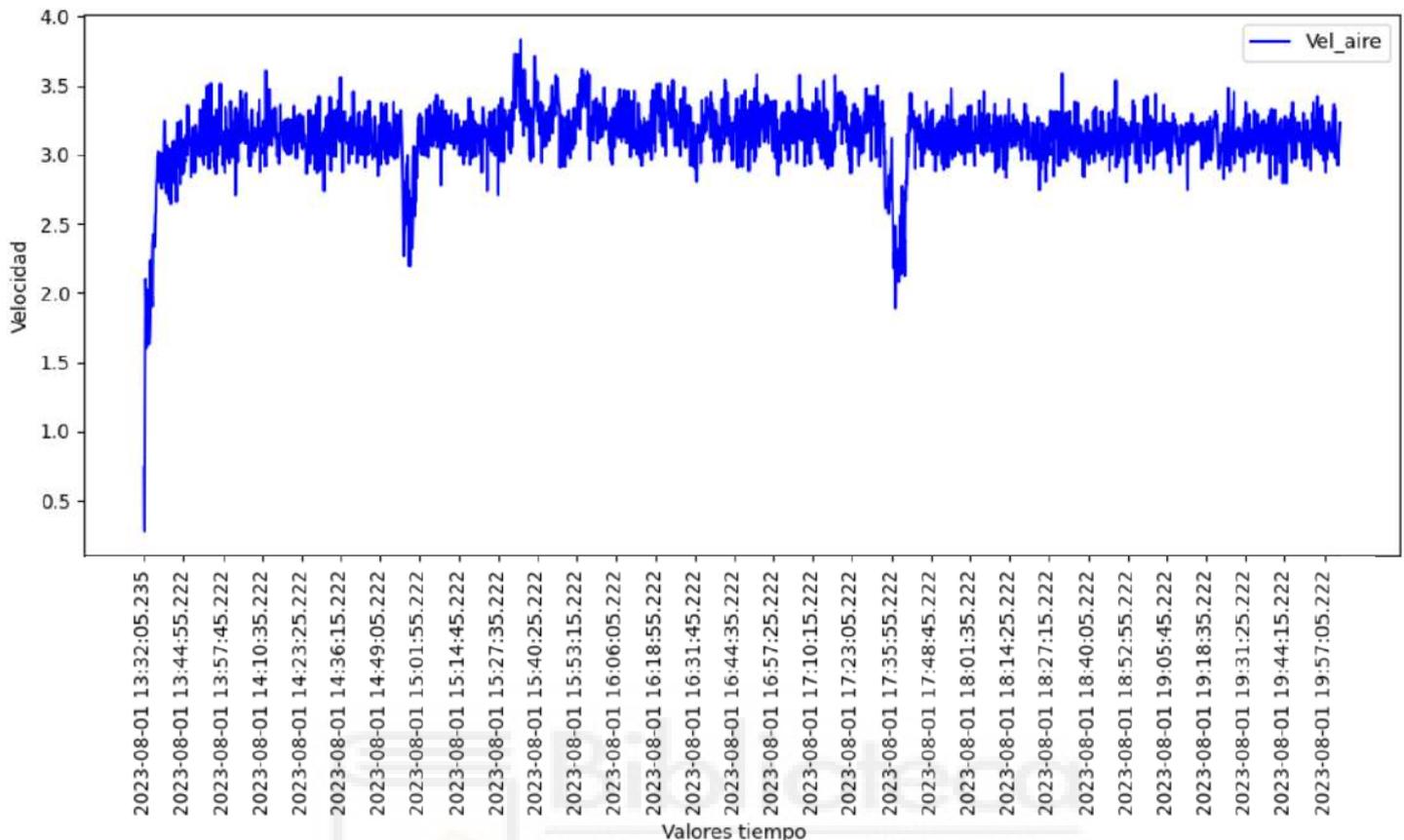


Figura 5.21: 01/08: Vel\_aire

La gráfica de velocidad con la que el ventilador expulsa el aire del equipo de climatización siempre va a ser igual. Con aumentos y descensos de la velocidad en función de la demanda. A mayor demanda, mayor calentamiento del equipo, mayor potencia del ventilador y con ello mayor velocidad del aire.

Justo esos picos de bajada de velocidad del aire coinciden con los picos de bajada de temperatura de salida del evaporador provocados por una menor demanda del equipo de clima, justamente en el período de tiempo en el que se atomiza agua. El equipo no se sobrecalienta tanto y el ventilador puede reducir su consumo.

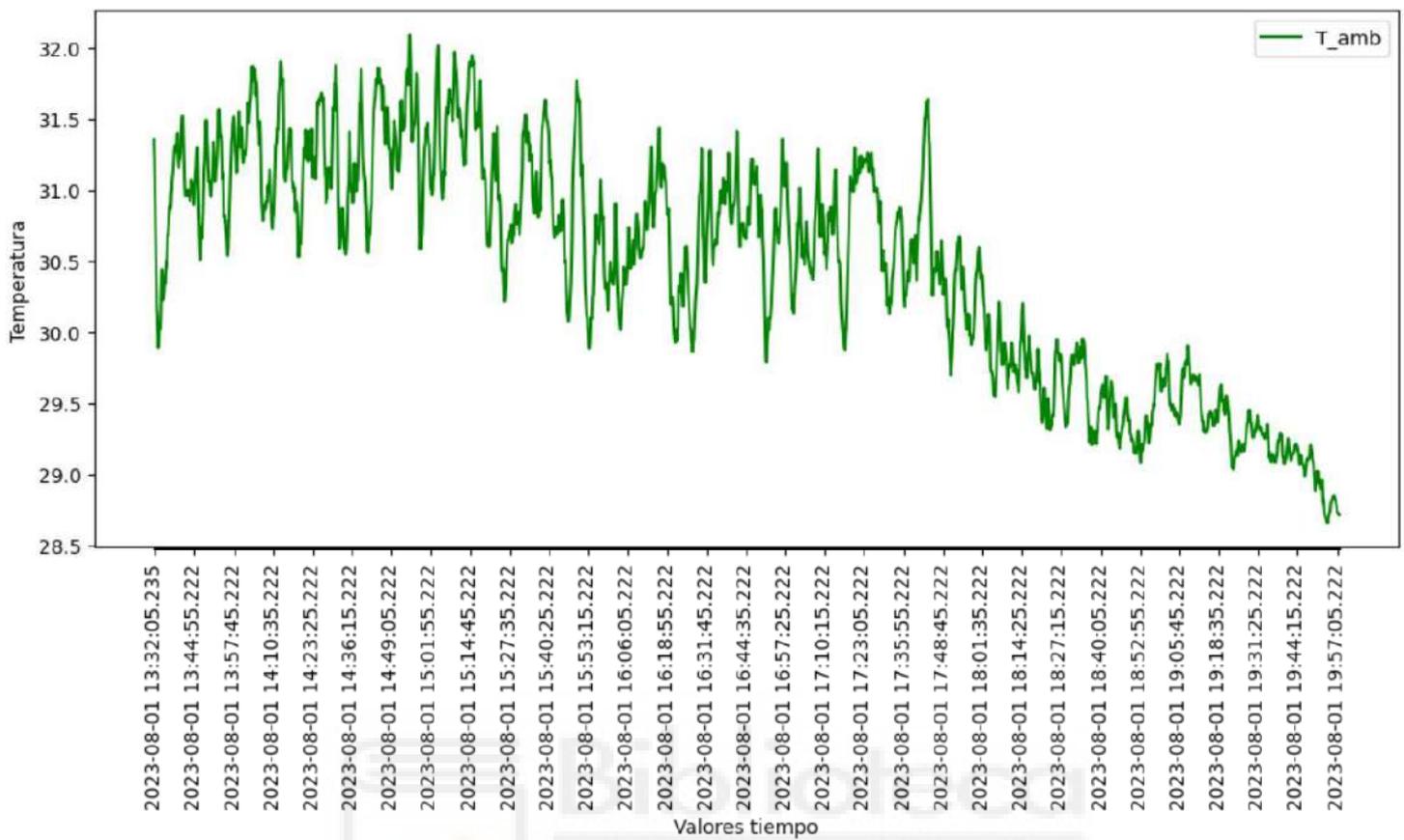


Figura 5.22: 01/08. T\_amb

Las condiciones climáticas ambientales del día 1 de agosto son ligeramente diferentes a las del 2 de agosto. En primer lugar, son distintas porque, en este caso, el pico de temperatura se encuentra, como suele ser normal, a las 15:00 horas, mientras que el día 2 de agosto tratado en el ensayo anterior era, relativamente, más extraño porque se encontraban los picos más altos de temperaturas en horas cercanas a las 18:00 horas de la tarde.

En cuanto a valores máximos y mínimos, las cifras comparadas con el otro ensayo son similares. Máximos de 32 °C y mínimos situados a últimas horas de la tarde, como es natural.

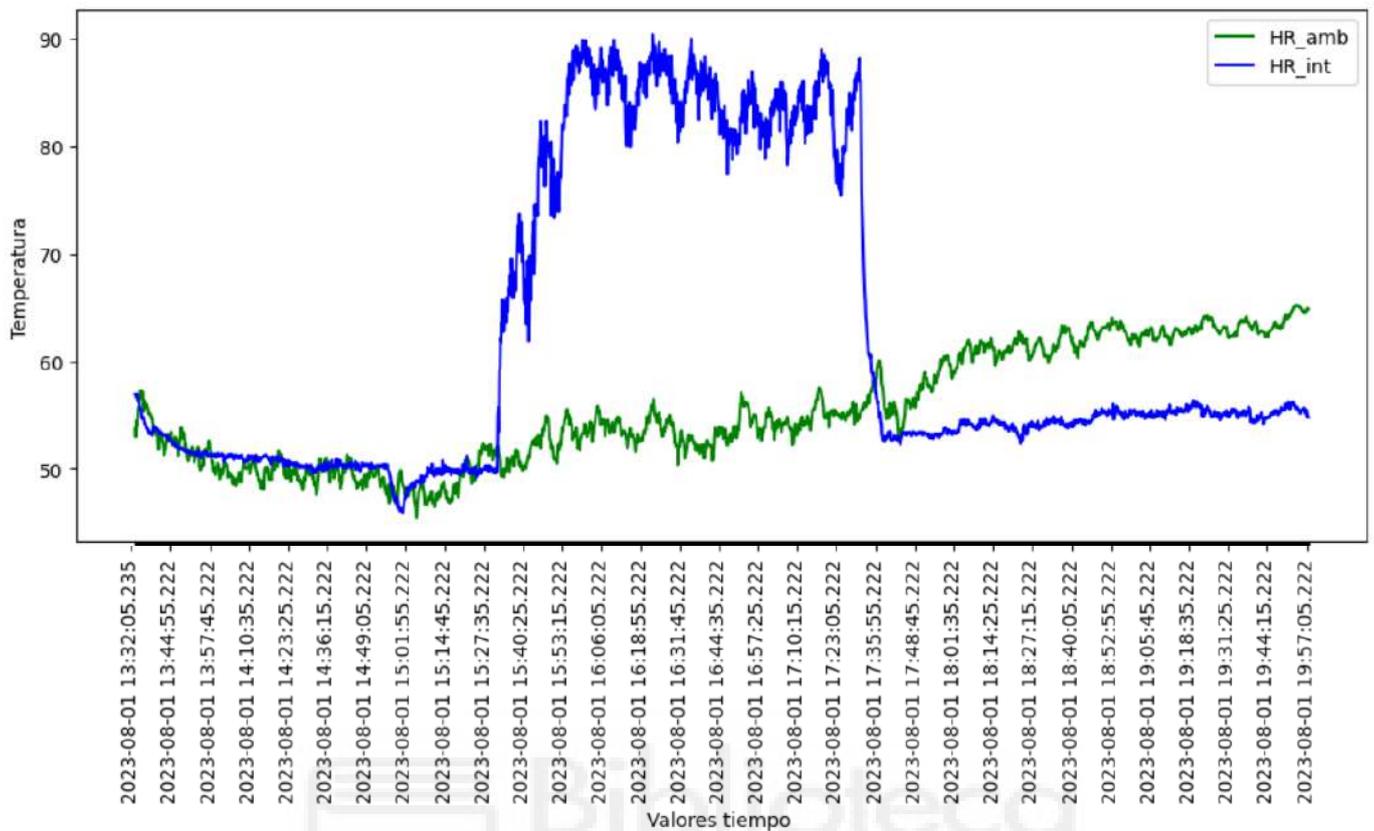


Figura 5.23: 01/08. HR\_amb, HR\_int

La humedad relativa en el aire medido en el exterior del laboratorio sigue un comportamiento normal y similar al del día anterior, sin embargo, el cambio a destacar es el que sufre la humedad del laboratorio. La sección de preenfriamiento evaporativo se pone en marcha y la atomización de agua aumenta en gran medida la humedad en el aire del laboratorio, llegando a niveles cercanos de poder saturar el aire. Justamente, este aumento de humedad se corresponde al mismo intervalo de tiempo en el que han sufrido cambios las demás variables, de 15:30 a 17:30 horas.

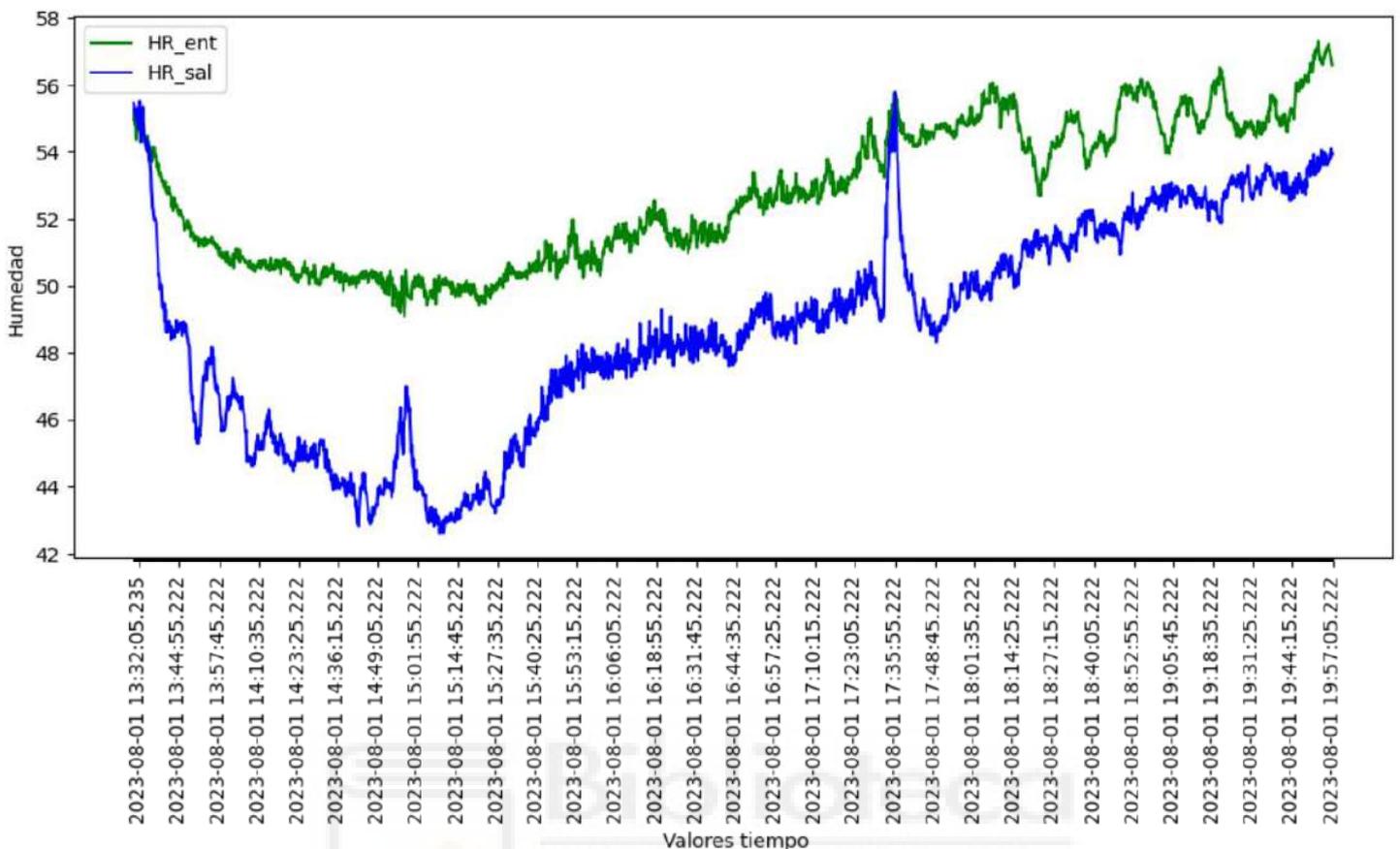


Figura 5.24: 01/08. HR\_ent, HR\_sal

La gráfica de humedad del aire a la entrada y a la salida del equipo no difiere en gran medida de la del ensayo pasado en seco. Sin embargo, sí que hay un punto a destacar. En el momento en el que se enciende la parrilla de atomizadores ambos valores de humedad comienzan a subir, pero siguiendo la tendencia que sigue la humedad fuera del laboratorio. Sí es cierto que, progresivamente, la humedad de salida se va acercando a la de entrada, se está humedeciendo el aire de salida, pero a un ritmo muy lento. En un espacio de un día no hay problema de saturar el aire, pero a la larga puede presentar problemas de saturar el aire, conseguir un efecto contrario al de refrigeración que se desea obtener.

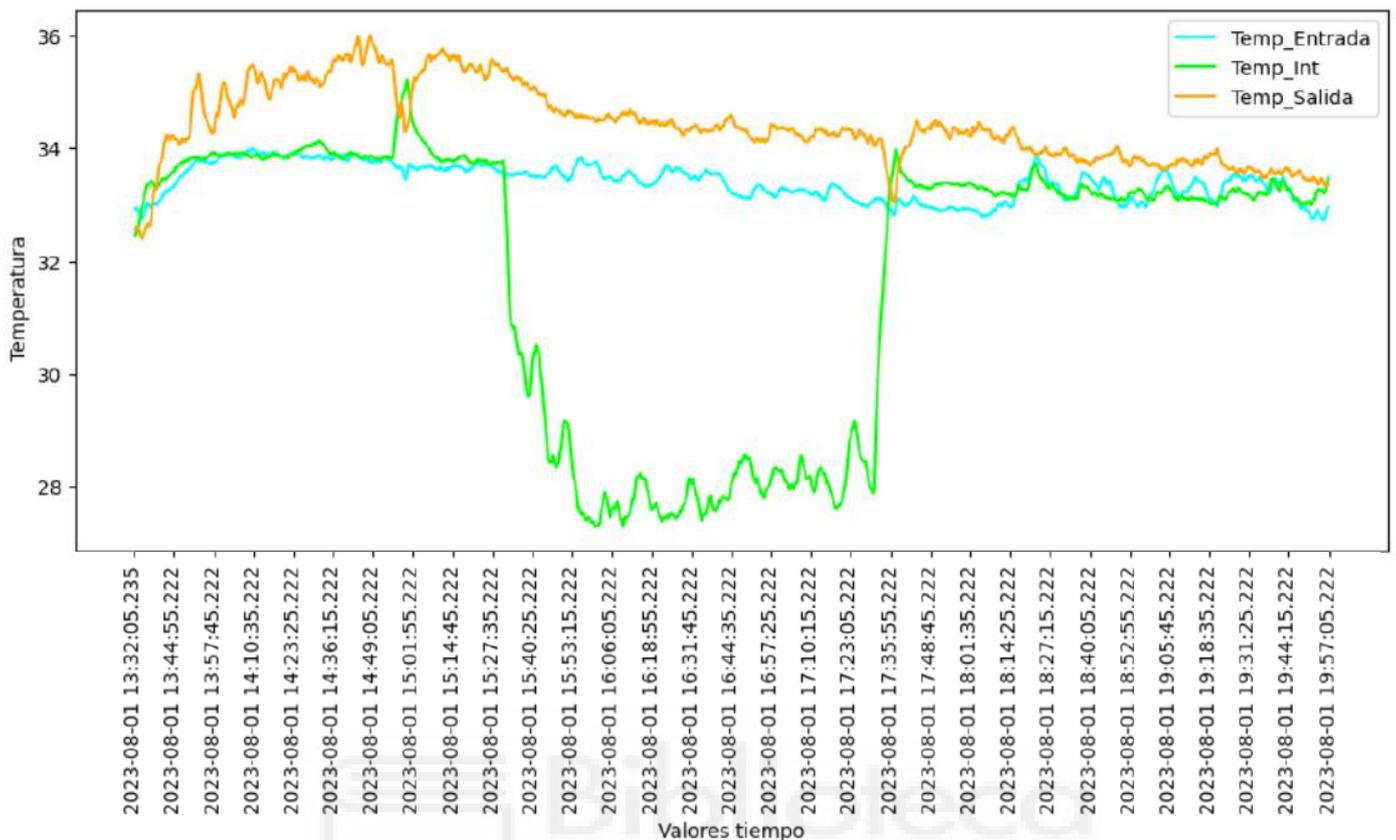


Figura 5.25: 01/08. Temp\_Entrada\_Temp\_Int, Temp\_Salida

Tanto la temperatura del aire de salida como el de entrada se comportan de forma similar al anterior ensayo, esta vez trabajando a temperaturas más bajas.

El cambio notable se aprecia en la temperatura del laboratorio, que baja considerablemente de 34 °C a 28 °C por la acción de la parrilla de atomizadores de agua en el período de 15:30 a 17:30.

