

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



"MODELIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS  
ELÉCTRICOS DE UN PROTOTIPO DE  
SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN CON PRE-  
ENFRIAMIENTO ADIABÁTICO,  
ALIMENTADO CON ENERGÍA DE RED Y  
PANELES FOTOVOLTAICOS"

TRABAJO FIN DE GRADO

Junio -2022

AUTOR: Celia Soto Ruiz

DIRECTOR/ES: Pedro Martínez Martínez



## ***AGRADECIMIENTOS***

Este trabajo final de grado ha sido posible gracias al compromiso y ayuda de ciertas personas, a las que quiero agradecer su apoyo y dedicación.

Quisiera hacerle una especial mención a mi tutor Pedro Martínez por guiarme en todo el proceso de creación de este proyecto con paciencia y dedicación, siempre hacia el camino correcto. Ha sido un placer aprender de una persona con verdadera vocación por enseñar y pasión por su trabajo. Para mí ha supuesto todo un reto, con el que estoy muy contenta con los resultados obtenidos.

Agradecer a mis padres, Joaquín e Inma, por ser un pilar fundamental en mi vida y estar a mi lado, apoyándome siempre cuando más lo he necesitado. A mi hermana Alba, por sus consejos de hermana mayor y su motivación por animarme siempre a seguir. Y por último a Jonathan, agradecerle por estar siempre ahí, por ser mi día a día y parte de mi felicidad. Muchas gracias a todos.



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. Introducción .....	6
1.2. Antecedentes .....	9
1.3. Objeto.....	11
2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO.....	12
2.1. Objetivo .....	12
2.2. Sistema de climatización doméstico .....	13
2.3. Sección evaporativa .....	16
2.4. Instalación hidráulica .....	18
2.5. Módulos fotovoltaicos .....	18
2.6. Estación meteorológica.....	20
3. MODELO ESTADÍSTICO.....	21
4. INSTRUMENTACIÓN .....	24
4.1. Objeto.....	24
4.2. Sondas de medida .....	26
4.2.1. Transductor de presión .....	26
4.2.2. RTD .....	30
4.2.3. Anemómetro de película caliente .....	35
4.2.4. Termohigrómetro.....	38
4.2.5. Piranómetro .....	40
4.3. Analizador de redes .....	42
4.4. Sistema de adquisición de datos .....	44
4.4.1. Keysight DAQ970A .....	44
4.4.2. Keysight BenchLink Logger .....	46
4.4.3. Errores en la medida.....	46
5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	48
5.1. Procedimiento del ensayo.....	48

5.2.	Tratamiento de datos.....	51
5.3.	Análisis previo a los ensayos .....	53
6.	RESULTADOS.....	59
6.1.	Resultados del ensayo de factor de potencia de red.....	60
6.2.	Resultados del ensayo de factor de potencia del compresor.....	75
6.3.	Resultados de finales del conjunto.....	87
7.	CONCLUSIONES .....	95
7.1.	Conclusiones.....	95
7.2.	Futuras líneas de trabajo .....	97
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	98



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

Nos encontramos en un momento en que la demanda mundial de energía no para de crecer, pudiendo ésta aumentar en un 70%, en 2040, espoleada principalmente por regiones emergentes (India, China, África, Oriente Medio y el sureste asiático)