### PARÁMETROS ELÉCTRICOS E IRRADIANCIA

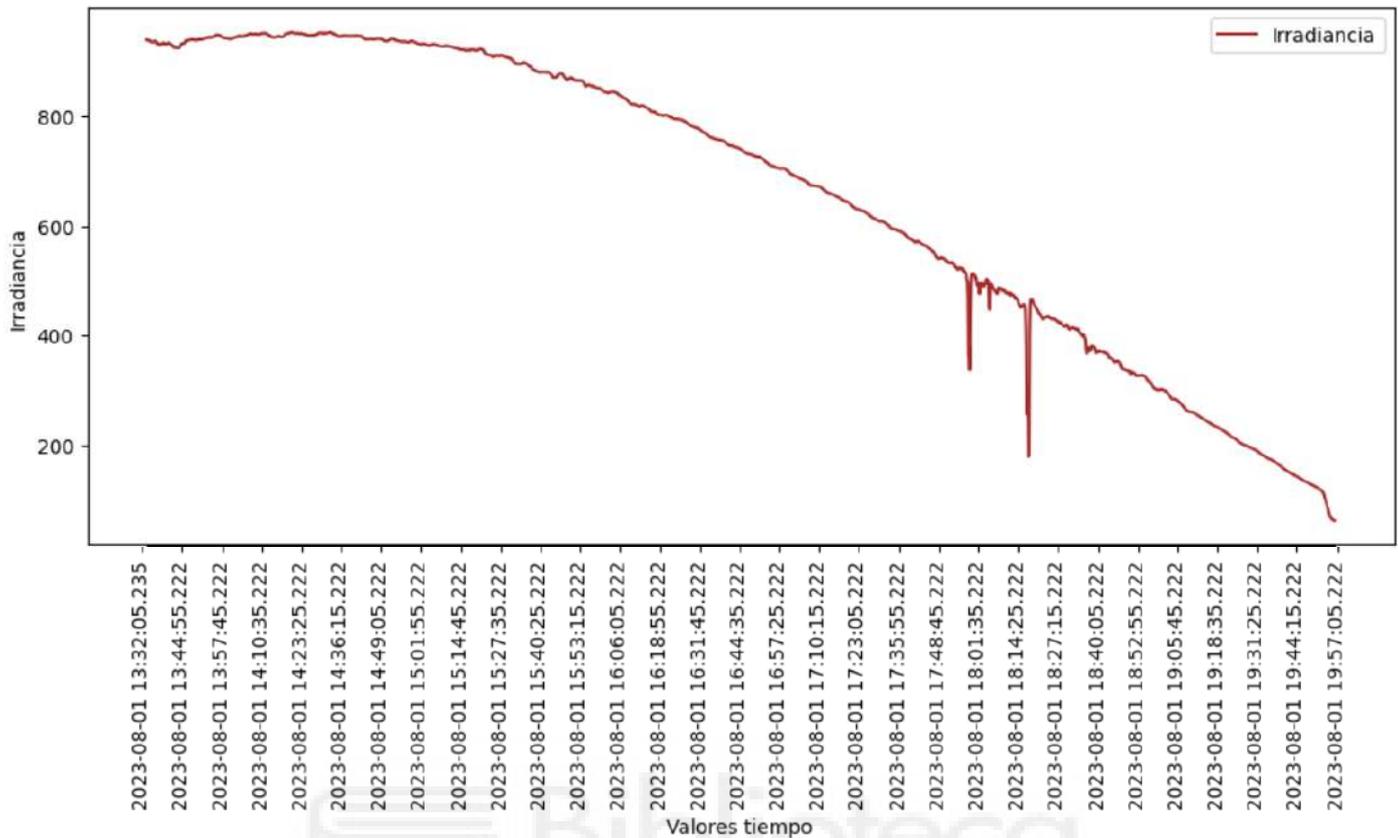


Figura 5.26: 01/08. Irradiancia

De nuevo, como el ensayo comenzó alrededor de las 13:30 horas, la irradiancia alcanza su mayor pico al comienzo del ensayo, llegando a obtener valores de 950 vatios por unidad de superficie.

Es una gráfica muy similar a la del ensayo precedente, solo que con ciertos picos descendentes entre las 18:00 y 18:15 horas, por efectos externos del clima o el medio; gran masa de nubes, aves... cualquier factor que implique sombra en el panel.

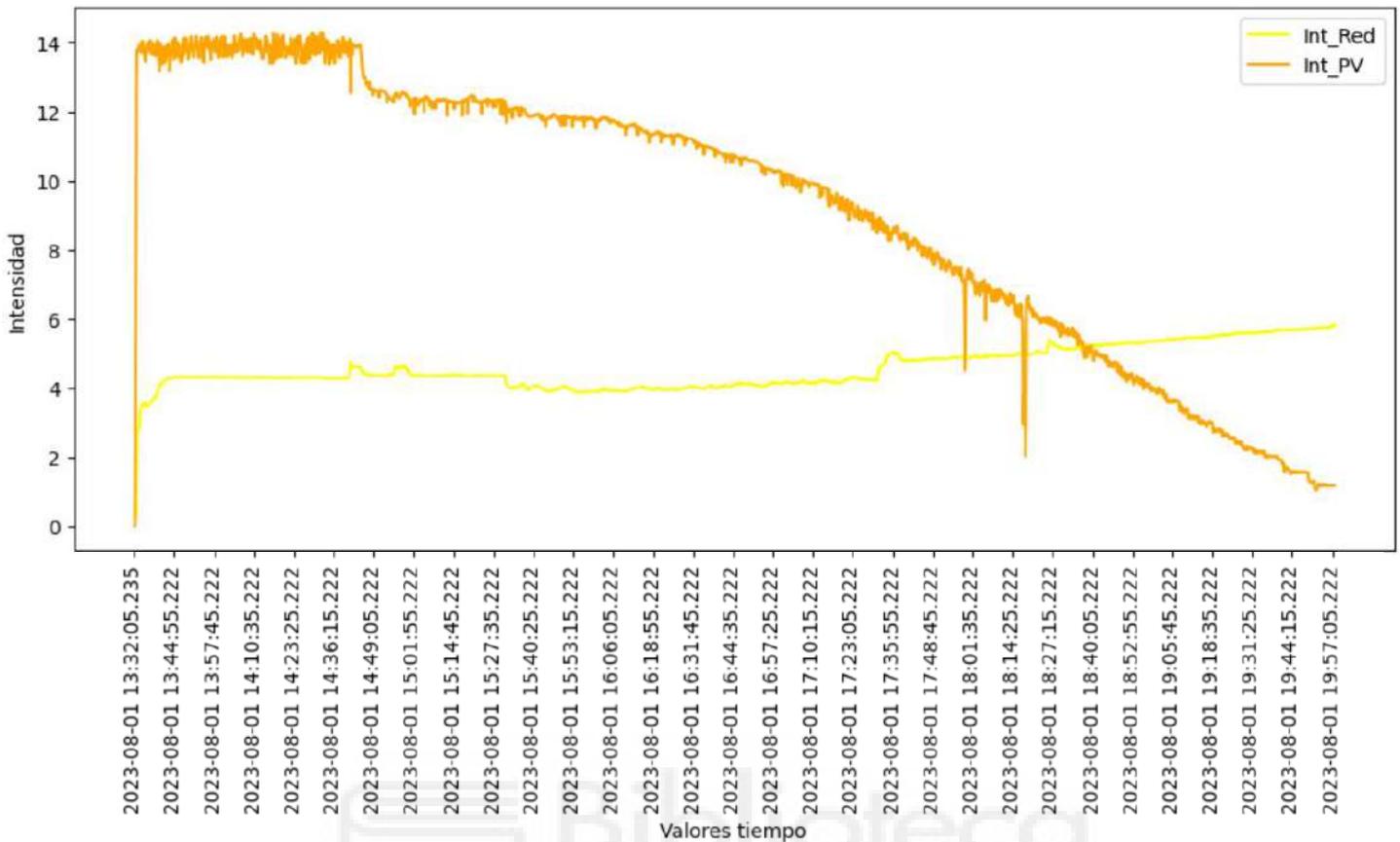


Figura 5.27: 01/08. Int\_Red, Int\_PV

**Valor medio Int\_Red**=4.572037845731906

**Valor medio Int\_PV**=9.273694882473215

Como sucedía en el ensayo anterior, de la red eléctrica se extrae la totalidad de amperios necesarios para hacer funcionar el equipo por completo. Extrae poco más de 4 amperios, y va aumentando a medida que la demanda aumenta. El punto interesante viene en el momento que encendemos la sección de preenfriamiento. Esta es la gráfica esencial para ver que a la misma demanda el consumo baja, aunque sea ligeramente. Este ligero ahorro que se produce en dos horas, a largos intervalos de tiempo puede llegar a altos niveles de ahorro.

Por otro lado, la fotovoltaica se comporta de forma similar al ensayo anterior. La generación fotovoltaica depende en gran medida de la irradiancia. Sin embargo, no se ha conectado con el equipo de clima y no le ha llegado ningún amperio en todo el ensayo.

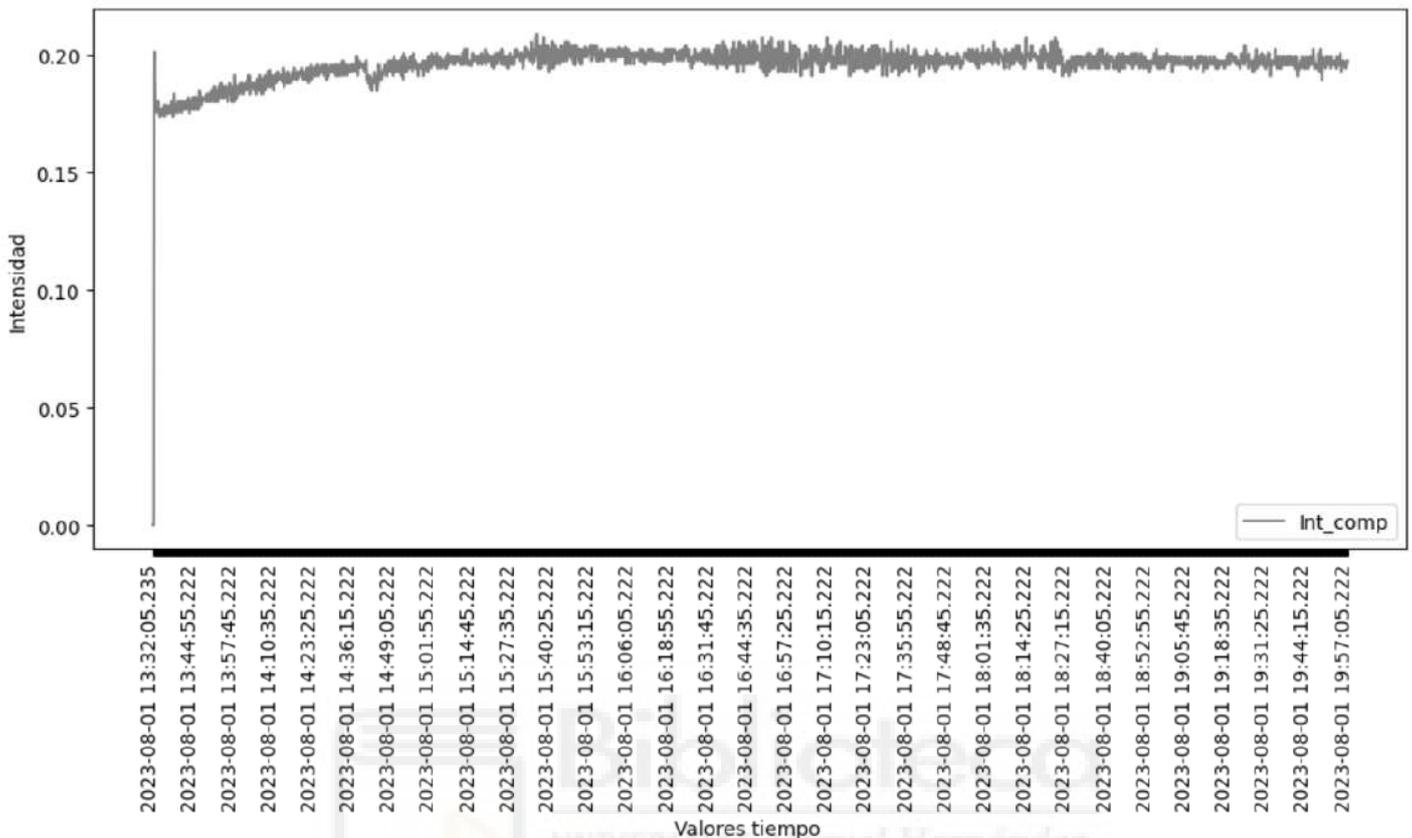


Figura 5.28: 01/08. Int\_Comp

La gráfica de consumo de corriente del compresor es igual que la del anterior ensayo. Al fin y al cabo, el consumo del compresor va a ser totalmente dependiente de la demanda del equipo, ya que va a ser esta la que condicione el flujo de refrigerante que circule por el equipo.

Se repite, como es normal, el pico de arranque de mayor intensidad, y enseguida entra en régimen estable cerca de los 0.2 Amperios.

Como ocurría anteriormente, la ligera subida en el consumo se debe a la demanda. Si aumenta la temperatura en la sala, el equipo va a aumentar la potencia, y con ello, el consumo del equipo.

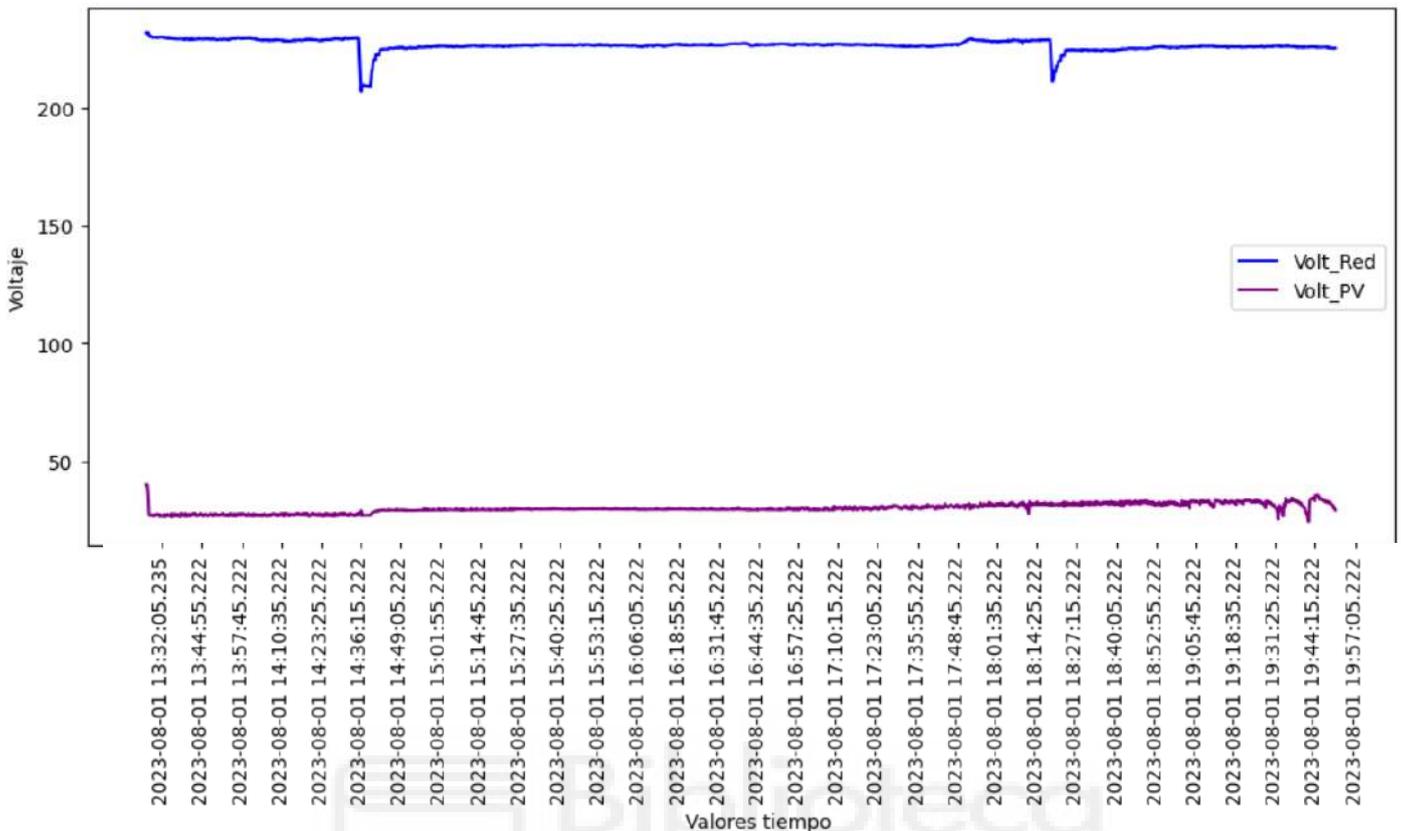


Figura 5.29: 01/08. Volt\_Red, Volt\_PV

**Valor medio Volt\_Red**=226.5587062963597

**Valor medio Volt\_PV**=30.00548049713062

De nuevo, la gráfica de voltaje, tanto de red como de la fotovoltaica es igual que en el ensayo anterior. Y es completamente lógico, ya que el voltaje de red siempre va a estar cercano a los 230 voltios.

El valor que puede ser más susceptible a cambios es el voltaje de la instalación fotovoltaica. Una alta temperatura va a ser perjudicial para el voltaje. A mayor temperatura del módulo menor voltaje y, por tanto, menor potencia eléctrica. Sin embargo, a fin de cuentas, no va a importar mucho el valor del voltaje, ya que en este ensayo no entra la instalación fotovoltaica.

Potencia de entrada:

$$P_{entrada} = P_{red} + P_{fotovoltaica}$$

$$= (Int_{red} * Volt_{red}) + (Int_{fotovoltaica} * Volt_{fotovoltaica})$$

**Valor Int\_Red=4.572037845731906**

**Valor Int\_PV=9.277667171686087**

**Valor Volt\_red=226.5587062963597**

**Valor Volt\_PV=30.00548049713062**

Atendiendo a la gráfica de intensidad de red, se podía apreciar un ligero descenso en la intensidad consumida de red en el tiempo que se activaba la parrilla de atomizadores. Eso invita a pensar que la intensidad media requerida será menor, y así es. En el ensayo pasado se tenía una intensidad de 4.74 Amperios, mientras que ahora es de 4.57 Amperios. Y finalmente, como el voltaje de red se mantiene constante, la potencia final de entrada será menor.

Al momento de calcular la eficiencia, la potencia de entrada se sitúa en el denominador; disminuyendo este se consigue un mayor valor de EER.

Sustituyendo estos parámetros eléctricos en la ecuación anterior y se obtiene un valor de potencia de entrada

$$P_{entrada} = \mathbf{1313.7792 \text{ W}}$$

Potencia de salida:

$$P_{salida} = \dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_1 - h_4)$$

Como en el ensayo anterior, para calcular la potencia de salida es imprescindible calcular los tres valores existentes en la ecuación anterior: caudal másico de refrigerante y entalpías a la entrada y salida del evaporador del refrigerante R410A

Como se vio en el apartado de análisis matemático:

$$P_{compresor} * \eta_{mecánico} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_2 - h_1)$$

$$P_{compresor} = 0.8302 * P_{entrada}$$

Como ya es conocida la potencia de entrada se puede hallar la potencia consumida por el compresor:

$$P_{compresor} = 1060.6995 \text{ W}$$

El rendimiento mecánico del compresor también es un dato conocido, este es del 93%. Por tanto, únicamente queda conocer la diferencia de entalpía entre la salida y entrada del compresor, relativos al estado 2 y 1, respectivamente.

Valores de presión y temperatura en el estado 2:

$$\text{Valor } T_{sal\_comp} = 90.41$$

$$\text{Valor } P_{desc\_comp} = 33.11$$

Valores de presión y temperatura en el estado 1:

$$\text{Valor } T_{ent\_comp} = 20.61$$

$$\text{Valor } P_{asp\_comp} = 9.42$$

Usando las tablas de propiedades termodinámicas del refrigerante R410A se obtienen unas entalpías:

$$h_2 = 480.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_1 = 439.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Estos valores tienen sentido, ya que el ciclo frigorífico cuenta con una compresión y una expansión casi isoentálpica (totalmente isoentálpica en el ciclo ideal), es decir, la diferencia de entalpía en el proceso de compresión (o expansión) es cero, aproximadamente. Lógicamente, tienen lugar en el compresor y en la válvula de expansión, respectivamente.

$$P_{compresor} * \eta_{mecánico} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_2 - h_1)$$

De esta ecuación se puede despejar el caudal másico de refrigerante:

$$\dot{m}_{refrigerante} = 0.02498 \text{ kg/s}$$

Una vez calculado el flujo másico de refrigerante, únicamente falta hallar las entalpías a la entrada y a la salida del evaporador,  $h_4$  y  $h_1'$ . La entalpía  $h_1$  se ha calculado previamente para hallar el flujo másico, sin embargo, se ha hecho teniendo en cuenta que  $h_1$  hacía referencia a la entalpía a la entrada del compresor, que en circunstancias ideales equivale a la entalpía a la salida del evaporador, pero ya que hay una variable en

el ensayo que es “T\_sal\_evap” es, considerablemente mejor recalculer h1, pero esta vez a través de la temperatura de salida del evaporador, no la de entrada del compresor.

$$P_{salida} = \dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{refrigerante} * (h_1' - h_4)$$

Valores de presión y temperatura en el estado 3

**Valor medio T\_sal\_cond=37**

**Valor medio P4\_salida\_valvula=32.74**

Valores de presión y temperatura en el nuevo estado 1

**Valor medio T\_sal\_evap=18.51**

**Valor medio P\_asp\_comp= 9.42**

$$h_4 = 259.8 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_1' = 437.5 \text{ kJ/kg}$$

Finalmente, ya es posible hallar la potencia de salida o calor útil, intercambiado en el evaporador

$$P_{salida} = 4439.6574 \text{ W}$$

Contando con los valores finales de potencia de salida y potencia de entrada uno es capaz de obtener el dato de eficiencia energética:

$$EER = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{4439.6574 \text{ W}}{1313.7792 \text{ W}}$$

$$EER = 3.38$$

Este es el resultado de este primer ensayo. De cada vatio eléctrico que ha consumido la máquina, esta ha generado una potencia térmica equivalente a 3.38 vatios.

### 5.2.3. Ensayo en seco. 26 de septiembre de 2023

El ensayo perteneciente al 26 de septiembre se llevó a cabo en seco, es decir, no intervinieron los atomizadores ultrasónicos. Esto es perceptible fácilmente, entre otros modos, porque al representar las gráficas de humedad ambiental y humedad del laboratorio. Si siguen la misma trayectoria es fácil afirmar que el ensayo es de tipo seco, en cambio, si se atomiza, por ejemplo, de 13:00 a 16:00 se percibirá un aumento de la humedad del laboratorio entre esas horas que puede rozar el 90% de humedad relativa en el aire, como se puede ver en la figura 5.23 que compara la humedad ambiente y humedad del laboratorio relativas al día 1 de agosto de 2023.

A continuación, se insertarán unas tablas en las que se indiquen los valores de los parámetros más importantes de este ensayo (temperaturas, presiones, entalpías, potencia, etc.) y todos los que le procedan para el cálculo de la eficiencia del sistema. Por un lado, habrá que distinguir entre ensayos en días húmedos (humedad relativa >50%) y días secos (humedad relativa <50%), es decir, el valor de eficiencia de un ensayo en día seco no se puede comparar con el dato de eficiencia obtenido en un día con alta humedad en el aire. Por otro lado, es crucial tener en cuenta la diferenciación en resultados de ensayos con número determinado de atomizadores. No se obtendrá el mismo resultado trabajando con cinco que con ochenta atomizadores, evidentemente. Y no tiene por qué ser eficientemente mejor trabajar con ochenta.

La finalidad es que dentro de un mismo tipo de día (por ejemplo, día seco) sea posible comparar entre varios ensayos y afirmar que los ensayos con atomización han otorgado un valor de eficiencia energética más alto que el/los días secos con los que se puedan comparar.

Ensayo del día 26 de septiembre desde las 12 horas 43 minutos y 36 segundos hasta las 20 horas de la tarde. Sin atomización (ensayo en seco). Tabla de datos relativa al ensayo del día 26 de septiembre:

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	224.02	227.84	213.22
V_pv (V)	29.68	36.73	8.56
I_red (A)	4.03	5.12	1.43
I_pv (A)	8.73	16	0.03
T_sal_evap (°C)	11.45	19.63	8.39
T_ent_comp (°C)	14.06	17.49	9.24
T_sal_comp (°C)	81.11	82.75	35.02
T_ent_cond (°C)	77.94	79.56	33.6
T_sal_cond (°C)	31.6	33.42	29.28
T_ent_evap (°C)	9.67	18.86	5.38
P1_ent_comp (bar)	8.05	8.33	6.05
P2_sal_comp (bar)	28.32	29.45	20.85
P3_sal_cond (bar)	28	29.13	20.91
P4_sal_valv (bar)	10.27	12.32	10.31
HR_amb (%)	58.07	69.92	49.51
HR_ent (%)	53.06	60.16	46.42
HR_sal (%)	44.82	55.2	38.52

Tabla: Valores medios de cada variable (ensayo 26/09/23)

Una vez se han obtenido estos parámetros de entrada, es posible hallar todas las variables auxiliares necesarias para calcular el valor de eficiencia energética deseado, tales como, entalpías, caudal de refrigerante, potencia del compresor etc.

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	436.20
h2 (kJ/kg)	475.30
h3 (kJ/kg)	250.60
h4 (kJ/kg)	250.60
h1' (kJ/kg)	433.50
P_pv (W)	259.11
P_red (W)	902.80
Pentrada (W)	1161.91
Pcompresor (W)	964.62
Caudal ref. (kg/s)	0.022944
Psalida (W)	4196.37
EER	3.61

Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 26/09/23)

#### 5.2.4. Ensayo en seco. 27 de septiembre de 2023

De nuevo, se está tratando con un ensayo en seco. La gráfica que compara la humedad ambiental con la del laboratorio alrededor de la máquina así lo demuestra. Se va a introducir la gráfica únicamente en este ensayo para dejarla de ejemplo:

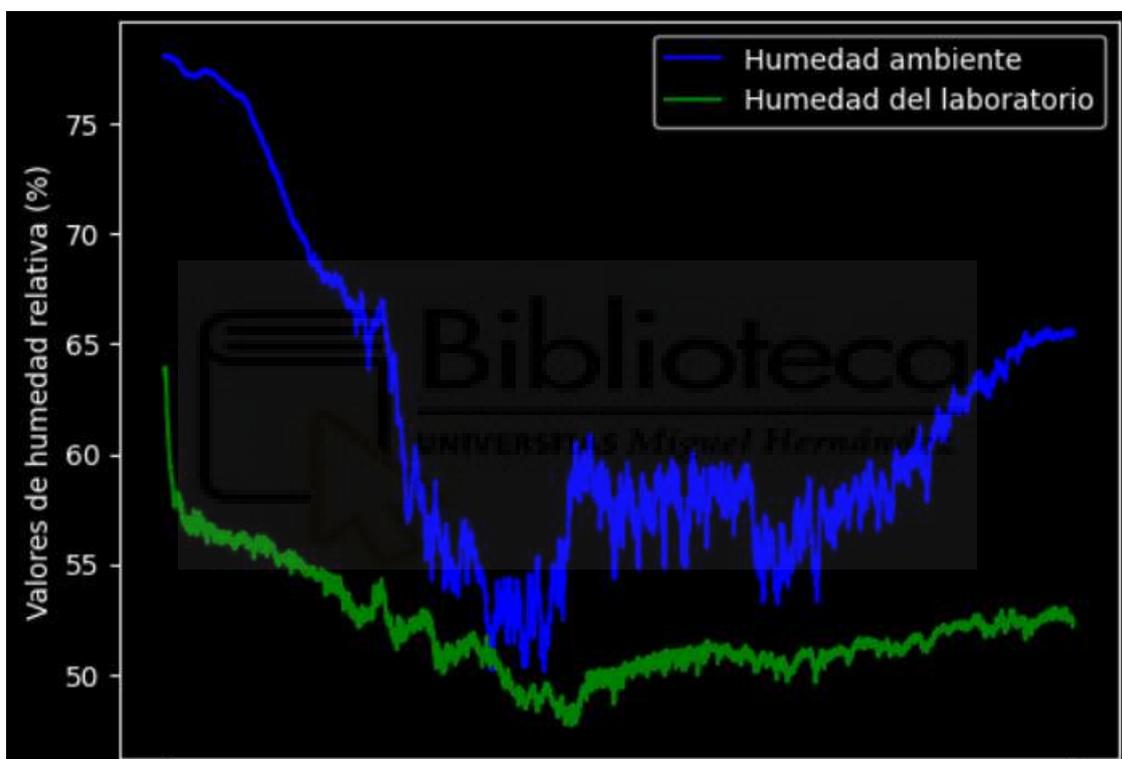


Figura 5.30: Gráfica comparativa: humedad ambiental y laboratorio. 27 de septiembre.

Las lecturas tomadas en el ensayo (promedio, máximo y mínimo) son:

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	225.22	228.88	213.15
V_pv (V)	29.92	38.42	7.86
I_red (A)	3.91	5.09	0.42
I_pv (A)	7.65	14.26	0.002
T_sal_evap (°C)	11.24	23.89	8.36
T_ent_comp (°C)	13.67	25.2	8.51

<b>T_sal_comp (°C)</b>	78.74	82.94	25.65
<b>T_ent_cond (°C)</b>	75.55	79.78	25.96
<b>T_sal_cond (°C)</b>	31.04	33.26	24.87
<b>T_ent_evap (°C)</b>	9.47	24.1	5.65
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.12	14.76	5.1
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	27.71	29.59	15
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	27.38	29.33	14.9
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	10.28	17.4	8.68
<b>HR_amb (%)</b>	61.8	78.13	50.14
<b>HR_ent (%)</b>	52.71	58.22	46.85
<b>HR_sal (%)</b>	49.93	61.43	46.2

*Tabla:* Valores medios de cada variable (ensayo 27/09/23)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	435.60
<b>h2 (kJ/kg)</b>	473.30
<b>h3 (kJ/kg)</b>	249.60
<b>h4 (kJ/kg)</b>	249.60
<b>h1' (kJ/kg)</b>	433.10
<b>P_pv (W)</b>	228.89
<b>P_red (W)</b>	880.61
<b>Pentrada (W)</b>	1109.50
<b>Pcompresor (W)</b>	921.11
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0227
<b>Psalida (W)</b>	4169.53
<b>EER</b>	3.76

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 27/09/23)

En este momento, ya se han expuesto los resultados de cuatro ensayos, dos de ellos del mes de agosto y los dos restantes del mes de septiembre. Entrando a analizar los dos últimos se puede destacar el leve aumento en la diferencia de eficiencia energética de un día a otro, manteniendo los parámetros ambientales ciertamente constantes en estos dos días nublados a primeras horas de la mañana y ambos ensayos llevándose a cabo en ausencia de atomización.

Esta comparativa entre los dos valores de eficiencia obtenida en el mes de septiembre puede marcar una referencia para saber si el aumento de eficiencia al introducir una mejora como puede ser la de los atomizadores es grande o no, es decir, viendo que, de un día para otro, en los que las condiciones ambientales son relativamente similares, se

ha producido un aumento de eficiencia del día 27 de septiembre (EER de 3.76) respecto del día 26 (EER de 3,61). Con esto se pretende llegar a que esta variación de 0.15 puntos en el valor de eficiencia energética es una diferencia normal y no algo altamente notable para tener en cuenta.

#### 5.2.5. Ensayo con atomización. 28 de septiembre de 2023

Se detalla a continuación el primer ensayo con atomización después de los dos de agosto. Esta se lleva a cabo durante las 13:00 a 16:00 horas. El número de atomizadores que actúan es de 45. La humedad relativa respecto a días anteriores es ligeramente superior, rondando el 63%

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	224.35	227.89	216.2
V_pv (V)	30.56	38.79	16.79
I_red (A)	3.74	5.18	2.7
I_pv (A)	8	13.1	0.07
T_sal_evap (°C)	10.76	13.91	8.08
T_ent_comp (°C)	13.32	16.39	7.66
T_sal_comp (°C)	76.91	81.96	41.32
T_ent_cond (°C)	73.77	78.83	40.1
T_sal_cond (°C)	29.29	32.06	25.31
T_ent_evap (°C)	9.18	10.91	5.06
P1_ent_comp (bar)	8.09	8.93	6.74
P2_sal_comp (bar)	26.94	28.86	22.44
P3_sal_cond (bar)	26.62	28.54	22.24
P4_sal_valv (bar)	10.22	12.61	10.39
HR_amb (%)	62.87	80.73	51.95
HR_ent (%)	52.09	57.38	46.63
HR_sal (%)	50.07	57.99	45.1

*Tabla:* Valores medios de cada variable (ensayo 28/09/23)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	435.30
h2 (kJ/kg)	472.20

<b>h3 (kJ/kg)</b>	246.70
<b>h4 (kJ/kg)</b>	246.70
<b>h1' (kJ/kg)</b>	432.70
<b>P_pv (W)</b>	244.48
<b>P_red (W)</b>	839.07
<b>Pentrada (W)</b>	1083.55
<b>Pcompresor (W)</b>	899.56
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0227
<b>Psalida W)</b>	4216.97
<b>EER</b>	3.9

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 28/09/23)

Respecto a los dos ensayos de septiembre anteriores, la eficiencia de 3.9 es un positivo resultado, teniendo en cuenta que la atomización se ha activado, y es uno de los propósitos de este proyecto. Otro punto a favor es la potencia de entrada empleada, que es ligeramente menor.

Por supuesto, este dato de eficiencia mejorado respecto a previos ensayos se puede deber a la implantación de los atomizadores ultrasónicos a lo largo de un período de tres horas (13:00 h – 16:00 h) en el actual ensayo que transcurre desde las 8:00 horas hasta las 20:00 horas, sin embargo, también se puede deber a simples factores climatológicos como la humedad o la temperatura del laboratorio.

Para obtener un resultado más preciso se continuará evaluando ensayos secos y con atomización como hasta ahora.

#### 5.2.6. Ensayo en seco. 29 de septiembre de 2023

Se retoman los ensayos en seco el día 29 de septiembre con un día más húmedo de lo habitual, superando el 65% de humedad relativa en el aire. El ensayo transcurre desde las 8:00 horas hasta las 20:00 horas.

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V_red (V)</b>	224.22	228.39	214.32
<b>V_pv (V)</b>	29.72	39.02	6.65
<b>I_red (A)</b>	3.95	5.1	3.19

<b>I_pv (A)</b>	7.89	13.19	0.02
<b>T_sal_evap (°C)</b>	10.59	13.78	8.64
<b>T_ent_comp (°C)</b>	13.4	16.35	8.11
<b>T_sal_comp (°C)</b>	78.9	82.82	36.08
<b>T_ent_cond (°C)</b>	75.8	79.62	37
<b>T_sal_cond (°C)</b>	31.36	33.28	26.69
<b>T_ent_evap (°C)</b>	9.79	10.83	5.28
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.2	8.86	6.15
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	28.03	30.52	21.1
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	27.71	29.11	20.88
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	10.38	12.57	10.39
<b>HR_amb (%)</b>	65.19	82.9	52.28
<b>HR_ent (%)</b>	53.84	60.08	46.84
<b>HR_sal (%)</b>	51.26	61.22	45.68

*Tabla: Valores medios de cada variable (ensayo 29/09/23)*

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	435.10
<b>h2 (kJ/kg)</b>	473.00
<b>h3 (kJ/kg)</b>	250.20
<b>h4 (kJ/kg)</b>	250.20
<b>h1' (kJ/kg)</b>	432.20
<b>P_pv (W)</b>	234.49
<b>P_red (W)</b>	885.67
<b>Pentrada (W)</b>	1120.16
<b>Pcompresor (W)</b>	929.96
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0228
<b>Psalida W)</b>	4153.15
<b>EER</b>	3.71

*Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 29/09/23)*

De nuevo, otro ensayo en seco ronda la eficiencia de 3.7 al igual que su predecesor del 27 de septiembre. Por otra parte, sigue sin superar la eficiencia de 3.9 del ensayo del día anterior, del 28 de septiembre, en el que se empleó atomización ultrasónica.

#### 5.2.7. Ensayo con atomización. 4 de octubre de 2023

Este ensayo comienza a las 10:30 horas de la mañana y finaliza a las 20:00 horas, siendo particularmente nublado, sobre todo en la primera mitad, desde las 10:30 horas hasta las 15:00 horas. En este intervalo son perceptibles los picos de intensidad de corriente de la instalación fotovoltaica, como se muestra en la siguiente figura (figura 5.33).

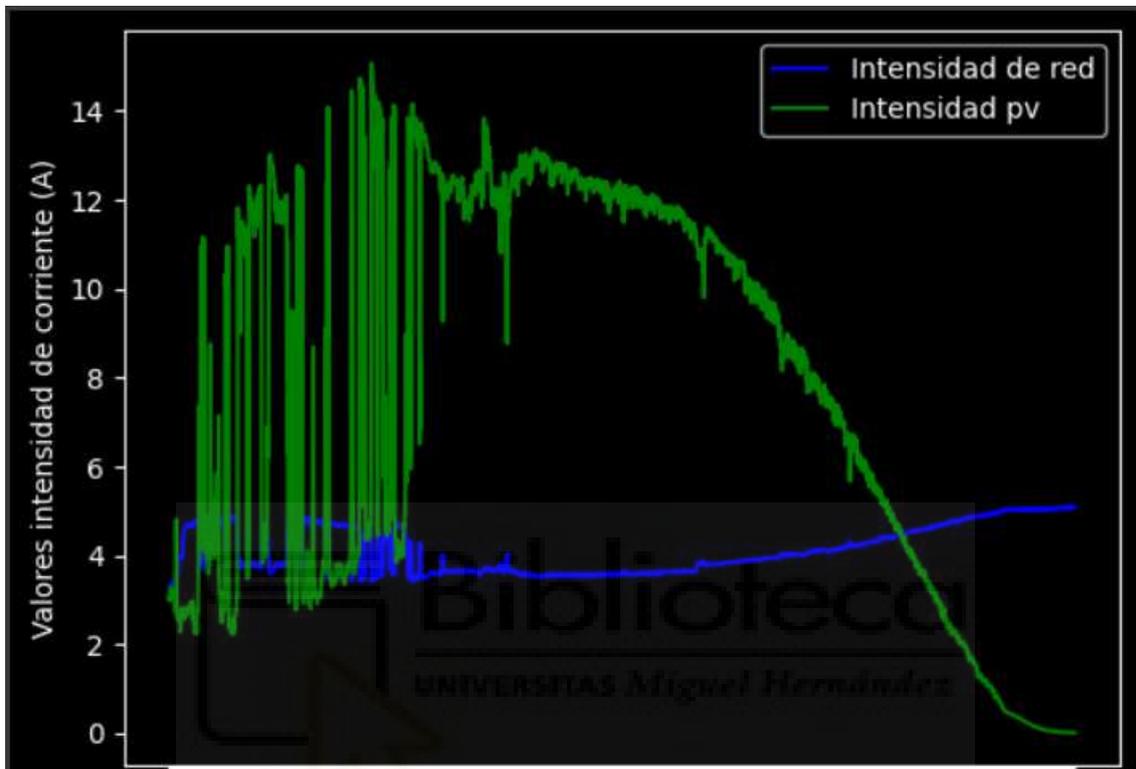


Figura 5.31: Ejemplo de gráfica de intensidad fotovoltaica un día con nubes ocasionales. 4 de octubre

De nuevo, se trata de un ensayo con atomización desde las 13:00 horas hasta las 16:00 horas. El número de atomizadores que actúan es de 45.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	225.04	228.39	208.35
V_pv (V)	29.83	36.26	2.45
I_red (A)	4.13	5.08	3.31
I_pv (A)	7.75	15.07	0.005
T_sal_evap (°C)	11.48	14.05	8.52
T_ent_comp (°C)	14.28	16.39	9.91
T_sal_comp (°C)	81	82.81	48.92
T_ent_cond (°C)	77.89	79.64	47.4
T_sal_cond (°C)	31.47	33.47	28.77

<b>T_ent_evap (°C)</b>	10.09	11.11	6.14
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.18	8.48	6.89
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	28.36	29.64	23.06
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	28.04	29.26	22.92
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	10.39	12.44	10.55
<b>HR_amb (%)</b>	57.31	67.15	46.03
<b>HR_ent (%)</b>	52.69	55.38	49.86
<b>HR_sal (%)</b>	49.89	54.44	47.36

*Tabla: Valores medios de cada variable (ensayo 04/10/23)*

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	436.10
<b>h2 (kJ/kg)</b>	475.10
<b>h3 (kJ/kg)</b>	250.30
<b>h4 (kJ/kg)</b>	250.30
<b>h1' (kJ/kg)</b>	433.20
<b>P_pv (W)</b>	231.18
<b>P_red (W)</b>	929.42
<b>Pentrada (W)</b>	1160.60
<b>Pcompresor (W)</b>	963.53
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.02
<b>Psalida W)</b>	4202.39
<b>EER</b>	3.62

*Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 04/10/23)*

Se obtiene ahora un resultado de eficiencia de 3.62, inferior respecto al anterior ensayo con atomización del día 28 de septiembre.

#### 5.2.8. Ensayo con atomización. 5 de octubre de 2023

Ensayo de toma de medidas que transcurre desde las 8:00 horas hasta las 20:00 horas. Esta vez se trata de un día totalmente soleado durante todas las horas del ensayo. Atomización activa desde las 13:00 horas hasta las 16:00 horas. Número de atomizadores activos durante dicho intervalo horario: 45.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	224.02	228.3	212.73
V_pv (V)	29.65	39.02	1.28
I_red (A)	3.86	5.07	3.08
I_pv (A)	7.78	12.72	0.001
T_sal_evap (°C)	11.49	13.55	8.35
T_ent_comp (°C)	14.01	16.09	7.99
T_sal_comp (°C)	78.72	82.77	36.39
T_ent_cond (°C)	75.51	79.58	37.31
T_sal_cond (°C)	30.44	32.34	27.49
T_ent_evap (°C)	9.21	10.64	5.32
P1_ent_comp (bar)	8.03	8.82	6.29
P2_sal_comp (bar)	27.26	30.31	21.44
P3_sal_cond (bar)	26.95	28.59	21.25
P4_sal_valv (bar)	10.18	12.51	10.39
HR_amb (%)	58.21	77.25	45.85
HR_ent (%)	50.2	55.92	46.03
HR_sal (%)	48.32	58.34	44.46

Tabla: Valores medios de cada variable (ensayo 05/10/23)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	436.20
h2 (kJ/kg)	473.90
h3 (kJ/kg)	248.60
h4 (kJ/kg)	248.60
h1' (kJ/kg)	433.60
P_pv (W)	230.68
P_red (W)	864.72
Pentrada (W)	1095.39
Pcompresor (W)	909.40
Caudal ref. (kg/s)	0.0224
Psalida (W)	4150.18
EER	3.8

Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 05/10/23)

De esta tabla se puede extraer el segundo valor más alto de eficiencia energética obtenido hasta el momento. El valor más alto de eficiencia obtenido en un ensayo diario completo había sido de 3.9 obtenido en un día con atomización. En este tipo de ensayo la potencia de entrada es ligeramente inferior al resto de días secos.

### 5.2.9. Ensayo con atomización. 6 de octubre de 2023

Este ensayo transcurre desde las 8:00 horas hasta las 20:00 horas, con atomización entre las 13:00 horas y las 16:00 horas. El número de atomizadores que intervienen en este día es de 63.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	224.85	228.29	212.6
V_pv (V)	29.56	39.13	1.21
I_red (A)	3.83	5.09	2.95
I_pv (A)	7.79	13.57	0.002
T_sal_evap (°C)	10.68	13.41	6.38
T_ent_comp (°C)	13.33	15.84	6.55
T_sal_comp (°C)	77.9	82.76	35.41
T_ent_cond (°C)	74.76	79.53	36.26
T_sal_cond (°C)	33.26	26.88	26.89
T_ent_evap (°C)	9.18	10.79	4.53
P1_ent_comp (bar)	8.04	8.61	6.18
P2_sal_comp (bar)	27.21	30.13	20.84
P3_sal_cond (bar)	26.89	29.17	20.69
P4_sal_valv (bar)	10.2	12.4	10.29
HR_amb (%)	56.12	75.77	34.76
HR_ent (%)	50.07	64.25	41.08
HR_sal (%)	47.72	58.81	40.34

Tabla: Valores medios de cada variable (ensayo 06/10/23)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	435.50
h2 (kJ/kg)	473.00
h3 (kJ/kg)	253.60
h4 (kJ/kg)	253.60
h1' (kJ/kg)	432.70
P_pv (W)	230.27
P_red (W)	861.18
Pentrada (W)	1091.45
Pcompresor (W)	906.12
Caudal ref. (kg/s)	0.0225
Psalida W)	4024.70

EER	3.69
-----	------

*Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 06/10/23)*

Este día 6 de octubre de 2023 ha sido similar climatológicamente al día anterior, 5 de octubre de 2023. Las temperaturas en las etapas de la refrigeración han sido muy parecidas, así como los valores de presión, respecto al día anterior. La humedad también ha sido semejante al igual que la irradiancia, mostrando días no del todo despejados, ya que el máximo alcanzado por la intensidad de corriente generada por la instalación fotovoltaica es de entre 12.5 y 13.5 amperios, mientras que en otros ensayos en los que la irradiancia era destacablemente mayor se han llegado a obtener valores pico de 16 amperios.

Tras haber analizado varios ensayos de finales de septiembre y principios de octubre llama la atención el mayor valor de potencia de salida en los ensayos de agosto frente a los de septiembre/octubre; esto es debido lógicamente a las altas temperaturas de agosto que demandan una mayor producción al equipo. Por otro lado, los valores de eficiencia resultan ser más altos en meses de septiembre y octubre, al no requerir un gran aporte de energía al compresor.

#### 5.2.10. Ensayo con atomización. 19 de septiembre de 2023.

Este ensayo transcurre entre las 8:00 horas y las 20:00 horas. De nuevo, la atomización tiene lugar entre las 13:00 y las 16:00 horas. El número de atomizadores empleado es de 81.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V <sub>red</sub> (V)	226.06	230.27	221.69
V <sub>pv</sub> (V)	30.52	38.07	8.53
I <sub>red</sub> (A)	4.81	5.26	3.1
I <sub>pv</sub> (A)	2.22	15.87	0.04
T <sub>sal_evap</sub> (°C)	12.91	15.5	9.69
T <sub>ent_comp</sub> (°C)	15.51	17.71	11.59
T <sub>sal_comp</sub> (°C)	81.38	83.55	39.31

<b>T_ent_cond (°C)</b>	78.31	80.39	40.11
<b>T_sal_cond (°C)</b>	31.38	33.82	25.56
<b>T_ent_evap (°C)</b>	11.04	12.5	6.28
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.45	9.35	6.65
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	28.79	30.16	22.86
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	28.27	29.67	22.51
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	12.43	13.04	10.52
<b>HR_amb (%)</b>	72.66	79.53	55.41
<b>HR_ent (%)</b>	60.08	66.6	54.23
<b>HR_sal (%)</b>	57	66.94	49.64

*Tabla: Valores medios de cada variable (ensayo 19/09/23)*

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	436.70
<b>h2 (kJ/kg)</b>	475.00
<b>h3 (kJ/kg)</b>	250.20
<b>h4 (kJ/kg)</b>	250.20
<b>h1' (kJ/kg)</b>	434.00
<b>P_pv (W)</b>	67.75
<b>P_red (W)</b>	1087.35
<b>Pentrada (W)</b>	1155.10
<b>Pcompresor (W)</b>	958.97
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0233
<b>Psalida W)</b>	4279.90
<b>EER</b>	3.71

*Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 19/09/23)*

Los resultados son fieles a los ensayos de septiembre. Menor potencia de compresor respecto a los meses más cálidos y exigentes. Una eficiencia que ronda el valor de 3.7 al igual que otros vistos en este mismo mes sin atomización. Los valores de humedad son ligeramente mayores debido a las condiciones climáticas del día, ya que fue una jornada lluviosa y con nubes, como se puede observar en la siguiente imagen. Este es un factor clave, ya que, ayuda a que las temperaturas sean inferiores, pero añade una humedad extra al agua que la máquina frigorífica tiene que ocuparse de extraer antes de enfriar el aire.

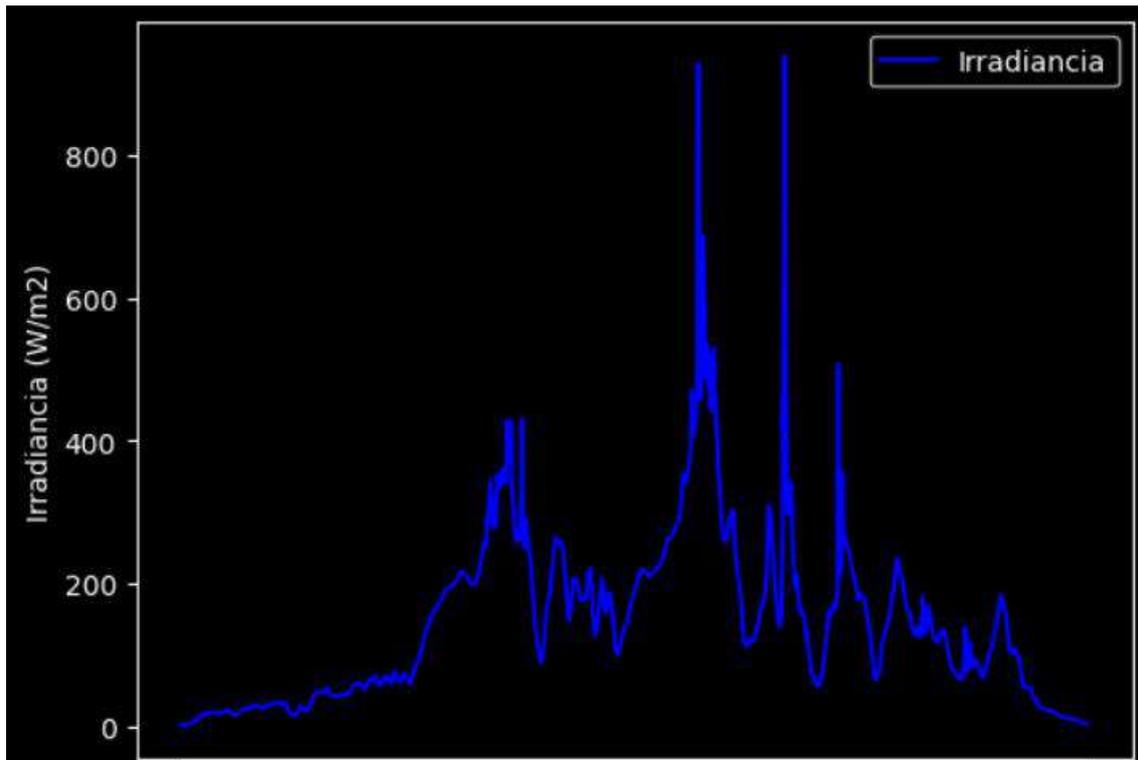


Figura 5.32: Ejemplo de gráfica de irradiancia en días nublados (de 8:00 horas hasta las 20:00 horas)

Es evidente, y se puede comprobar en las tablas de datos, que la potencia fotovoltaica obtenida es mucho menor a la media. Días anteriores se han podido extraer 230 W, mientras que, en este ensayo, las condiciones climáticas solo han permitido un total de 67 W.

#### 5.2.11. Ensayo con atomización. 20 de septiembre de 2023

Este ensayo transcurre desde las 8:00 horas hasta las 20:00 horas con un período de atomización desde las 13:00 horas hasta las 16:00 horas. El número de atomizadores activados en este período de tiempo es de 45.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	225.92	231.19	211.24
V_pv (V)	30.72	39.08	17.31
I_red (A)	4.03	5.11	3.31
I_pv (A)	8.18	13.79	0.07
T_sal_evap (°C)	10.34	14.15	8.32

<b>T_ent_comp (°C)</b>	13.23	16.67	9.27
<b>T_sal_comp (°C)</b>	80.1	82.84	38
<b>T_ent_cond (°C)</b>	76.98	79.65	38.83
<b>T_sal_cond (°C)</b>	31.09	79.65	38.83
<b>T_ent_evap (°C)</b>	9.59	11.39	6.33
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.06	8.95	6.44
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	28.19	29.44	22.09
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	27.73	28.9	21.75
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	12.01	12.68	10.61
<b>HR_amb (%)</b>	52.59	83.28	35.96
<b>HR_ent (%)</b>	50.52	60.16	46.26
<b>HR_sal (%)</b>	45.65	64.12	41.03

*Tabla:* Valores medios de cada variable (ensayo 20/09/23)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	435.30
<b>h2 (kJ/kg)</b>	474.20
<b>h3 (kJ/kg)</b>	249.70
<b>h4 (kJ/kg)</b>	249.70
<b>h1' (kJ/kg)</b>	432.30
<b>P_pv (W)</b>	251.29
<b>P_red (W)</b>	910.46
<b>Pentrada (W)</b>	1161.75
<b>Pcompresor (W)</b>	964.48
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0231
<b>Psalida W)</b>	4210.45
<b>EER</b>	3.62

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 20/09/23)

Se obtienen unos resultados muy similares al ensayo anterior. Con una potencia de entrada y de salida muy próximas al día anterior, con la única diferencia en que el día no es nublado, por lo que se ha podido obtener un mayor aprovechamiento de la instalación fotovoltaica.

5.2.12. Ensayo con atomización. 21 de septiembre de 2023.

Ensayo completamente diferente a los demás, ya que esta vez se presenta un ensayo con una humedad ambiental baja. Con una media de 42.48% de humedad relativa en el aire, se trata del ensayo con la menor humedad encontrada. Pertenece al grupo de ensayos con atomización.

Este ensayo comienza a las 8:00 horas y finaliza a las 20:00 horas. El período de atomización es desde las 13:00 horas hasta las 16:00. Se han activado 81 atomizadores de la parrilla para llevar a cabo la humidificación.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	226.28	231.77	216.48
V_pv (V)	30.94	38.8	13.5
I_red (A)	4.16	5.09	3.12
I_pv (A)	6.43	14.99	0.05
T_sal_evap (°C)	7.53	11.62	6.21
T_ent_comp (°C)	10.04	14.21	5.73
T_sal_comp (°C)	77.69	80.82	72.01
T_ent_cond (°C)	74.56	77.63	69.07
T_sal_cond (°C)	30.12	32.54	24.53
T_ent_evap (°C)	8.63	9.32	7.67
P1_ent_comp (bar)	7.86	8.07	7.56
P2_sal_comp (bar)	27.7	29.01	25.1
P3_sal_cond (bar)	27.39	28.75	24.75
P4_sal_valv (bar)	11.79	11.99	11.46
HR_amb (%)	42.48	63.45	24.64
HR_ent (%)	45.21	47.88	42.11
HR_sal (%)	41.13	46.17	37.25

*Tabla:* Valores medios de cada variable (ensayo 21/09/23)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	432.50
h2 (kJ/kg)	472.00
h3 (kJ/kg)	248.00
h4 (kJ/kg)	248.00
h1' (kJ/kg)	429.90
P_pv (W)	198.94
P_red (W)	941.32
Pentrada (W)	1140.27
Pcompresor (W)	946.65
Caudal ref. (kg/s)	0.0223
Psalida W)	4054.23

<b>EER</b>	3.56
------------	------

*Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 21/09/23)*

Este ha sido el ensayo de septiembre que ha proporcionado una menor eficiencia. Esto se puede deber a la presencia de bajas humedades, lo que conlleva una alta temperatura a lo largo de todo el día. También es destacable que a medida que pasan los días la cantidad de refrigerante baja poco a poco, y esas variaciones, aun siendo tan pequeñas, afectan notablemente al valor de eficiencia, por eso es imprescindible recargar el refrigerante R410A del equipo.

Sin embargo, todavía es pronto para afirmar que la baja humedad conlleva una peor eficiencia. Es necesario recopilar más ensayos o grupo de datos en los que se trabaje con una baja humedad.

#### 5.2.13. Ensayo en seco. 2 de octubre de 2023

Este ensayo comienza a las 8:30 horas de la mañana hasta las 20:00 horas. Este es el único ensayo de octubre en el que no se encienden los atomizadores. Al igual que en el ensayo del día 21 de septiembre, de nuevo se trata de un ensayo con humedad baja, concretamente, del 41.9%.

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V<sub>red</sub> (V)</b>	225.13	228.45	212.85
<b>V<sub>pv</sub> (V)</b>	29.38	38.68	3.15
<b>I<sub>red</sub> (A)</b>	3.89	5.17	3.02
<b>I<sub>pv</sub> (A)</b>	8.92	14.73	0.01
<b>T<sub>sal_evap</sub> (°C)</b>	7.8	11.92	6.21
<b>T<sub>ent_comp</sub> (°C)</b>	10.21	14.47	5.86
<b>T<sub>sal_comp</sub> (°C)</b>	78.2	82.18	47.49
<b>T<sub>ent_cond</sub> (°C)</b>	75.03	78.9	46.08
<b>T<sub>sal_cond</sub> (°C)</b>	31.99	33.68	28.09
<b>T<sub>ent_evap</sub> (°C)</b>	8.66	9.61	5.55
<b>P1<sub>ent_comp</sub> (bar)</b>	7.84	8.23	6.99
<b>P2<sub>sal_comp</sub> (bar)</b>	28.03	31.29	23.47
<b>P3<sub>sal_cond</sub> (bar)</b>	27.74	29.08	23.31
<b>P4<sub>sal_valv</sub> (bar)</b>	11.74	11.97	10.57
<b>HR<sub>amb</sub> (%)</b>	41.9	68.14	29.92

<b>HR_ent (%)</b>	40.78	51.68	35.94
<b>HR_sal (%)</b>	39.65	49.16	35.67

*Tabla:* Valores medios de cada variable (ensayo 02/10/23)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	432.80
<b>h2 (kJ/kg)</b>	472.10
<b>h3 (kJ/kg)</b>	251.30
<b>h4 (kJ/kg)</b>	251.30
<b>h1' (kJ/kg)</b>	430.30
<b>P_pv (W)</b>	262.07
<b>P_red (W)</b>	875.76
<b>Pentrada (W)</b>	1137.83
<b>Pcompresor (W)</b>	944.62
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0224
<b>Psalida W)</b>	4001.31
<b>EER</b>	3.52

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 02/10/23)

Este ensayo en baja humedad ha proporcionado un valor de eficiencia muy próximo al del 21 de septiembre, también de baja humedad. A su vez, la eficiencia obtenida en los otros días de octubre (4.5 y 6) soleados, al igual que este, han dado un valor de eficiencia mayor, obteniendo valores de hasta 3.8. Todos estos ensayos de octubre, excepto este, han sido con atomización.

#### 5.2.14. Tabla resumen de los ensayos y observaciones de los resultados

Tras exponerse los resultados de todos los ensayos (parámetros eléctricos, térmicos, condiciones ambientales...) se procede a exponer una imagen/tabla con un resumen de los ensayos focalizándose en los valores más importantes como potencias de entrada o salida, humedad, temperatura media del ensayo (no a lo largo de todo el día) y, por supuesto, el valor de eficiencia obtenido.



Día de ensayo	Humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	Potencia entrada (W)	Potencia salida (W)	EER
01-ago	Alta	30.55	81	1313.78	4439.66	3.38
02-ago	Alta	30.9	0	1349.56	4588.24	3.40
19-sep	Alta	22.93	81	1155.1	4279.9	3.71
20-sep	Alta	24.79	45	1161.75	4210.45	3.62
21-sep	Baja	25.67	81	1140.27	4054.23	3.56
26-sep	Alta	23.38	0	1161.91	4196.13	3.61
27-sep	Alta	23.05	0	1109.5	4169.53	3.76
28-sep	Alta	22.82	45	1083.55	4216.97	3.89
29-sep	Alta	23.27	0	1120.16	4153.15	3.71
02-oct	Baja	25.64	0	1137.83	4001.31	3.52
04-oct	Alta	24.11	45	1160.6	4202.39	3.62
05-oct	Alta	23.72	45	1095.39	4150.18	3.79
06-oct	Alta	24.25	63	1091.45	4024.7	3.69

	32<T(°C)<34
	30<T(°C)<32
	28<T(°C)<30
	26<T(°C)<28
	24<T(°C)<26
	22<T(°C)<24
	20<T(°C)<22

Alta      HR>50%  
 Baja      HR<50%

Figura 5.33: Tabla resumen de los resultados de los ensayos

Con estos resultados es posible establecer una serie de observaciones, siempre teniendo en cuenta, como se ha mencionado anteriormente, que hay que hacer una distinción entre ensayos en baja humedad y en alta humedad. En este primer análisis, únicamente, se van a tener en cuenta los ensayos en días con alta humedad, ya que han sido los mayoritarios; encontrando, por un lado, 11 ensayos completos con datos de humedad relativa elevada frente a 2 ensayos de humedad baja, menor al 50%. Teniendo esto en cuenta, las observaciones frente a los resultados obtenidos son las siguientes:

- Los ensayos con mayor temperatura ambiente, correspondientes a los dos días de agosto, son los que han dado un mayor valor de potencia de entrada, como es lógico, ya que las altas temperaturas “exigen” más trabajo al equipo de refrigeración, y, por tanto, al compresor. El requerimiento energético eléctrico es mayor en agosto, específicamente del orden de 1300 W frente a la potencia de entrada requerida del orden de 1100 W en ensayos de septiembre y octubre.
- Esta diferencia de potencias de entrada se debe, como se ha especificado, en las altas diferencias de temperatura ambiente, y es que, es importante notar que una variación de 6 °C entre dos ensayos, como pueden ser el del día 20 de septiembre y el del día 1 de agosto (ambos ensayos con atomización) provoca una diferencia de potencia de entrada de casi 200 W.
- Para la potencia de salida el razonamiento es el mismo. En jornadas cálidas, la máquina frigorífica parte de una situación inicial en que la temperatura es alta, por ejemplo, 30 °C. Si se pretende disminuir la temperatura de la estancia hasta los 20 °C es natural que la potencia de salida sea mayor que si la misión del equipo es llegar a los 20 °C partiendo de 25 °C. La diferencia de temperaturas en la primera situación es mayor y la carga térmica también. Ejemplificando con los valores numéricos obtenidos, poniendo de nuevo, el ejemplo de los ensayos del 20 de septiembre y el 1 de agosto, la diferencia en vatios de potencia de salida es de más de 200 W.
- ¿Hay alguna relación entre la cantidad de atomizadores, incluso la presencia de atomización o no, con la potencia de entrada y salida? Es posible que sí, pero con estos resultados no es posible analizarlo, ya que la atomización se ha llevado a cabo durante 3 horas a lo largo del ensayo, que dura unas 12, aproximadamente. Para obtener una conclusión lógica es necesario tomar “muestras” de, por ejemplo, una hora de un ensayo con atomización y compararla con otro ensayo de una hora con las mismas condiciones

climatológicas y en el que no haya atomización. Aunque atendiendo a la potencia de entrada, solo ha habido tres ensayos en los que la potencia de entrada haya sido menor a 1100 W. Esos tres ensayos fueron con atomización, y eso teniendo en cuenta que ha habido ensayos sin atomización que han tenido temperaturas ambientales menores, lo que debería haber dado, a priori, una potencia de entrada menor. Véase el ensayo del 6 de octubre (temperatura media de 24.25 °C, con atomización y una potencia de entrada de 1091.45 °C, y, por otro lado, el ensayo del 26 de septiembre, con temperatura media de 23.38 °C, en seco, y una potencia de entrada de 1161.91 °C. Esto ya es un dato esperanzador, pero no definitivo.

- Evaluando los valores finales de eficiencia se pueden distinguir dos grupos de valores. Por un lado, los ensayos de agosto dan una eficiencia (EER) menor al 3.5, mientras que, por otro lado, los ensayos de septiembre dan una eficiencia mayor al 3.5, llegando incluso al 3.9.
- Dicho esto, los valores de eficiencia obtenidos en días más cálidos son menores que en días más fríos, lo cual tiene sentido viendo que el EER resulta del cociente entre potencia de salida entre la potencia de entrada. Sí es cierto que a altas temperaturas tanto la potencia de salida como la de entrada son mayores que en días fríos, sin embargo, la potencia de entrada crece más rápido que la potencia de salida. Es decir, el cociente va siendo cada vez menor conforme aumenta la temperatura.
- Como pasaba con la potencia de entrada y salida no es posible encontrar una relación directa entre la presencia de atomización y un cambio en la eficiencia. Sí que es verdad que la mayor eficiencia encontrada corresponde al ensayo del día 28 de septiembre (en el que la temperatura media fue de 22.82 °C, humedad alta y eficiencia de 3.89), sin embargo, puede deberse a la temperatura ambiente, ya que este ensayo es el que tiene la menor temperatura ambiente, no solo a la atomización.

Una vez detalladas todas las primeras observaciones respecto a estos ensayos, se puede extraer una conclusión, y es que no es posible extraer una relación directa entre la atomización y la eficiencia cuando se realiza un análisis con el promediado de las medidas obtenidas a lo largo de un día completo de ensayo, por tanto, a continuación, se

va a seleccionar fragmentos de ensayo, de una o de dos horas, incluso las tres que dura la atomización y se va a comparar con otros fragmentos de ensayo de otros días en los que la temperatura sea similar y en los que no haya atomización.

### 5.3. ENSAYOS FRAGMENTADOS.

Se va a repetir el procedimiento respecto al apartado anterior. Por un lado, se van a mostrar los trozos de ensayo de alta humedad y se van a comparar entre ellos; con la finalidad de comprobar si los ensayos que han tenido atomización resultan ser más eficientes que los que han carecido de humidificación. De nuevo, es crucial destacar que los ensayos en baja humedad se van a diferenciar de los de alta humedad. Ahora que se van a seleccionar fragmentos más pequeños de ensayo, la humedad que en algunos ensayos era alta, ahora puede ser más pequeña, incluso pudiendo clasificarlos en baja humedad.

La metodología seguida para exponer los ensayos será la siguiente: en primer lugar, se escogerán en su mayoría fragmentos de ensayo entre las 13:00 horas y las 16:00 horas, momentos del día en el que se da la atomización. Unos tendrán esta presencia de humidificación ultrasónica y otros carecerán de ella. Se expondrán todos los parámetros (temperaturas, presiones del ciclo, eficiencia, incluso temperatura ambiental y humedad relativa en aire) y una vez se han expuesto todos los fragmentos de ensayo, se realizará otra tabla resumen en la que se expongan los resultados finales y parámetros a tener en cuenta para poder extraer conclusiones claras.

#### 5.3.1. Extracto de ensayo con atomización. 1 de agosto de 2023.

Se comenzará por el ensayo del día 1 de agosto de 2023. Los ensayos de agosto son casos especiales, ya que no duraron la jornada completa (desde las 8:00 hasta las 20:00 horas) sino que comenzaron más tarde. En este día los atomizadores ultrasónicos se activaron a las 15:30 horas y se desactivaron a las 17:30; por lo que el fragmento escogido será el período que abarque esas horas, es decir, la atomización exclusivamente y se podrá comparar con el del día 2 de agosto (ensayo en seco) también entre esas horas.

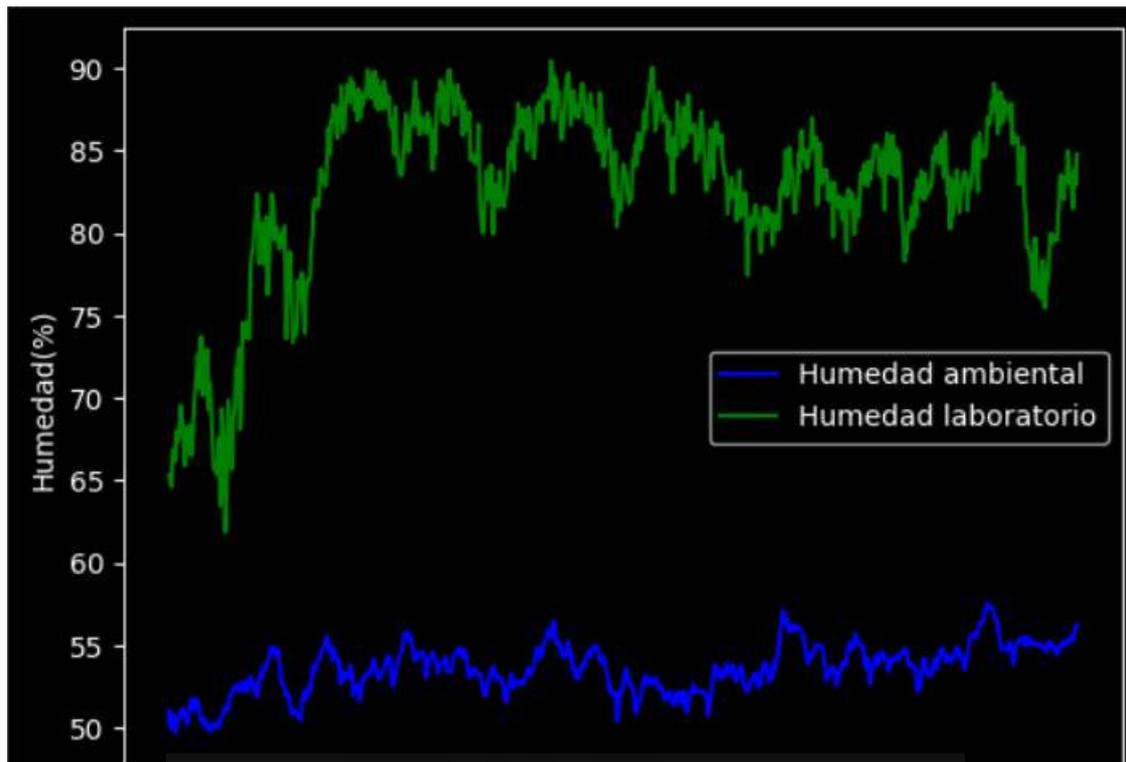


Figura 5.34: Humedad relativa en el laboratorio frente a humedad ambiental a lo largo del tiempo.

En términos de humedad, así serán la mayoría de las gráficas que nos encontraremos en ensayos con atomización. Esta vez la humedad en el laboratorio se va a mantener aumentada a lo largo de todo el fragmento del ensayo. Esto es precisamente lo que se buscaba, acotar el ensayo, a horas de atomización, mientras que la humedad ambiental se mantiene en valores entre 50-60% dependiendo del día y las horas. Por otro lado, en ensayos en seco, la humedad del laboratorio será muy similar a la del ambiente, siguiendo ambas la misma tendencia.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	226.65	227.41	225.71
V_pv (V)	29.68	30.96	29.21
I_red (A)	4.05	4.32	3.86
I_pv (A)	10.89	12.11	8.81
T_sal_evap (°C)	18.44	18.76	16.66
T_ent_comp (°C)	20.48	20.79	18.91
T_sal_comp (°C)	87.6	89.87	86.96
T_ent_cond (°C)	84.63	86.78	84.01
T_sal_cond (°C)	33.63	36.14	32.78
T_ent_evap (°C)	13.88	14.67	13.34
P1_ent_comp (bar)	9.17	9.53	8.92
P2_sal_comp (bar)	30.81	32.35	30.16
P3_sal_cond (bar)	30.41	31.94	29.78
P4_sal_valv (bar)	11.55	11.93	11.3
HR_amb (%)	53.59	57.53	49.72
HR_ent (%)	51.88	54.48	50.2
HR_sal (%)	50.5	44.6	30.73

Tabla: Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 01/08/23, 15:30 h - 17:30 h)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	440.20
h2 (kJ/kg)	479.90
h3 (kJ/kg)	254.00
h4 (kJ/kg)	254.00
h1' (kJ/kg)	438.00
P_pv (W)	323.22
P_red (W)	917.93
Pentrada (W)	1241.15
Pcompresor (W)	1030.40
Caudal ref. (kg/s)	0.0241
Psalida (W)	4441.36
EER	3.58

Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 01/08/23, 15:30 h - 17:30 h)

Se obtienen datos muy interesantes de este ensayo, concretamente, comparándolo con su análogo del 1 de agosto (ensayo completo). Comparando estos ensayos que tienen lugar el mismo día, se puede ver que la eficiencia del ensayo en las horas de atomización es mayor que en el ensayo del día al completo (3.58 frente a 3.38 del ensayo completo). ¿A qué se puede deber esta diferencia? Por temperatura ambiente no será, ya que es prácticamente igual, ligeramente superior a 30 °C en ambos ensayos. A su vez, teniendo en cuenta los datos de potencia de salida, en ambos ensayos es muy similar también. El cambio viene en la potencia de entrada. En este ensayo se obtiene un valor de 1241.15 W frente a los 1313.78 W del ensayo de la jornada completa. Esto es un dato muy relevante, ya que obtenemos en ambos ensayos la misma potencia de salida, pero empleando en uno de ellos menos potencia eléctrica que en el otro. Esto, sin lugar a duda, se debe a la diferencia de temperaturas en la sección de entrada al equipo frigorífico. Al tener una temperatura menor a la entrada del equipo se consigue reducir la potencia de entrada, y, por tanto la potencia del compresor

Este último fragmento de ensayo evaluado únicamente es de dos horas, los fragmentos de septiembre y octubre serán de tres horas.

### 5.3.2. Extracto de ensayo en seco. 2 de agosto de 2023.

Se selecciona un fragmento del ensayo del 2 de agosto, ensayo en seco. Para poder compararlo con el ensayo anterior (fragmento del 1 de agosto con atomización) se va a seleccionar el mismo intervalo horario; entre las 15:30 y las 17:30. Evidentemente, la humedad será menor al trabajar en seco, no como en el caso de la temperatura que es similar a la del día 1 de agosto.

Partiendo de estos principios, el resultado que se busca es que la eficiencia sea menor al fragmento del ensayo anterior, del día 1 de agosto, ya que este se llevó a cabo con atomización.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	227.78	228.62	226.94
V_pv (V)	28.72	30.83	27.16
I_red (A)	4.46	4.83	4.3
I_pv (A)	11.7	13.87	9.1
T_sal_evap (°C)	17.5	19.08	12.29
T_ent_comp (°C)	19.71	21.25	12.72

<b>T_sal_comp (°C)</b>	92.49	93.61	91.22
<b>T_ent_cond (°C)</b>	89.4	90.5	88.01
<b>T_sal_cond (°C)</b>	39.04	42.18	38.64
<b>T_ent_evap (°C)</b>	14.8	15.32	14.02
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	9.51	9.68	9.16
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	34.44	36.7	33.95
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	34.04	36.29	33.54
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	11.99	12.14	11.7
<b>HR_amb (%)</b>	49.05	59.37	35.53
<b>HR_ent (%)</b>	49.31	53.06	45.12
<b>HR_sal (%)</b>	43.43	46.45	40.19

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 02/08/23, 15:30 h - 17:30 h)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	438.60
<b>h2 (kJ/kg)</b>	481.10
<b>h3 (kJ/kg)</b>	263.04
<b>h4 (kJ/kg)</b>	263.04
<b>h1' (kJ/kg)</b>	436.20
<b>P_pv (W)</b>	336.02
<b>P_red (W)</b>	1015.90
<b>Pentrada (W)</b>	1351.92
<b>Pcompresor (W)</b>	1122.37
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0246
<b>Psalida W)</b>	4252.81
<b>EER</b>	3.15

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 02/08/23, 15:30 h - 17:30 h)

La eficiencia baja en gran medida hasta 3.15, mientras que en el ensayo del 2 de agosto al completo la eficiencia era de 3.40. Se puede extraer un dato muy relevante, y es que, en el anterior apartado, se evaluaba el ensayo del 1 de agosto con atomización frente al fragmento de ensayo del mismo día, pero solo seleccionando el intervalo de tiempo en el que se producía la atomización. En este primer caso, resultaba ser mayor la eficiencia del extracto de ensayo en el que solo se empleaba atomización (3.58 frente a 3.38) sin embargo, ahora, el día 2 de agosto resulta ser mayor la eficiencia del día completo (3.40

frente a 3.15). Esto se debe a que en el fragmento de ensayo de 15:30 a 17:30 las temperaturas son más altas, por tanto, la eficiencia va a ser menor. Esto no sucede en el caso del día 1 de agosto, ya que en ese fragmento de 15:30 a 17:30 se consigue reducir la temperatura gracias a la humidificación ultrasónica, permitiendo obtener un resultado elevado de eficiencia.

Estos primeros resultados indican que la atomización ultrasónica es notablemente positiva en términos de aumento de eficiencia energética, por lo menos en el caluroso mes de agosto.

A continuación, se revisarán los ensayos de septiembre y de octubre en los que las temperaturas medias ambientales se reducen drásticamente.

### 5.3.3. Extracto de ensayo con atomización. 19 de septiembre de 2023

Este extracto de ensayo abarca, aproximadamente, desde las 13:00 horas hasta las 15:20 horas, período del ensayo en el que se pulveriza agua a la entrada del condensador. Tiene lugar en las horas centrales y, normalmente, más calurosas del día, sin embargo, la temperatura media no llega a los 24 °C, debido, seguramente, a la alta humedad de la presente jornada.

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V_red (V)</b>	226.9	230.27	221.69
<b>V_pv (V)</b>	33.53	36.95	25.47
<b>I_red (A)</b>	4.4	5.07	3.1
<b>I_pv (A)</b>	3.86	15.87	1.16
<b>T_sal_evap (°C)</b>	14.64	15.27	11.57
<b>T_ent_comp (°C)</b>	16.81	17.46	14.57
<b>T_sal_comp (°C)</b>	80.34	83.55	78.68
<b>T_ent_cond (°C)</b>	77.25	80.39	75.58
<b>T_sal_cond (°C)</b>	27.34	32.81	25.56
<b>T_ent_evap (°C)</b>	10.76	11.59	9.74
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.36	8.65	7.96
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	27.32	29.5	25.68
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	26.78	28.98	25.15
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	12.29	12.62	11.82
<b>HR_amb (%)</b>	67.15	73	55.41
<b>HR_ent (%)</b>	63.02	66.6	58.68
<b>HR_sal (%)</b>	59.23	62.89	54.23

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 19/09/23, 13:00 h – 15:20

h)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	438.30
<b>h2 (kJ/kg)</b>	475.80
<b>h3 (kJ/kg)</b>	243.30
<b>h4 (kJ/kg)</b>	243.30
<b>h1' (kJ/kg)</b>	436.00
<b>P_pv (W)</b>	129.43
<b>P_red (W)</b>	998.36
<b>Pentrada (W)</b>	1127.79
<b>Pcompresor (W)</b>	936.29
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0232
<b>Psalida W)</b>	4474.48
<b>EER</b>	3.97

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 19/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

El valor de eficiencia de este fragmento de ensayo del 19 de septiembre de 2019 aumenta considerablemente respecto a su homólogo del día completo. La temperatura media solo varía en un grado Celsius entre ellos, siendo la temperatura de este fragmento de ensayo más alta. Aun así, la eficiencia ha aumentado desde 3.71 hasta 3.97. La potencia de salida es considerablemente mayor en este extracto de ensayo y es que son horas más calurosas en las que se ha podido atenuar la potencia de entrada, que debería ser más alta que en el ensayo del día completo, pero que se ve reducida, gracias al descenso en la temperatura del aire de entrada al equipo por los efectos de la atomización ultrasónica.

#### 5.3.4. Extracto de ensayo con atomización. 20 de septiembre de 2023.

Este fragmento de ensayo comienza a las 13:00 horas y finaliza a las 16:00 horas abarcando, de este modo, el período completo de atomización. Con un valor medio de humedad relativa ambiental de 41.55%, se puede clasificar como uno de los ensayos más secos evaluados, mientras que el ensayo del día 20 de septiembre evaluado al

completo superaba ligeramente el valor de 52% en humedad relativa ambiental. Es una bajada considerable pero evaluada en un período de nebulización.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	227.13	230.45	224.29
V_pv (V)	30.57	31.98	28.22
I_red (A)	3.43	4.44	3.31
I_pv (A)	12.57	13.79	3.2
T_sal_evap (°C)	11.32	13.54	8.4
T_ent_comp (°C)	13.91	15.9	9.53
T_sal_comp (°C)	79.08	81.01	77.35
T_ent_cond (°C)	76.02	77.82	74.37
T_sal_cond (°C)	28.55	32.96	27.71
T_ent_evap (°C)	9.3	10.26	8.77
P1_ent_comp (bar)	7.96	8.25	7.73
P2_sal_comp (bar)	27.03	29.19	26.31
P3_sal_cond (bar)	26.49	28.69	25.79
P4_sal_valv (bar)	11.89	12.29	11.63
HR_amb (%)	41.55	53.2	35.96
HR_ent (%)	48.77	50.36	46.26
HR_sal (%)	46.1	47.15	43.4

Tabla: Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 20/09/23, 13:00 h – 16:00

h)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	436.20
h2 (kJ/kg)	474.70
h3 (kJ/kg)	245.40
h4 (kJ/kg)	245.40
h1' (kJ/kg)	433.60
P_pv (W)	384.26
P_red (W)	779.06
Pentrada (W)	1163.32
Pcompresor (W)	965.79
Caudal ref. (kg/s)	0.0233
Psalida W)	4390.60
EER	3.77

Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 20/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

De nuevo se obtiene un mayor valor de eficiencia respecto al ensayo íntegro. El valor de eficiencia aumenta desde 3.62 hasta 3.77. No es un aumento tan alto como se ha visto en otros ensayos como el del 19 de septiembre frente al fragmento de ensayo con atomización. Esto puede deberse a que la temperatura ambiental del ensayo completo es de 24.79 °C frente a los casi 27 °C (temperatura lógica al trabajar en humedades bajas y en un horario en el que las temperaturas destacan por ser elevadas respecto a las horas restantes del día) de esta porción de ensayo o también a que se ha reducido el número de atomizadores respecto al día 19 de septiembre. En este ensayo se ha trabajado con 45 nebulizadores.

### 5.3.5. Extracto de ensayo con atomización. 21 de septiembre de 2023

Otro fragmento de ensayo con atomización que abarca desde las 13:00 horas hasta las 16:00 horas. De los 25.67 °C de temperatura media del ensayo al completo de este día se pasa a 27.65 °C en este fragmento de ensayo, seleccionando las horas de mayor temperatura del día. Este día era uno de los pocos en los que se había registrado una humedad clasificada como baja, concretamente, de 42.48%. En esta pieza de ensayo, tomando las horas centrales del día se obtiene una humedad bajísima: 28.91%, la más baja hasta ahora.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	226.91	231.78	221.53
V_pv (V)	30.95	33.85	29.46
I_red (A)	3.59	4.06	3.12
I_pv (A)	9.49	13.52	5
T_sal_evap (°C)	7.6	11.62	6.97
T_ent_comp (°C)	9.77	14.21	6.94
T_sal_comp (°C)	73.28	79.72	72.01
T_ent_cond (°C)	70.34	76.5	69.07
T_sal_cond (°C)	25.22	30.24	24.53
T_ent_evap (°C)	8.27	8.65	7.95
P1_ent_comp (bar)	7.79	7.93	7.62
P2_sal_comp (bar)	25.67	26.78	25.1
P3_sal_cond (bar)	25.3	26.43	24.77
P4_sal_valv (bar)	11.68	11.82	11.46

<b>HR_amb (%)</b>	28.91	38.41	24.89
<b>HR_ent (%)</b>	44.85	47.23	42.33
<b>HR_sal (%)</b>	42.33	46.17	40.36

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 21/08/23, 13:00 h – 16:00

h)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	432.40
<b>h2 (kJ/kg)</b>	469.60
<b>h3 (kJ/kg)</b>	239.80
<b>h4 (kJ/kg)</b>	239.80
<b>h1' (kJ/kg)</b>	430.20
<b>P_pv (W)</b>	293.72
<b>P_red (W)</b>	814.61
<b>Pentrada (W)</b>	1108.32
<b>Pcompresor (W)</b>	920.13
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0230
<b>Psalida W)</b>	4379.82
<b>EER</b>	3.95

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 21/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

Se ha obtenido uno de los valores más altos de eficiencia energética trabajando en una temperatura ambiental promedio de 27.65 °C. El ensayo del día completo tenía una temperatura promedio de 25.67 °C. Aun trabajando a una temperatura mayor se ha logrado aumentar la eficiencia desde 3.56 hasta 3.95. Un aumento muy grande, resultado de descender la temperatura del aire de entrada al equipo de climatización en un día ligeramente cálido.

El aumento de eficiencia es realmente destacable, ha sido de 0.4 puntos. Uno de los motivos de tal crecimiento puede ser el número de atomizadores empleado. Es posible que 81 atomizadores den un resultado más eficiente que simplemente emplear 45 nebulizadores. Los ensayos del día 19 de septiembre refuerzan esta idea, ya que se logró obtener una eficiencia del 3.97 en el fragmento de ensayo (en atomización) de aquel día, partiendo de un valor de eficiencia de 3.71 del día completo. A priori, puede parecer

lógico que con 81 atomizadores se vaya a obtener una mayor eficiencia al provocar un mayor enfriamiento en la sección de entrada al condensador, sin embargo, humedecer de tal forma el aire puede provocar descensos críticos de presión o saturar el aire de agua de tal forma que al equipo de climatización le cueste eliminar el agua del aire a la hora de emplearlo para llevar a cabo el ciclo frigorífico.

### 5.3.6. Extracto de ensayo en seco. 26 de septiembre de 2023.

Después de varios ensayos en los que se ha activado la sección de preenfriamiento evaporativo toca estudiar uno de septiembre en seco para poder compararlos con el resto si las condiciones de temperatura y de humedad son similares. Al igual que en los ensayos mostrados de septiembre, se escogerá el período horario que abarca las 13:00 y las 16:00 horas, las de mayor temperatura del día.

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V<sub>red</sub> (V)</b>	224.44	227.84	214.87
<b>V<sub>pv</sub> (V)</b>	30.04	33.47	25.02
<b>I<sub>red</sub> (A)</b>	3.72	4.79	3.34
<b>I<sub>pv</sub> (A)</b>	11.88	16	3.52
<b>T<sub>sal_evap</sub> (°C)</b>	10.4	12.79	8.39
<b>T<sub>ent_comp</sub> (°C)</b>	13.37	15.19	9.24
<b>T<sub>sal_comp</sub> (°C)</b>	81.63	82.75	79.34
<b>T<sub>ent_cond</sub> (°C)</b>	78.45	79.56	76.29
<b>T<sub>sal_cond</sub> (°C)</b>	31.97	33.42	31.22
<b>T<sub>ent_evap</sub> (°C)</b>	9.64	10.46	9.27
<b>P1<sub>ent_comp</sub> (bar)</b>	8.05	8.32	7.89
<b>P2<sub>sal_comp</sub> (bar)</b>	28.55	29.45	27.83
<b>P3<sub>sal_cond</sub> (bar)</b>	28.24	29.13	27.47
<b>P4<sub>sal_valv</sub> (bar)</b>	11.99	12.32	11.82
<b>HR<sub>amb</sub> (%)</b>	54.57	58.72	49.51
<b>HR<sub>ent</sub> (%)</b>	50.38	54.1	46.42
<b>HR<sub>sal</sub> (%)</b>	42.37	47.24	38.52

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 26/09/23, 13:00 h – 16:00

h)

VARIABLE	VALOR
<b>h1 (kJ/kg)</b>	435.50
<b>h2 (kJ/kg)</b>	475.60
<b>h3 (kJ/kg)</b>	251.20
<b>h4 (kJ/kg)</b>	251.20
<b>h1' (kJ/kg)</b>	432.40
<b>P_pv (W)</b>	356.88
<b>P_red (W)</b>	834.92
<b>Pentrada (W)</b>	1191.79
<b>Pcompresor (W)</b>	989.43
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0229
<b>Psalida W)</b>	4157.96
<b>EER</b>	3.49

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 26/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

De nuevo, al tratar un ensayo en seco, se obtiene una eficiencia más reducida. Especialmente destacable que el valor de eficiencia es menor a la del ensayo al completo, no como ocurría en el resto de los días en los que había atomización. En el ensayo al completo se obtuvo una eficiencia de 3.61, mientras que en esta porción de ensayo se ha obtenido un 3.49. En los ensayos con atomización, al conseguir reducir la temperatura del aire de entrada se obtiene una mayor eficiencia aun considerando las horas de atomización como las más calurosas. En el ensayo íntegro del día 26 de septiembre tenía un promedio de temperatura ambiente de 23.38, mientras que en esta porción de ensayo la temperatura media es 25.15 °C. Como es natural, a mayor temperatura menor eficiencia.

#### 5.3.7. Extracto de ensayo en seco. 27 de septiembre de 2023.

Otro ensayo que va a servir para comprobar si se mantiene la tendencia de los ensayos en seco cuando se evalúan, únicamente, en las horas de mayor temperatura del día. Según su temperatura ambiental promedio y su humedad relativa media se podrá comparar con el ensayo del día completo. Resulta que, tanto el ensayo del día completo como este fragmento de ensayo comparten la cualidad de tener una alta humedad relativa en el aire, a la vez que una, ligeramente, mayor temperatura ambiental: 23.05 °C frente a 24.51 °C. Si todo sigue como hasta ahora, los resultados que se deberían obtener

al tratarse de un ensayo en seco y al presentarse en este nuevo fragmento de ensayo temperaturas ligeramente mayores, una eficiencia menor que en el día completo sería el resultado esperado.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	225.54	228.88	213.15
V_pv (V)	30.16	32.08	28.38
I_red (A)	3.63	4.61	3.51
I_pv (A)	12.7	14.26	3.92
T_sal_evap (°C)	11.03	12.66	8.36
T_ent_comp (°C)	13.47	15.08	8.85
T_sal_comp (°C)	81.72	82.81	79.17
T_ent_cond (°C)	78.54	79.72	76.12
T_sal_cond (°C)	32.11	33.26	31.72
T_ent_evap (°C)	9.71	10.31	9.35
P1_ent_comp (bar)	8.13	8.33	8.01
P2_sal_comp (bar)	28.79	29.59	28.42
P3_sal_cond (bar)	28.46	29.33	28.17
P4_sal_valv (bar)	12.08	12.35	11.94
HR_amb (%)	57.46	60.87	50.14
HR_ent (%)	51.31	52.82	48.02
HR_sal (%)	48.26	49.6	46.2

Tabla: Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 27/09/23, 13:00 h – 16:00

h)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	435.40
h2 (kJ/kg)	475.40
h3 (kJ/kg)	251.40
h4 (kJ/kg)	251.40
h1' (kJ/kg)	432.90
P_pv (W)	383.03
P_red (W)	818.71
Pentrada (W)	1201.74
Pcompresor (W)	997.69
Caudal ref. (kg/s)	0.0232
Psalida W)	4210.11
EER	3.50

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 27/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

Efectivamente, la eficiencia del presente ensayo respecto al ensayo completo es menor. Los resultados van por buen camino para poder afirmar un positivo efecto en esta toma de datos en términos de eficiencia energética. Tanto en días de alta humedad como en los de baja se consigue un considerable aumento de EER empleando atomizadores ultrasónicos.

### 5.3.8. Extracto de ensayo con atomización. 28 de septiembre de 2023

Este ensayo es bastante similar a los anteriores de septiembre en los que ha habido atomización. Son ensayos de alta humedad (tanto este fragmento de ensayo como el del día completo) a la vez que similares en cuanto a temperatura. De nuevo se repite que en este fragmento de ensayo que se toma desde las 13:00 hasta las 16:00 horas la temperatura ambiente promedio es mayor, concretamente, 2 °C más que en el ensayo del día completo. Este día en el laboratorio se activaron 45 humidificadores de la parrilla de atomización.

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V_red (V)</b>	225.01	227.89	218.08
<b>V_pv (V)</b>	30.14	31.06	28.98
<b>I_red (A)</b>	3.39	3.65	3.24
<b>I_pv (A)</b>	12.46	13.1	11.28
<b>T_sal_evap (°C)</b>	9.33	12.64	8.08
<b>T_ent_comp (°C)</b>	12.07	14.98	8.79
<b>T_sal_comp (°C)</b>	75.95	81.87	74.85
<b>T_ent_cond (°C)</b>	73.02	78.72	71.99
<b>T_sal_cond (°C)</b>	26.2	31.91	25.31
<b>T_ent_evap (°C)</b>	9.1	9.41	8.64
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	8.04	8.18	7.84
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	26.51	28.57	25.47
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	26.17	28.27	25.15
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	11.93	12.07	11.7
<b>HR_amb (%)</b>	57.1	61.61	51.95
<b>HR_ent (%)</b>	51.78	55.32	47.77
<b>HR_sal (%)</b>	50.74	53.48	46.27

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 28/09/23, 13:00 h – 16:00

h)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	434.20
<b>h2 (kJ/kg)</b>	471.60
<b>h3 (kJ/kg)</b>	241.40
<b>h4 (kJ/kg)</b>	241.40
<b>h1' (kJ/kg)</b>	431.30
<b>P_pv (W)</b>	375.54
<b>P_red (W)</b>	762.78
<b>Pentrada (W)</b>	1138.33
<b>Pcompresor (W)</b>	945.04
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0235
<b>Psalida W)</b>	4462.59
<b>EER</b>	3.92

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 28/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

Se compara este fragmento de ensayo con el de la jornada completa de 8:00 a 20:00 horas. El ensayo íntegro resultaba dar una eficiencia de 3.89, mientras que este fragmento escogido entre las 13:00 y las 16:00 horas resulta en una eficiencia de 3.92. Esta vez el aumento es mínimo. Puede deberse a diversos factores: por un lado, la eficiencia en el día completo ya era considerablemente alta y es posible que se estuviera trabajando en el punto de máxima eficiencia, dejando poca posibilidad a mejorar todavía más este valor. La temperatura media del ensayo completo ya era bastante baja (22.82 °C) y, por tanto, no se puede conseguir un gradiente térmico pronunciado al atomizar agua sobre el aire de entrada al equipo. Por otro lado, puede ser influyente, como ya se comentaba antes, el número de atomizadores empleados, esta vez 45. Otra observación que lleva a pensar que la cifra de 81 atomizadores sea óptima frente a los 45. De todos modos, el valor de eficiencia es bastante alto, uno de los más altos encontrados.

### 5.3.9. Extracto de ensayo en seco. 29 de septiembre de 2023

Para finalizar los ensayos de septiembre se estudiará el intervalo de lecturas tomadas entre las 13:00 horas y las 16:00 horas del día 29 de septiembre. Ensayo en el que no se activó la sección de preenfriamiento evaporativo. Como ya es costumbre, debería obtenerse un valor de eficiencia menor al obtenido en el estudio del ensayo de la jornada entera, debido, principalmente, a la elevada temperatura en las horas centrales de los ensayos. Nuevamente, este fragmento de ensayo es similar al ensayo íntegro. Como en la mayoría de los casos, ambos son de alta humedad y el fragmento de ensayo supera en 2 °C al ensayo completo, en términos de temperatura ambiental media. Los resultados son:

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	225.45	228.39	221.59
V_pv (V)	30.02	30.95	28.91
I_red (A)	3.67	4.47	3.6
I_pv (A)	12.55	13.19	5.3
T_sal_evap (°C)	9.55	13.22	8.83
T_ent_comp (°C)	12.81	15.6	10.54
T_sal_comp (°C)	80.41	82.82	79.63
T_ent_cond (°C)	77.39	79.62	76.6
T_sal_cond (°C)	32.4	33.28	31.22
T_ent_evap (°C)	10.22	10.44	9.53
P1_ent_comp (bar)	8.3	8.38	8.03
P2_sal_comp (bar)	28.88	30.52	26.95
P3_sal_cond (bar)	28.59	29.1	28.1
P4_sal_valv (bar)	12.28	12.36	11.98
HR_amb (%)	59.53	63.17	52.28
HR_ent (%)	53.26	55.46	49.35
HR_sal (%)	50.03	52.03	45.68

Tabla: Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 29/09/23, 13:00 h – 16:00

h)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	434.30
h2 (kJ/kg)	473.60
h3 (kJ/kg)	251.90
h4 (kJ/kg)	251.90

<b>h1' (kJ/kg)</b>	430.90
<b>P_pv (W)</b>	376.75
<b>P_red (W)</b>	827.40
<b>Pentrada (W)</b>	1204.15
<b>Pcompresor (W)</b>	999.69
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0237
<b>Psalida (W)</b>	4234.55
<b>EER</b>	3.52

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 29/09/23, 13:00 h – 16:00 h)

Al igual que la gran mayoría de ensayos en seco, el valor de EER no apenas supera 3.5. Existe una gran diferencia en estos fragmentos de ensayo (independientemente de la humedad), y es que en los que se activa la atomización ultrasónica se alcanzan eficiencias muy altas que rozan un valor de 4, sin embargo, en los fragmentos de ensayo en seco, el aire entra con una alta temperatura al equipo de climatización provocando una reducción en la eficiencia. Es importante tener en cuenta que todos estos fragmentos de ensayo son de tres horas, es decir, si se hubiera elegido un intervalo mayor en el que se active la parrilla de atomización durante doce horas, por ejemplo, los resultados podrían ser totalmente distintos; bien para mejor o incluso para peor, debido a la saturación del aire.

#### 5.3.10. Extracto de ensayo en seco. 2 de octubre de 2023.

El ensayo de este día (tanto el completo como el escogido en este fragmento) es especial, ya que, al igual que en el día 21 de septiembre, se trabaja con humedades especialmente bajas. Es un ensayo en seco, que sumado a las altas temperaturas que acompañan a la baja humedad, invita a pensar que se obtendrá uno de los valores de eficiencia más bajos hasta el momento. La temperatura promedio es de 28.42 °C, casi 3 °C más que el valor promedio del ensayo completo (25.64 °C).

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V_red (V)</b>	226.55	228.45	212.85
<b>V_pv (V)</b>	27.77	30.8	26.51
<b>I_red (A)</b>	3.64	3.92	3.56

<b>I<sub>pv</sub> (A)</b>	13.8	14.73	11.13
<b>T<sub>sal_evap</sub> (°C)</b>	6.93	7.4	6.69
<b>T<sub>ent_comp</sub> (°C)</b>	8.75	10.09	7.57
<b>T<sub>sal_comp</sub> (°C)</b>	79.19	80.11	78.55
<b>T<sub>ent_cond</sub> (°C)</b>	76.05	76.99	75.38
<b>T<sub>sal_cond</sub> (°C)</b>	32.75	33.68	32.18
<b>T<sub>ent_evap</sub> (°C)</b>	8.58	8.94	8.36
<b>P<sub>1_ent_comp</sub> (bar)</b>	7.76	7.89	7.68
<b>P<sub>2_sal_comp</sub> (bar)</b>	28.71	31.29	26.17
<b>P<sub>3_sal_cond</sub> (bar)</b>	28.4	29.08	27.96
<b>P<sub>4_sal_valv</sub> (bar)</b>	11.73	11.87	11.65
<b>HR<sub>amb</sub> (%)</b>	34.21	36.9	31.64
<b>HR<sub>ent</sub> (%)</b>	38.39	41.24	36.93
<b>HR<sub>sal</sub> (%)</b>	37.89	39.25	36.86

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 02/10/23, 13:00 h – 16:00

h)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	431.50
<b>h2 (kJ/kg)</b>	472.30
<b>h3 (kJ/kg)</b>	252.60
<b>h4 (kJ/kg)</b>	252.60
<b>h1' (kJ/kg)</b>	429.60
<b>P<sub>pv</sub> (W)</b>	383.23
<b>P<sub>red</sub> (W)</b>	824.64
<b>P<sub>entrada</sub> (W)</b>	1207.87
<b>P<sub>compresor</sub> (W)</b>	1002.77
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0229
<b>P<sub>salida</sub> (W)</b>	4045.74
<b>EER</b>	3.35

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 02/10/23, 13:00 h – 16:00 h)

Efectivamente, la eficiencia obtenida es de 3.35, una de las más bajas hasta el momento. No es tan baja como la del otro día de baja humedad, el 21 de septiembre de 2023, fragmento de ensayo en el que se obtuvo 3.15 de EER. Estos dos valores tan bajos de eficiencia energética comparten que provienen de días poco húmedos. Hasta el momento, los días húmedos, a pesar de correr un riesgo mayor de poder saturar el aire en el momento de la atomización dan un resultado de eficiencia mejor que los días poco

húmedos; y es que el efecto del descenso de la temperatura resulta ser un factor de mayor relevancia que el peligro que puede haber en un día de alta humedad por sobresaturar el aire, aunque sí es cierto que no se han llegado a estudiar días extremadamente húmedos.

### 5.3.11. Extracto de ensayo con atomización. 4 de octubre de 2023.

Esta pieza de ensayo perteneciente a la clasificación de los ensayos con atomización es interesante de estudiar, ya que se emplean 45 atomizadores. En anteriores ensayos húmedos, se han obtenido mayores incrementos en la eficiencia activando una matriz de 9 por 9 atomizadores (81, en total) de la parrilla de atomización, mientras que, empleando 45 nebulizadores, no se obtiene un aumento considerable de eficiencia. Se presenta un nuevo ensayo de este tipo, en niveles de alta humedad.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	225.45	228.32	208.35
V_pv (V)	30.06	32.75	27.5
I_red (A)	3.61	4.36	3.42
I_pv (A)	12.26	14.16	5.65
T_sal_evap (°C)	12.32	14.01	9.55
T_ent_comp (°C)	14.94	16.39	12.15
T_sal_comp (°C)	81.07	82.39	79.47
T_ent_cond (°C)	77.99	79.26	76.52
T_sal_cond (°C)	30.34	32.5	29.2
T_ent_evap (°C)	10.26	10.98	9.68
P1_ent_comp (bar)	8.21	8.48	8
P2_sal_comp (bar)	28.06	29.41	25.89
P3_sal_cond (bar)	27.72	28.45	27.13
P4_sal_valv (bar)	12.14	12.43	11.94
HR_amb (%)	53.06	61.12	46.03
HR_ent (%)	51.83	53.55	49.86
HR_sal (%)	49.44	51.55	47.79

Tabla: Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 04/10/23, 13:00 h-16:00 h)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	436.70
h2 (kJ/kg)	475.70
h3 (kJ/kg)	248.40

<b>h4 (kJ/kg)</b>	248.40
<b>h1' (kJ/kg)</b>	434.00
<b>P_pv (W)</b>	368.54
<b>P_red (W)</b>	813.87
<b>Pentrada (W)</b>	1182.41
<b>Pcompresor (W)</b>	981.64
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0234
<b>Psalida W)</b>	4344.57
<b>EER</b>	3.67

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 04/10/23, 13:00 h – 16:00 h)

Nuevamente, se presentan resultados de eficiencia notablemente bajos si se comparan con el resto de los fragmentos de ensayos en los que se ha empleado atomización. Este, en concreto, que abarca desde las 13:00 horas hasta las 16:00 horas, tiene una temperatura promedio cerca de 2 °C superior al ensayo del día entero. La eficiencia de este era de 3.62, mientras que ahora, la eficiencia obtenida ha sido de 3.67. Sí es cierto que se ha podido incrementar el EER, pero muy ligeramente. Concretamente, el incremento es de 0.05. Atendiendo a otros ensayos de alta humedad y similar temperatura, como puede ser el del 19 de septiembre, se logró aumentar la eficiencia desde 3.71 hasta 3.97. Sí es cierto que la temperatura no era del todo igual, y la humedad, ligeramente superior. Sin embargo, el cambio que parece fundamental atendiendo a este y varios ensayos tratados es el número de atomizadores. La matriz de 81 atomizadores está consiguiendo mayores incrementos de EER que los 45 atomizadores empleados este día.

#### 5.3.12. Extracto de ensayo con atomización. 5 de octubre de 2023.

Se presenta un extracto de ensayo muy similar al del día anterior. En ambos casos, una humedad relativa ambiental entre 51% y 53%. El extracto de ensayo con atomización del día 4 de octubre se llevó a cabo con una temperatura ambiente media de 26.04 °C, muy similar al del 5 de octubre, con 25.91 °C como promedio de temperatura. Ambos comparten, además, el número de atomizadores ultrasónicos usados, 45. Este número de humidificadores ha resultado unos valores de eficiencia ligeramente más bajos que los obtenidos en ensayos de 81 atomizadores.

Se presentan, a continuación, los resultados de este extracto de ensayo de, ligeramente, alta humedad que abarca el intervalo horario entre las 13:00 horas y las 16:00, al igual que los anteriores.

VARIABLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
V_red (V)	224.13	227.23	221.36
V_pv (V)	29.99	30.68	29.48
I_red (A)	3.46	3.62	3.38
I_pv (A)	12.24	12.72	11.11
T_sal_evap (°C)	13.07	13.4	12.25
T_ent_comp (°C)	15.52	15.87	14.64
T_sal_comp (°C)	80.39	81.8	79.98
T_ent_cond (°C)	77.23	78.63	76.85
T_sal_cond (°C)	28.93	31.78	28.33
T_ent_evap (°C)	9.11	9.63	8.65
P1_ent_comp (bar)	7.92	8.1	7.75
P2_sal_comp (bar)	26.68	28.32	25.01
P3_sal_cond (bar)	26.37	27.77	25.89
P4_sal_valv (bar)	11.79	11.99	11.59
HR_amb (%)	51.56	56.3	46.48
HR_ent (%)	49.9	51.56	48.36
HR_sal (%)	48.5	49.78	46.65

Tabla: Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 05/10/23, 13:00 h – 16:00

h)

VARIABLE	VALOR
h1 (kJ/kg)	438.00
h2 (kJ/kg)	476.80
h3 (kJ/kg)	246.00
h4 (kJ/kg)	246.00
h1' (kJ/kg)	435.50
P_pv (W)	367.08
P_red (W)	775.49
Pentrada (W)	1142.57
Pcompresor (W)	948.56
Caudal ref. (kg/s)	0.0227
Psalida (W)	4308.49
EER	3.77

Tabla: Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 05/10/23, 13:00 h – 16:00 h)

Nuevamente, el incremento en la eficiencia es mínimo, sin embargo, en este caso es negativo. Es decir; el resultado de eficiencia obtenido en el ensayo del día completo es de 3.79, mientras que ahora se extrae un valor de EER de 3.77. Es la primera vez que un extracto de ensayo con atomización proporciona una eficiencia menor respecto a la del día completo.

Esta reducción en términos de eficiencia se puede dar, sobre todo, a la baja humedad relativa media que se proporciona en las lecturas, 51.56% (se clasifica como alta por ser mayor de 50%, pero aun así se encuentra en el límite), la alta temperatura media, que ronda los 26 °C y el número de atomizadores empleados. Una posible conclusión es que el efecto de enfriamiento de los 45 atomizadores no es suficiente para superar el pernicioso efecto que provocan las altas temperaturas provocadas por la baja humedad relativa.

#### 5.3.13. Extracto de ensayo con atomización. 6 de octubre de 2023.

El último fragmento de ensayo a tratar es el del día 6 de octubre. Al igual que muchos ensayos estudiados anteriormente, este tiene lugar desde las 13:00 horas hasta las 16:00 horas y tiene una humedad similar al ensayo completo del mismo día, sin embargo, al situarse por debajo del 50% en contenido de humedad relativa (47.61 %) se debe estudiar como un ensayo de baja humedad. La temperatura ambiental promedio respecto al ensayo del día anterior también es notablemente superior (24.25 °C el ensayo completo y 27.08 °C el período de atomización). La diferencia principal respecto a otros períodos de atomización es que este es el único que se lleva a cabo con 63 (matriz de 7 por 9).

<b>VARIABLE</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>V_red (V)</b>	224.73	228.29	212.6
<b>V_pv (V)</b>	30.11	30.98	28.33
<b>I_red (A)</b>	3.43	3.67	3.33
<b>I_pv (A)</b>	12.17	13.57	11.43
<b>T_sal_evap (°C)</b>	12.56	13.3	8.71
<b>T_ent_comp (°C)</b>	15.15	15.84	11.27
<b>T_sal_comp (°C)</b>	80.03	82.17	78.54
<b>T_ent_cond (°C)</b>	76.89	79.01	75.49

<b>T_sal_cond (°C)</b>	28.92	32.81	27.97
<b>T_ent_evap (°C)</b>	8.9	9.54	8.24
<b>P1_ent_comp (bar)</b>	7.85	8.13	7.59
<b>P2_sal_comp (bar)</b>	26.54	28.85	25.03
<b>P3_sal_cond (bar)</b>	26.19	28.48	25.46
<b>P4_sal_valv (bar)</b>	11.73	12.03	11.43
<b>HR_amb (%)</b>	47.61	53.75	41.73
<b>HR_ent (%)</b>	47.63	50.95	44.2
<b>HR_sal (%)</b>	46.15	48.9	42.57

*Tabla:* Valores medios de cada variable (extracto de ensayo 06/10/23, 13:00 h – 16:00

h)

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
<b>h1 (kJ/kg)</b>	437.80
<b>h2 (kJ/kg)</b>	476.60
<b>h3 (kJ/kg)</b>	246.00
<b>h4 (kJ/kg)</b>	246.00
<b>h1' (kJ/kg)</b>	435.10
<b>P_pv (W)</b>	366.44
<b>P_red (W)</b>	770.82
<b>Pentrada (W)</b>	1137.26
<b>Pcompresor (W)</b>	944.16
<b>Caudal ref. (kg/s)</b>	0.0226
<b>Psalida (W)</b>	4279.43
<b>EER</b>	3.76

*Tabla:* Entalpías, potencias y eficiencia energética (ensayo 06/10/23, 13:00 h – 16:00 h)

No existe un incremento de eficiencia energética tan alto como cuando se estudiaban extractos de ensayos con atomización y 81 humidificadores, pero es natural pensar que sí se obtiene un incremento mayor que cuando se emplean 45. En este caso, se pasa de una eficiencia de 3.69 obtenida en el ensayo del día completo a 3.76. Sí es cierto que la baja humedad propicia temperaturas altas, como ya se menciona en el párrafo anterior, de 27.08 °C, mitigando, así, el efecto de enfriamiento de la humidificación, por lo que es posible pensar que el uso de 63 atomizadores no sea tan “ineficiente” (comparándolo

con los resultados obtenidos empleando 81 nebulizadores) como puede parecer en un principio.

#### 5.3.14. Tabla resumen de los fragmentos de ensayo y observaciones de los resultados.

Como ya se hizo con los ensayos completos (desde las 8:00 hasta las 20:00 horas en su mayoría) se va a insertar una tabla que resuma los parámetros más importantes obtenidos en los fragmentos extraídos de cada ensayo, destacando también las horas en las que se lleva a cabo.



Día de ensayo	Horario (h)	Humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	Potencia entrada (W)	Potencia salida (W)	EER
01-ago	15:30-17:30	Alta	30.73	81	1241.15	4441.36	3.58
02-ago	15:30-17:30	Baja	30.9	0	1351.92	4251.81	3.15
19-sep	13:00-15:20	Alta	23.92	81	1127.79	4474.48	3.97
20-sep	13:00-16:00	Baja	26.92	45	1163.32	4390.6	3.77
21-sep	13:00-16:00	Baja	27.65	81	1108.32	4379.82	3.95
26-sep	13:00-16:00	Alta	25.19	0	1191.79	4157.96	3.49
27-sep	13:00-16:00	Alta	24.51	0	1201.74	4210.11	3.50
28-sep	13:00-16:00	Alta	24.79	45	1138.33	4462.59	3.92
29-sep	13:00-16:00	Alta	25.17	0	1204.15	4234.55	3.52
02-oct	13:00-16:00	Baja	28.42	0	1207.87	4045.74	3.35
04-oct	13:00-16:00	Alta	26.04	45	1182.41	4344.57	3.67
05-oct	13:00-16:00	Alta	25.91	45	1142.57	4308.49	3.77
06-oct	13:00-16:00	Baja	27.08	63	1137.26	4279.43	3.76

	32<T(°C)<34	Alta	HR>50%
	30<T(°C)<32	Baja	HR<50%
	28<T(°C)<30		
	26<T(°C)<28		
	24<T(°C)<26		
	22<T(°C)<24		
	20<T(°C)<22		

Figura 5.35: Tabla resumen de los resultados de los fragmentos de ensayo

Con estos resultados obtenidos, sumados a los conseguidos de la tabla resumen de resultados de los ensayos completos, es posible reafirmarse en ciertas observaciones o conclusiones extraídas en dicho apartado anterior (apartado 5.2.14). Por otro lado, en estas observaciones anteriores, también se dejaban incógnitas, como puede ser el efecto de la atomización sobre las potencias, tanto de salida como de entrada y que ahora, tras evaluar exclusivamente el intervalo horario entre las 13:00 y las 16:00 horas (mayoritariamente), que es cuando se activan los atomizadores, es posible dar una respuesta concreta y establecer una serie de conclusiones nuevas:

- En primer lugar, es posible reafirmarse en lo anteriormente comentado respecto al efecto de las altas temperaturas en las potencias de salida, de entrada y en el valor de eficiencia. Comenzando por este último, EER es especialmente bajo cuando la temperatura ambiental media es elevada.
- Sin embargo, el valor de EER también se ve condicionado por el período de atomización; algo que se dejaba en duda en el análisis de los resultados de los ensayos completos. Sucede de la misma forma con la potencia de entrada y la potencia de salida. En los siguientes párrafos se explicará, individualmente, como varía cada parámetro dependiendo de la activación (o no) del sistema de atomización.
- La potencia de entrada, al igual que en el anterior análisis de resultados resulta ser mucho mayor en días de alta temperatura ambiental. Un ejemplo claro es el dato de potencia de entrada en ambos días de agosto, claramente superiores a los demás. Sin embargo, es destacable la diferencia entre potencia de entrada en el ensayo del 1 de agosto y el del 2 de agosto. En este último día se consumen 110 W más que en el primero. ¿A qué se debe esa gran diferencia? Exactamente, a la activación del sistema de atomización. A través de la pulverización de agua se consigue reducir la temperatura del aire de entrada al condensador y, con ello, se reduce el “esfuerzo” del compresor. En resumen, a menor temperatura del aire se consigue reducir la potencia de entrada, y, por tanto, del compresor.
- Hablando de la potencia de refrigeración, esta resulta ser más pequeña en días de baja humedad, lo cual es lógico debido a que la baja concentración de humedad en el aire permite enfriar más rápidamente el aire (sin necesidad de eliminar la humedad que haya en él). Las altas temperaturas incrementan la potencia de salida, como ya se vio en el análisis de resultados anterior. Y, por último, es posible analizar el efecto de la atomización en la potencia de salida. Al

humedecer el aire, es necesario, en primer lugar, que el equipo de aire acondicionado elimine la humedad del aire para enfriarlo. De este modo, la potencia de salida se incrementa.

- La última variable resultado que resta por estudiar es el valor de eficiencia energética, o EER. Ya se ha ido explicando a medida que se mostraban los resultados de los ensayos uno por uno. En días de baja humedad, la temperatura se incrementa y resulta una eficiencia energética relativamente baja. De forma contraria, en ensayos de alta humedad, la eficiencia es mayor. En el anterior análisis se dejaba la siguiente incógnita: ¿Afecta el sistema de humidificación en el valor de eficiencia energética? Gracias a estos fragmentos de ensayo es posible afirmar que sí, y rotundamente. Se puede ejemplificar escogiendo los fragmentos de ensayo del día 27 de septiembre y del 28 de septiembre. Se pueden comparar, ya que comparten similar valor de humedad y, prácticamente, misma temperatura ambiental media. El primero se evalúa de 13:00 a 16:00 horas, en seco, es decir, sin atomización, dando como resultado una eficiencia de 3.50. El del día 28 de septiembre, tiene lugar entre las mismas horas, se activa el sistema de preenfriamiento evaporativo y se alcanza una eficiencia de 3.92. La diferencia es clara y notable, es un incremento de 0.42.
- Ahora bien, otra cuestión que quedaba por resolver era si el número de atomizadores también era determinante a la hora de estudiar la eficiencia energética. La respuesta, en este caso, también resulta ser sí. Y, por tanto, afecta en la potencia de entrada y en la potencia de salida.
- Comparando los días 21 de septiembre y 6 de octubre, en los que la temperatura ambiental media es similar y comparten la característica de alta humedad, se puede ver que, el primero se lleva a cabo activando 81 atomizadores de la matriz, mientras que el del 6 de octubre únicamente funciona con 63. La diferencia parece ser relativamente alta, ya que el primero da una eficiencia de 3.95, mientras que el segundo da un EER de 3.76. Este ensayo del día 21 de septiembre es clave para contemplar las ventajas que ofrece la configuración de 9 por 9 atomizadores activados porque, a pesar de ser un período con una temperatura media alta y, además, baja humedad, la eficiencia ha podido alcanzar un valor de 3.95. A esa cifra no es posible acercarse en las mismas condiciones empleando 45 o 63 atomizadores, únicamente si la temperatura media ambiental es menor o si la humedad relativa es mayor.

- En cuanto a la potencia de entrada, se pueden emplear dos ensayos de días seguidos, como son los del 20 y 21 de septiembre, 45 y 81 atomizadores, respectivamente. Misma humedad ambiental y temperatura promedio ligeramente superior la del 21 de septiembre. Teniendo esto último en cuenta la potencia de entrada debería ser ligeramente superior la del día 21 de septiembre, sin embargo, el efecto de un mayor número de atomizadores consigue reducir la potencia de entrada. Es posible introducir en la ecuación el ensayo del 6 de octubre (también de baja humedad) con una temperatura promedio muy ligeramente superior a la del día 20 de septiembre e inferior a la del día 21 de septiembre. Con ello, se obtiene una potencia de entrada menor al ensayo en el que se emplean 45 atomizadores (20 de septiembre) pero mayor con respecto al ensayo en el que se emplean 81 (21 de septiembre); algo que refuerza todavía más la conclusión explicada.

#### 5.4. RESUMEN GENERAL Y CONCLUSIONES

Para poder dar respuesta a las incógnitas de partida de este estudio se han incluido ensayos completos y fragmentados. Unos más generales para explicar el efecto de la temperatura ambiente sobre la eficiencia energética y dar ideas acerca de cómo puede evolucionar esta según se active o no la sección de preenfriamiento evaporativo. Los ensayos fragmentados han servido, específicamente, para dar respuesta definitiva al efecto de los atomizadores ultrasónicos sobre la potencia de entrada y salida del equipo en días húmedos y días secos, observándose claras diferencias entre ellos.

En este apartado, se van a mostrar emparejados los ensayos del día completo justo a su respectivo ensayo fragmentado (del mismo día). Únicamente se mostrarán los siguientes datos: días en los que toman lugar, activación o no del sistema de atomización ultrasónica junto al número de atomizadores, valor exacto de humedad ambiental, temperatura ambiental media del ensayo y, por supuesto, el valor de eficiencia energética obtenida que ya se ha mostrado en anteriores tablas resumen.

Es cierto que al mostrar emparejados ensayos completos junto a los extractos de ensayos que abarcan las horas más calurosas del día es posible encontrarse, por ejemplo, que el ensayo completo del día 21 de septiembre de 2023 da una humedad relativa promedio alta, mientras que el ensayo evaluado entre las 13:00 y las 16:00 horas del mismo día resulta dar un contenido de humedad en el aire notablemente bajo. En dicho caso, no se podrá establecer una comparación lógica entre ellos, exceptuando que, aunque un ensayo se clasifique como de alta humedad y el otro de baja humedad, la diferencia de humedad relativa entre ellas sea pequeña (diferencia entre 48% y 52%, por ejemplo). En este otro caso, sí se compararán.

A continuación, se muestran los ensayos emparejados y resumidos en sus parámetros y datos más relevantes para esta conclusión:



Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
01-ago completo	55.44%	30.55	81	3.38
01-ago (15:30-17:30)	53.59%	30.73	81	3.58

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
02-ago completo	52.41%	30.9	0	3.40
02-ago (16:00-17:30)	49.05%	30.9	0	3.15

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
19-sep completo	72.66%	22.93	81	3.71
19-sep (13:00-16:00)	67.15%	23.92	81	3.97

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
20-sep completo	52.59%	24.79	45	3.62
20-sep (13:00-16:00)	41.55%	26.92	45	3.77

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
21-sep completo	42.48%	25.67	81	3.56
21-sep (13:00-16:00)	28.91%	27.65	81	3.95

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
26-sep completo	58.07%	23.38	0	3.61
26-sep (13:00-16:00)	54.57%	25.19	0	3.49

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
27-sep completo	61.80%	23.05	0	3.76
27-sep (13:00-16:00)	57.46%	24.51	0	3.50

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
28-sep completo	62.87%	22.82	45	3.89
28-sep (13:00-16:00)	57.10%	24.79	45	3.92

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
29-sep completo	65.19%	23.27	0	3.71
29-sep (13:00-16:00)	59.57%	25.17	0	3.52

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
02-oct completo	41.90%	25.64	0	3.52
02-oct (13:00-16:00)	34.21%	28.42	0	3.35

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
04-oct completo	57.31%	24.11	45	3.62
04-oct (13:00-16:00)	53.06%	26.04	45	3.67

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
05-oct completo	58.21%	23.72	45	3.79
05-oct (13:00-16:00)	51.56%	25.91	45	3.77

Día de ensayo	Nivel de humedad	Temp ambiente media (°C)	Nº atomizadores	EER
06-oct completo	55.44%	24.25	63	3.69
06-oct (13:00-16:00)	56.12%	27.08	63	3.76



En el apartado 5.3, cuando se mostraban los resultados de los ensayos fragmentados se realizaba una pequeña comparación con los resultados obtenidos del día completo. Ahora que se muestran todos juntos es posible a su vez, establecer relación entre los ensayos de varios días.

Se recuerda que la comparación que se establezca entre ensayos de varios días (incluso del mismo día), únicamente será válida si comparten unos valores similares de humedad relativa media y temperatura ambiental promedio.

Con la representación de estas gráficas se ha pretendido llevar a la memoria la muestra de resultados más general, es decir, dejando de lado potencias del equipo, variables termodinámicas del ciclo de refrigeración e incluso eléctricas, para dar paso a los conceptos más simples y que son la raíz de todo. Por un lado, variables ajenas al equipo como son la temperatura y humedad, y, por otro lado, un método para poder manipular (o es lo que se pretende) favorablemente el valor de eficiencia energética, como es el número de atomizadores y, finalmente, el propio valor de eficiencia energética, también conocido como EER. En la primera columna de la tabla, como es lógico, se muestra la fecha en la que se toma el ensayo.

Con esta visualización global de los ensayos se procede a evaluar los resultados obtenidos:

- 01-ago: El resultado obtenido en los dos ensayos del día 1 de agosto es un claro ejemplo de lo que se pretende obtener instalando una parrilla de atomización con el objetivo de aumentar el valor de eficiencia energética del equipo.

Se dan condiciones bastante buenas: una humedad media tanto en el ensayo del día completo, como en el que se realiza entre las 15:30 y las 17:30 horas, temperaturas ambientales promedio muy similares y la activación de la sección de preenfriamiento evaporativo justo entre las 15:30 y las 17:30 horas (se recuerda que justo por ese motivo el extracto de ensayo abarca esas horas, porque se desea tomar, únicamente, el intervalo horario en el que se activan los humidificadores).

Por un lado, el ensayo completo (desde las 14:00 hasta las 20:00 horas) proporciona lecturas que se traducen en un valor de eficiencia energética de 3.38, mientras que el período de atomización de este día, lo que coincide con la

toma de medidas del fragmento de ensayo da una eficiencia de 3.58. En resumen; en el día completo, que incluye funcionamiento en seco entre las 14:00 y las 15:30, atomización entre las 15:30 y las 17:30 y de nuevo funcionamiento en seco hasta las 20:00 horas, da lugar a una eficiencia determinada, mientras que el período de atomización evaluado en sí solo resulta dar una eficiencia notablemente mayor.

\*Nótese que en las mostradas en este apartado en las que se expresan los resultados de los ensayos, la casilla de eficiencia energética de los extractos de ensayo aparecerá en verde si se ha obtenido un valor de eficiencia energética mayor al del día completo; y será naranja si el valor del ensayo pequeño es menor al del día entero.

- 02-ago: Al contrario de lo que sucedía en el día anterior, esta vez no se activa la atomización. Por otro lado, los valores de humedad relativa y temperatura promedio son similares entre ensayo completo y fragmentado.

En esta ocasión, el valor de eficiencia energética obtenido en el día completo es de 3.40, mientras que el ensayo fragmentado realizado entre las 15:30 y las 17:30 horas proporciona una eficiencia de 3.15. El valor de eficiencia energética ha bajado respecto al día completo. Esto se explica teniendo en cuenta que no se ha activado la atomización y al estar sometido el equipo a temperaturas altas como ya se ha ido viendo, la eficiencia energética es menor.

La diferencia entre los ensayos de agosto y los de septiembre es muy notable. No solo por los valores de temperatura ambiental, sino que también la humedad es mucho más variable en los ensayos de septiembre. Es por ello por lo que los ensayos de agosto se pueden comparar entre ellos, pero no se pueden comparar con los de septiembre y, por supuesto, tampoco con los de octubre.

- 19-sep: De nuevo, el ensayo completo comparte niveles similares de humedad y temperatura promedios con su extracto de ensayo en el período de atomización. Se emplean 81 atomizadores ultrasónicos en este día. Los niveles de humedad de este día son destacables, ya que son los más altos que se han dado, lo que se ha traducido en temperaturas más bajas y por ello se puede prever unos resultados

elevados de eficiencia energética. Y, efectivamente así es; en el ensayo completo se obtiene una eficiencia de 3.71, mientras que en el extracto de ensayo se roza el valor de 4.

De nuevo, el valor de eficiencia aumenta en el fragmento de ensayo respecto al ensayo completo.

- 20-sep: en esta ocasión la diferencia de humedad relativa media y de temperatura ambiental es muy alta en el ensayo completo y en el fragmento de ensayo. Por eso, no es posible establecer una comparación satisfactoria entre los ensayos de este día, pero sí servirán como ensayos independientes para ser comparados con los de otros días.

La humedad extraída del ensayo completo es de 52.59%, mientras que la del fragmento de ensayo es de 41.55%, valores muy distantes entre ellos. El primero podría clasificarse, sobradamente, en un ensayo de alta humedad. El segundo entraría en uno de baja humedad.

Si es mencionable que, al tener el extracto de ensayo una humedad relativa menor y una temperatura ambiental mayor, debería tener una eficiencia energética menor que en el ensayo completo, pero esto no resulta ser así. ¿Por qué? Pues precisamente por lo que se está viendo repetidamente. Porque el efecto de atomización resulta mejorar la eficiencia del ciclo de refrigeración y del equipo de clima.

- 21-sep: la diferencia de humedad y temperatura ambiental promedio, de nuevo, es demasiado alta. Aun trabajando con humedades bajas, la del extracto de ensayo es demasiado baja en comparación al ensayo completo, por lo que no pueden compararse entre ellos.

Como sucedía en el ensayo del día anterior, aunque el ensayo fragmentado presente temperatura más alta y humedad relativa más baja, se obtiene un valor de eficiencia energética más alta debido al efecto de la parrilla de atomización.

- 26-sep: esta vez sí se pueden comparar los ensayos del día 26 de septiembre. La diferencia de humedad no es tan alta. Como es natural, la temperatura promedio del extracto de ensayo es más alta, ya que el ensayo tiene lugar entre las 13:00 y las 16:00 horas, el período de tiempo más caluroso del día.

Al no existir atomización en este día, el valor de eficiencia energética obtenido en el extracto de ensayo es menor que en el ensayo completo; los valores de EER obtenidos son de 3.49 y 3.61, respectivamente.

- 27-sep: otro ensayo de alta humedad relativa, valores similares de temperatura entre el ensayo completo y el comprimido y sin atomización. Si se tiene en cuenta la conclusión que se está tomando de esta investigación, es decir, que los efectos de la atomización aumentan la eficiencia energética del equipo, al no haber atomización, el EER del fragmento de ensayo debe ser menor al trabajar a temperaturas más altas. Efectivamente, así es.

El valor de EER del ensayo completo es bastante alto, de 3.76, mientras que la pieza de ensayo entre las 13:00 y las 16:00 horas proporciona una eficiencia de 3.5.

- 28-sep: el ensayo completo tiene un valor de humedad similar al fragmento de ensayo tomado en el período de atomización, por tanto, se pueden comparar. El primero, con una temperatura promedio de 22.82 °C proporciona una eficiencia energética de 3.89, un valor muy alto debido a la baja temperatura del día. Por otro lado, el extracto de ensayo, con una temperatura promedio de 24.79 °C da un valor de EER de 3.92. Habiendo trabajado con 81 atomizadores, el aumento de eficiencia energética no es tan alto. Esto se explica teniendo en cuenta que ya se está trabajando cerca del punto óptimo de funcionamiento del equipo para el que se obtiene una eficiencia óptima en el ensayo completo. Debido a ello, no tiene mucho margen de mejora el fragmento de ensayo.

- 29-sep: el ensayo del día 29 de septiembre es otro ejemplo de ensayo con atomización que no tiene ninguna diferencia respecto a los anteriores, ya que el valor de eficiencia energética se ve reducido. Con valores de humedad similares, el ensayo completo y el fragmentado son comparables. El primero da una eficiencia de 3.71, y el segundo de 3.52.

- 02-oct: los ensayos que tienen lugar en este día son de baja humedad y, particularmente, de alta temperatura ambiente para ser de octubre. La temperatura media del ensayo completo es de 25.64 °C y la del extracto de

ensayo entre las 13:00 y las 16:00 horas es de 28.42 °C, la más alta sin contar los ensayos de agosto. Al no activar la atomización en este día se prevé una humedad baja, probablemente, la más baja sin contar agosto debido a esta alta temperatura. Y así es. El día completo proporciona una humedad de 3.52 que ya es baja para tratarse de un ensayo de día completo, pero es que la del fragmento de ensayo es de 3.35, la más baja hasta ahora de los meses de septiembre y octubre.

- 04-oct: los ensayos de este día son llevados a cabo con atomización, concretamente con 45 discos piezoeléctricos. Se pueden comparar entre ellos, ya que comparten similares valores de humedad relativa promedio, ambas por encima de 50%, pero por debajo de 60%. Como viene siendo normal, la temperatura ambiental promedio entre el ensayo completo y el tomado entre las 13:00 y 16:00 horas es mayor para este último, por unos 2 °C de diferencia.

El efecto de la atomización, que baja la temperatura del aire de entrada al condensador provoca un aumento de eficiencia energética en el equipo. Sin embargo, este aumento no es tan alto atendiendo al resultado de EER del ensayo completo: 3.62, y el del extracto tomado en horas de atomización: 3.67. Este incremento es de tan baja magnitud debido a que 45 humidificadores no logran variar tanto la temperatura del aire de entrada consiguiendo un aumento ínfimo en la eficiencia.

Sí es cierto que, aunque el incremento de eficiencia no es notable, sí es destacable que, al menos, se haya podido incrementarla, ya que, en condiciones normales sin atomización, este ensayo en horas más cálidas habría resultado en una eficiencia energética más baja.

- 05-oct: este día es particular, puesto que se obtienen resultados contrarios a lo esperado. Los dos ensayos de este día pertenecen a la clasificación de alta humedad, con unas temperaturas ambientales medias de 23.72 °C y 25.91 °C, la más alta es la del ensayo entre las 13:00 y las 16:00 horas, lógicamente. En la atomización se activan 45 nebulizadores.

Lo esperado es que se obtuviera un valor de eficiencia energética más alto en el extracto de ensayo, ya que, a pesar de tener condiciones de temperatura más

desfavorables, la atomización consigue incrementar el valor de EER. En este caso no es así, la eficiencia decrece desde 3.79 hasta 3.77. Disminuye muy poco, pero es un resultado destacable. Ya en el día anterior, en el 4 de octubre, la atomización no había sido capaz de incrementar mucho el valor de eficiencia energética y esta vez incluso es menor. Como se mencionaba en el día anterior, esto se debe a la utilización de 45 atomizadores, que no son capaces de enfriar lo suficiente el aire de entrada, como sí lo hace la configuración de 81 atomizadores que sí ha conseguido destacables mejoras.

- 06-oct: el último día de ensayos, de alta humedad y temperaturas ambientales media similares entre ellas. El ensayo del día completo tiene una temperatura ambiental media de 24.25 °C, mientras que el extracto tomado en horas de atomización tiene una temperatura promedio de 27.08 °C. Se emplean y activan 63 atomizadores, en una configuración de siete por nueve.

La eficiencia energética que ha conseguido el primero de los ensayos nombrados es de 3.69, mientras que, el segundo proporciona una eficiencia energética final de 3.76.

No se consigue un aumento tan alto como cuando se emplean 81 atomizadores en condiciones similares de temperatura y humedad, pero tampoco es tan despreciable como cuando se emplean 45. Sin embargo, al no contar con más ensayos en los que se emplean 63 atomizadores puede ser un poco precipitado dar conclusiones firmes acerca de esta configuración.

Entre los ensayos de agosto y los de septiembre las diferencias climatológicas son muy notables, sin embargo, entre septiembre y octubre, como se trata de ensayos seguidos las variaciones ambientales no son tan altas, entre estos ensayos se tienen valores de humedad y temperatura bastante similares.

De este modo, la mayor parte de ensayos de septiembre y octubre comparten las suficientes características como para ser comparados entre ellos.

Una vez analizados los ensayos día por día, es posible comparar ensayos de un día con otros de otros días, siempre que las condiciones ambientales de humedad existentes en estos ensayos sean similares.

Para ello, se va a realizar otra clasificación por tablas, en las que, por un lado, se muestren los ensayos de alta humedad y, por otro lado, los de baja humedad.

Al igual que en las tablas expuestas anteriormente, se incluirá, únicamente, el valor de eficiencia energética final, con el número de atomizadores activados (si es que no ha sido un ensayo en seco), junto al día del ensayo, temperatura ambiental promedio y humedad ambiental para que, finalmente, se puedan establecer conclusiones entre los ensayos de la misma clasificación. No se incluyen potencias de entrada, salida... debido a que se han evaluado en apartados anteriores como el 5.2 y 5.3.



<b>ALTA HUMEDAD</b>				
<b>ENSAYOS COMPLETOS</b>	<b>Nivel de humedad</b>	<b>Temp ambiente media (°C)</b>	<b>Nº atomizadores</b>	<b>EER</b>
01-ago completo	55.44%	30.55	81	3.38
01-ago (15:30-17:30)	53.59%	30.73	81	3.58
02-ago completo	52.41%	30.9	0	3.40
19-sep completo	72.66%	22.93	81	3.71
29-sep completo	65.19%	23.27	0	3.71
28-sep completo	62.87%	22.82	45	3.89
27-sep completo	61.80%	23.05	0	3.76
05-oct completo	58.21%	23.72	45	3.79
26-sep completo	58.07%	23.38	0	3.61
04-oct completo	57.31%	24.11	45	3.62
06-oct completo	55.44%	24.25	63	3.69
20-sep completo	52.59%	24.79	45	3.62
19-sep (13:00-16:00)	67.15%	23.92	81	3.97
29-sep (13:00-16:00)	59.57%	25.17	0	3.52
27-sep (13:00-16:00)	57.46%	24.51	0	3.50
28-sep (13:00-16:00)	57.10%	24.79	45	3.92
06-oct (13:00-16:00)	56.12%	27.08	63	3.76
26-sep (13:00-16:00)	54.57%	25.19	0	3.49
04-oct (13:00-16:00)	53.06%	26.04	45	3.67
05-oct (13:00-16:00)	51.56%	25.91	45	3.77

Recopilación de ensayos de alta humedad: día, porcentaje de humedad, temperatura media, número de atomizadores y eficiencia energética media

<b>BAJA HUMEDAD</b>					
<b>Día de ensayo</b>	<b>Nivel de humedad</b>	<b>Temp ambiente (°C)</b>	<b>Nº atomizadores</b>	<b>EER</b>	
02-ago (16:00-17:30)	49.05%	30.9	0	3.15	
21-sep completo	42.48%	25.67	81	3.56	
02-oct completo	41.90%	25.64	0	3.52	
20-sep (13:00-16:00)	41.55%	26.92	45	3.77	
02-oct (13:00-16:00)	34.21%	28.42	0	3.35	
21-sep (13:00-16:00)	28.91%	27.65	81	3.95	

Recopilación de ensayos de baja humedad: día, porcentaje de humedad, temperatura media, número de atomizadores y eficiencia energética media

Tras haber expuesto en el apartado 5.2 los resultados de los ensayos de días completos junto con todas las variables que intervienen en el estudio y que miden las sondas del laboratorio, se prosiguió exponiendo en el apartado 5.3 los resultados de los fragmentos de ensayo, estableciendo diferencias y similitudes respecto a los ensayos completos del mismo día. Sendos apartados se finalizaron estableciendo conclusiones acerca de cómo afectaban las condiciones climatológicas a la eficiencia energética del equipo y el efecto de la atomización a las potencias de entrada y de salida.

A continuación, se tratan parámetros más generales y más “sencillos”, sin entrar en potencia térmica o eléctrica, entalpías o presiones, sino el valor final de eficiencia y condiciones ambientales como temperatura y humedad.

Atendiendo a las tablas expuestas en la página anterior, se distingue entre los ensayos de agosto, por un lado, los ensayos de baja humedad y los de alta humedad. Las fechas de los ensayos están ordenadas de mayor a menor según la humedad relativa media del ensayo.

Echando un vistazo, en primer lugar, a los ensayos clasificados como de “alta humedad” se observa que:

- Los ensayos de alta humedad son los que, por lo general, han dado resultados de eficiencia energética más altos, quitando los de agosto, que a pesar de poder entrar en esta clasificación, son relativos a días demasiado calurosos.
- Atendiendo a los extractos de ensayo con atomización, estos son los que han dado los valores más altos de eficiencia energética, concretamente, el del 19 de septiembre ha sido el que mejor EER ha obtenido, con un 3.97, para una temperatura media de 23.92, la más fría y para la humedad relativa más alta, de 67.15%.
- Los ensayos de día completo no han llegado a eficiencias tan altas, ya que son ensayos que han durado cerca de 12 horas, en las que o no se ha activado la sección de preenfriamiento evaporativo, o solo se ha activado durante 3 horas. La mayor parte de la duración de estos ensayos ha sido en seco, reduciendo así la eficiencia. En estos ensayos de jornada completa, si uno se fija en los que se han llevado a cabo con atomización da una ligera sensación de que son más eficientes energéticamente, sobre todo, con el del 28 de septiembre y 5 de octubre.

- Esta diferencia se acentúa más en los extractos de ensayo. Al medir únicamente el período en el que se activa la parrilla de atomizadores, los extractos de ensayo con atomización dan una eficiencia muy superior a los que se llevan a cabo sin humidificación. Al trabajar en horas de alta temperatura diaria, los ensayos sin atomización del 26, 27 y 29 de septiembre dan una eficiencia que apenas supera el valor de 3.5, sin embargo, en los que sí se produce atomización se alcanzan valores de 3.97, 3.92, 3.76 etc.

Pasando a la gráfica de ensayos de “baja humedad”, los resultados obtenidos son similares, sobre todo a medida que nos acercamos a los valores de humedad más elevados dentro de esta clasificación:

- La mayor parte de los valores de eficiencia energética como resultado son relativamente bajos, ya que unos bajos niveles de humedad se asocian a altas temperaturas.
- Sin embargo, llama la atención el extracto de ensayo del día 21 de septiembre, en el que se registra una humedad inusualmente baja en este estudio, de 28.91%. El EER de este ensayo es de 3.95, muy alto, extraño para un ensayo de baja humedad combinada con una temperatura que no es excesivamente alta tampoco. Esto se debe, precisamente, a que la humedad es muy baja, lo que se traduce en que el equipo no tiene que esforzarse en eliminar en agua del aire antes de enfriarlo, puede recibir el aire seco y solo enfriarlo. Tiene como apoyo al sistema de atomización que sí humedece el aire, pero no existe ese plus de humedad extra del aire ambiente. En resumen, combinando el aire tan seco con la atomización se obtiene un tándem perfecto de aire de entrada al condensador relativamente frío con una humedad media.
- El resto de los ensayos siguen las premisas dadas anteriormente. En los completos no existe una gran diferencia entre los dos que hay en la clasificación de “baja humedad”. En el que se produce atomización, el valor de eficiencia es 4 centésimas mayor. No puede haber una gran diferencia teniendo en cuenta que solo se activa la humidificación durante 3 horas de 12 horas que dura el ensayo.
- En los dos extractos de ensayo que hay (apartando el del 21 de septiembre) se enciende la atomización en uno y en otro no. En el del 20 de septiembre se tiene una temperatura aproximada de 27 °C y se activa la atomización con 45

piezoeléctricos. En el del 2 de octubre la temperatura media roza los 28.5 °C y no se activa la atomización. En el primero se obtiene una eficiencia de 3.77, mientras que en el último nombrado se consigue un EER de 3.35. La diferencia es muy alta. Si es cierto que hay una diferencia de 1.5 °C entre estos dos días, siendo mayor la temperatura del 2 de octubre, sin embargo, la acción de los 45 atomizadores no es tan efectiva como cuando se emplean 81. Con esto se puede llegar a pensar que el efecto de la atomización aumenta la eficiencia energética todavía más en días secos.

Los ensayos de “agosto” siguen un comportamiento similar a los de alta humedad:

- Al tener todos los ensayos de agosto un nivel de humedad relativa ligeramente superior al 50% es normal que se comporten de forma similar a los de alta humedad. Los cuatro ensayos por evaluar comparten un nivel de humedad muy parecido, y de igual forma unos valores de temperatura ambiente muy similar entre todos ellos.
- Los ensayos de día completo resultan en un valor de eficiencia muy similar, prácticamente, igual. El 1 de agosto, ensayo con atomización (81 atomizadores) da una eficiencia de 3.38, mientras que el del 2 de agosto, sin atomización proporciona una eficiencia de 3.40. El efecto de la atomización, al ser durante dos horas no se nota en un período tan largo de tiempo.
- En los extractos de ensayo sí se nota el efecto de la atomización. En el ensayo del 1 de agosto se alcanza una eficiencia de 3.58, un valor mayor a los ensayos de días completos. Por su parte, el del 2 de agosto, sin atomización, da una eficiencia menor a los ensayos de días completos, concretamente, de 3.15, el valor de EER más bajo que se ha dado en este estudio. El aumento de eficiencia entre el extracto del 1 de agosto y el del 2 de agosto es de 0.43. Este último dato refuerza la idea de que en días más secos o calurosos el incremento de eficiencia es más alto que en días más húmedos.

## 6. CONCLUSIONES

En el apartado de objetivos del proyecto se hablaba, precisamente, de los dos grandes propósitos de este trabajo, como es el estudio de mejora de eficiencia de un equipo de climatización tipo split y, en adición, la posibilidad de llevarlo a cabo con una herramienta distinta a los métodos habituales de trabajo, como pueden ser las hojas de cálculo de Excel, programa que cuenta con distintos inconvenientes respecto a los cuadernos Jupyter.

Estos dos grandes objetivos se podían subdividir a su vez en otros más pequeños como puede ser el mantenimiento y conservación del estado óptimo de la máquina de aire acondicionado, ya que el agua empleada por el sistema de atomización ultrasónica puede contribuir a la corrosión u oxidación de los materiales que conforman el equipo frigorífico. Surge también la incógnita de cuál es el número óptimo de nebulizadores a emplear y su configuración o distribución en la sección de preenfriamiento evaporativo. También se planteaba la posibilidad de ejemplificar con casos prácticos la utilidad del entorno web que es Google Colab y los cuadernos Jupyter.

En este apartado se va a razonar si se han podido cumplir satisfactoriamente estos objetivos, además de proporcionar ideas acerca de las siguientes líneas de investigación que pueden surgir tras este estudio.

### 6.1. ESTUDIO DE MEJORA DE EFICIENCIA.

¿Se ha conseguido obtener resultados positivos en este estudio de mejora de eficiencia energética? La respuesta a esta pregunta es sí. Claro está, hay matices.

Dentro de los días evaluados existe una notable diferencia en la eficiencia energética según se activa el sistema de atomización ultrasónica o no. Esta diferencia es menos perceptible cuando se evalúan los ensayos completos, es decir, la jornada desde las 8:00 hasta las 20:00 horas, sin embargo, cuando se limitan los ensayos a las horas de activación de la atomización, de 13:00 a 16:00 horas los resultados son claros y definitivos. La eficiencia energética del equipo aumenta en gran medida en este último caso.

Si es cierto que se puede diferenciar en tres clasificaciones como se mencionaba en el apartado 5.4, como son los ensayos de baja humedad, los de alta humedad y los de muy

alta temperatura como son los ensayos de agosto (aunque en el apartado 5.4 se haya agrupado en alta humedad y baja humedad, incluyendo los de agosto en alta o baja humedad).

En los primeros, los de baja humedad, que han sido pocos se ha apreciado un incremento de eficiencia energética en los ensayos con humidificación. Además de conseguir incrementar la eficiencia, este aumento ha sido muy alto. Para ejemplificar, ha habido dos ensayos dentro de esta clasificación que comparten condiciones climatológicas muy similares: el del día 2 de octubre en el que no se activa la sección de preenfriamiento evaporativo y el del día 21 de septiembre en el que 81 atomizadores unen fuerzas con el objetivo de aumentar la eficiencia energética del equipo. El primer día, proporciona una eficiencia del 3.35, mientras que el segundo ensayo, el del 21 de septiembre, da una eficiencia energética de 3.95; un incremento de 0.6.

Los ensayos de alta humedad también han sido satisfactorios, ya que sucedía de la misma manera que en el párrafo anterior. Extractos de ensayo llevados a cabo en el período de atomización han llegado a proporcionar una eficiencia energética de 3.97, mientras que otro, en las mismas condiciones ambientales han dado una eficiencia de 3.5. En general, en esta clasificación es donde se han obtenido los mayores valores de eficiencia.

Los resultados obtenidos en agosto son muy diferentes debido a las temperaturas extremas. Estas se traducen en una eficiencia energética más baja, aunque con la atomización se puedan mejorar. Únicamente se han llevado a cabo dos ensayos satisfactorios en agosto, por lo que no se pueden extraer conclusiones tan claras como en septiembre y octubre, pero los valores de eficiencia obtenidos durante este mes son los más bajos. Con la atomización se ha conseguido elevar la eficiencia energética del equipo de 3.38 a 3.58 durante el día 1 de agosto.

¿Cuál sería el número óptimo de atomizadores a emplear? Pues bien, el estudio llevado a cabo indica que la cantidad de humidificadores que han proporcionado un aumento mayor de eficiencia energética es 81. No hay que fijarse en el valor de eficiencia más alto logrado, sino en el aumento de eficiencia que se ha obtenido entre dos ensayos con las mismas condiciones climáticas en el que uno se haya activado la atomización y en otro no. Cuando se han empleado 45 o 63 nebulizadores el aumento de eficiencia energética logrado ha sido pequeño, sin embargo, en el caso de la configuración de 81

atomizadores (matriz de 9 por 9) se ha logrado obtener aumentos muy altos, incluso en días de agosto de extrema temperatura, que como se indicaba en el párrafo anterior, se lograba un incremento de eficiencia de 0.2, un aumento mayor que el conseguido con 45 o 63 atomizadores.

Puede parecer lógico, ya que a mayor número de humidificadores mayor descenso de temperatura en la entrada del condensador se puede obtener, no obstante, un exceso de humidificación no es favorable para el equipo, puesto que la potencia necesaria para refrigerar el aire hasta la temperatura de consigna es mayor, al tener que eliminar el equipo de clima esa humedad presente en el aire.

Los valores más altos de eficiencia energética se han encontrado en ensayos de 3 horas de atomización con 81 nebulizadores en un período de alta humedad ambiental (65%) y temperatura ambiental de entre 23 y 24 °C.

Por otro lado, el mayor incremento de eficiencia energética se ha obtenido en días secos (humedad en torno al 30%), en los ensayos que abarcan 3 horas de atomización y en los que la temperatura no sea extremadamente alta, sino cercana a los 27 °C

Con esto, podemos concluir con una respuesta favorable: sí se ha conseguido el objetivo propuesto. Este estudio dedicado al aumento de eficiencia energética a través de la activación de un sistema de preenfriamiento evaporativo ha sido favorable.

Sin embargo, hay mucho por investigar todavía. A raíz de este estudio hay varias incógnitas que salen a la luz, como, por ejemplo, por qué no llevar a cabo un estudio similar, pero aumentando el tiempo de atomización o haciendo hincapié en los días más calurosos de julio y agosto. ¿Tendría esto un efecto perjudicial sobre el equipo al poder sufrir los efectos de la corrosión? Y es que es un tema crucial a la hora de emplear un sistema de atomización como este. Una sobreexposición al agua puede provocar este efecto en numerosos equipos, pero, teniendo en cuenta que los equipos de condensación se sitúan en el exterior y soportan las lluvias, no debería haber ningún problema al momento de tolerar los efectos de las gotas pulverizadas.

También, en este estudio se ha llegado a una conclusión acerca del número de atomizadores que maximizan el incremento de eficiencia, sin embargo, no se ha podido

dar una respuesta acerca de la configuración o distribución óptima de los nebulizadores: en círculos concéntricos, matriz rectangular, salteados...

Me gustaría mencionar que todos estos ensayos se han llevado a cabo en un laboratorio de grandes dimensiones en comparación con una habitación de una vivienda, por ejemplo. También sería interesante estudiar el efecto que provoca este sistema de atomización en un espacio de este tipo o si afectaría al rendimiento o a la comodidad de los usuarios.

## 6.2. PROGRAMACIÓN EN CUADERNOS JUPYTER.

¿Se ha logrado automatizar el procesamiento de datos y la obtención de un resultado de eficiencia energética a través de la programación en código abierto que se puede emplear con los cuadernos Jupyter? La respuesta a esta segunda pregunta es sí. Rotundamente sí.

En el apartado 4.3 se ha explicado el procesado de datos desde la unidad de adquisición de datos hasta el cuaderno Jupyter. Ha sido posible la interpretación de datos por el entorno de programación a través de Google Drive. También se ha podido llevar a cabo la interpretación en gráficas de los distintos datos, además de obtener los máximos, mínimos y valores promedio de todas las variables en cada ensayo.

Ha sido una herramienta realmente útil para facilitar y simplificar la interpretación de resultados y clasificación de eficiencia, que se pretende reforzar en esta memoria a través de unos ejemplos prácticos que se han desarrollado a lo largo del apartado 4.3.4.

En esta memoria se pretende destacar las ventajas que los cuadernos Jupyter proponen respecto a las hojas de cálculo de Excel.

En primer lugar, otorgan beneficios en casos puntuales, como se ha explicado en el primero de los casos prácticos expuestos en el apartado 4.3.4 de la memoria en el que se explica que el cuaderno Jupyter resulta realmente flexible a la hora de añadir nuevas variables a la toma de ensayos. Si se introduce una nueva sonda, únicamente es necesario asignarle un número en el cuaderno Jupyter para poder elaborar gráficas, cálculos con las nuevas magnitudes o que, simplemente, sea posible mostrar las lecturas de las nuevas sondas en la pantalla. Con Excel es posible mostrar en pantalla estas lecturas, ya que la unidad de adquisición de datos transfiere al ordenador las lecturas en forma de archivo csv que se puede abrir en Excel, con el inconveniente que se ha

encontrado en los ensayos evaluados y es que Excel no reconoce al valor de las lecturas como variables numéricas e incluso llegando a emplear mal el separador decimal. Con el programa elaborado en este cuaderno Jupyter se ha conseguido, por un lado, que las lecturas se conviertan en variables “float”, es decir numéricas, y, por otro lado, se solventa el problema del separador decimal.

Por otro lado, los cuadernos Jupyter aportan ventajas ya no tan específicas, sino que aportan beneficios más generales a nivel de tratamiento de datos, además de permitir una programación más avanzada. Estos cuadernos cuentan con infinidad de librerías a emplear. En el segundo y tercer caso práctico de esta memoria se exponen ejemplos que serían imposible de llevar a cabo con Excel o sería mucho más tedioso.

En el segundo caso práctico se crea una variable capaz de almacenar el dato de eficiencia energética de cada ensayo, por lo que, si se evalúan 20 ensayos, esta variable vector almacenará 20 valores de eficiencia energética, uno por cada ensayo.

En el tercer caso práctico se pretende ir un nivel más allá, ya que se pretende llevar a cabo unos ensayos más uniformes en los que las condiciones de humedad, por ejemplo, no varíen mucho, es decir, que no haya picos del 70% y el 30%. Se intenta ser muy selectivo con las lecturas para que un ensayo sea aceptable y que la variación sea mínima, por ejemplo, de un 10%. El programa desarrollado sirve para que, a partir de un valor de humedad que indique el usuario, el cuaderno Jupyter proporcionará todas las lecturas del ensayo que se sitúan entre el 10% arriba o abajo del valor indicado de humedad. Se detendrá cuando se encuentre un valor que se escape de ese intervalo.

Sin embargo, la mayor de las ventajas y, al fin y al cabo, lo más importante es la rapidez de obtención de los resultados. En una hoja de Excel habría que estar continuamente creando gráficas una a una, seleccionando los datos de una columna, poniendo títulos a las gráficas etc. Por no hablar del cálculo de resultados. Habría que escribir el cálculo de potencias, eficiencia... en la hoja de cada ensayo obtenido. Con el cuaderno Jupyter únicamente es necesario escribir el día del ensayo requerido y con ello se generarán automáticamente con un clic todas las gráficas programadas, se mostrarán en pantalla todas las lecturas, se calcularán todas las potencias, entalpías, eficiencia y, por supuesto se puede optar por una opción más selectiva limitando, como se ha explicado antes, la humedad o también temperatura ambiente, por ejemplo.

Para tener acceso a todas estas ventajas es necesario programar el cuaderno para que nos proporcione todo lo deseado, y quizá sea esa una desventaja, aunque más que desventaja

es un obstáculo por superar antes de poder manejar esta herramienta que va a suponer una gran facilidad para el trabajo y el ahorro del tiempo. Es necesario aprender a programar con Python, y no solo las herramientas básicas, pero sin llegar a las más avanzadas. Hablando desde mi propia experiencia trabajando en este proyecto, la programación del cuaderno Jupyter quizá haya sido lo más complejo y lo que más tiempo me ha tomado. Pero si ya en este proyecto se ha podido contemplar la potencia y utilidad de los cuadernos Jupyter, cuando se trabaje con proyectos más complicados en los que alguien aprenda por completo a sacarle todo el partido a los cuadernos debe de ser una herramienta capaz de prácticamente todo.

En resumen, además de contar con más librerías para el manejo de datos, la principal virtud de los cuadernos Jupyter es que, una vez programados son una herramienta clave para la automatización de la recopilación y el manejo de lecturas con la finalidad de ahorrar tiempo.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] International Energy Agency. (2018). The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning. IEA Publications, France.

[2] Wilks, J. (2023): “2022, un año récord de aumentos de temperaturas en Europa” *Euronews*, 16 de enero. Disponible en: <https://es.euronews.com/green/2023/01/16/2022-un-ano-record-de-aumentos-de-temperaturas-en-europa>

[3] Schwarz, M. (2021): “El combustible de la Revolución Industrial” *El Correo*, 21 de mayo. Disponible en: <https://www.elcorreo.com/culturas/territorios/combustible-revolucion-industrial-20210522175513-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.elcorreo.com%2Fculturas%2Fterritorios%2Fcombustible-revolucion-industrial-20210522175513-nt.html>.

[4] Acciona, S.A. (2019). Hoja de ruta del Acuerdo de París: Próximos pasos. Disponible en: [https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/hoja-ruta-acuerdo-paris-proximos-pasos/?\\_adin=0183579827](https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/hoja-ruta-acuerdo-paris-proximos-pasos/?_adin=0183579827)

[5] Red Eléctrica de España. Evolución de la generación renovable y no renovable.

[6] Villalvilla, E. (2022): “El 47% de la energía que genera España ya es renovable” *El Mundo*, 16 de noviembre. Disponible en: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2022/11/15/63729d8ffdddf04838b45b3.html>

[7] Iberdrola, S.A. East Anglia ONE, el mayor parque eólico de la historia de Iberdrola. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-eolica-offshore/parque-eolico-marino-east-anglia-one>

[8] Imagen de Xinhuanet. Disponible en: [https://spanish.xinhuanet.com/2021-06/28/c\\_1310032028.htm](https://spanish.xinhuanet.com/2021-06/28/c_1310032028.htm)

[9] “Tecnologías y costes de la generación eléctrica” *Energía y sociedad*. Disponible en: <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/3-1-tecnologias-y-costes-de-la-generacion-electrica/>

[10] Imagen de AREATECNOLOGIA. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/como-se-distribuye-energia-electrica.htm>

[11] Imagen de Gana Energía. Disponible en: <https://ganaenergia.com/blog/cual-es-fuente-energia-mas-barata/>

[12] Imagen de Free-O. Disponible en: <https://freeo.com.mx/como-funciona-el-ciclo-de-refrigeracion-industrial/>

[13] Díez. Trabajo de Fin de Grado. Diseño y construcción de un prototipo de climatización con pre-enfriamiento adiabático, alimentado con energía de red y paneles fotovoltaicos desde un enfoque energético. Universidad Miguel Hernández de Elche. Enero 2020.

[14] Martín. Trabajo de Fin de Grado. Modelización numérica del pre-enfriamiento evaporativo por ultrasonidos para sistema de refrigeración por compresión de vapor. Universidad Miguel Hernández de Elche. Junio 2020.

[15] JVS Informática (2022). ¿Qué son los microprocesadores y qué modelos hay? Disponible en: <https://www.jvs-informatica.com/blog/que-son-los-microprocesadores-y-que-modelos-hay/>

[16] Manual técnico del equipo Kaysun Inverter Stylus Solar 3D.

[17] Certific. Qué es el EER y el SEER de un Aire Acondicionado. Disponible en: <https://certific.es/que-es-el-eer-y-el-seer-de-un-aire-acondicionado.html>

[18] Imagen de Organización de Consumidores y Usuarios (OCU). Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/aire-acondicionado/consejos/aire-acondicionado-indices-eficiencia>

[19] Imagen de transductor de presión P499ACS-404C de Johnson Controls. Disponible en: <https://mfhref.com/es/-johnson-controls/18344-p499acs-404c-johnson-controls-transductor-de-presion-0-30bar-4-20ma.html>

[20] Imagen de GSV Industrias. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/rtd-sensor>

[21] Hernández, M.J. y Valor, E. Universitat de València, Facultad de física. Disponible en: <https://www.uv.es/uvweb/fisica/es/catalogo-demos/termodinamica/psicrometro-1286053998301/DemoExp.html?id=1286110988722>

[22] Cromtek. ¿Cómo usar un anemómetro de copa? Disponible en: <https://www.cromtek.cl/2023/04/04/anemometro-que-es-y-para-que-sirve/>

[23] Imagen de Cromtek. Disponible en: <https://www.cromtek.cl/2023/05/30/como-usar-un-anemometro-de-copa/>

[24] Imagen de Kipp & Zonen. Disponible en: <https://www.kippzonen.es/News/575/Principio-de-funcionamiento-de-un-piranometro-de-termopila>

[25] Rodríguez, A (2018): “Mediciones de corriente usando una resistencia” *Diario Electrónico Hoy*, 12 de enero. Disponible en: <https://www.diarioelectronicohoy.com/mediciones-corriente-usando-una-resistencia/>

[26] Datos técnicos del módulo fotovoltaico SG360M de Peimar.

[27] Fundeen. El efecto fotoeléctrico, ¿en qué consiste? Disponible en: <https://www.fundeen.com/blog-energias-renovables/el-efecto-fotoelectrico-en-que-consiste>

[28] Imagen de AREATECNOLOGIA. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>

[29] Endesa (2020). ¿Cómo funcionan los paneles solares? Disponible en: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funcionan-los-paneles-solares>

[30] Imagen de Fácil Electro. Disponible en: <https://www.facilelectro.es/energia-fotovoltaica/>

[31] HelioEsfera (2021). ¿Qué significan las siglas STC y NOCT? Disponible en: <https://www.helioesfera.com/que-significan-las-siglas-stc-y-noct/#:~:text=Se%20entiende%20por%20condiciones%20NOCT,ambiente%20de%2020%20C2%BAC%20y>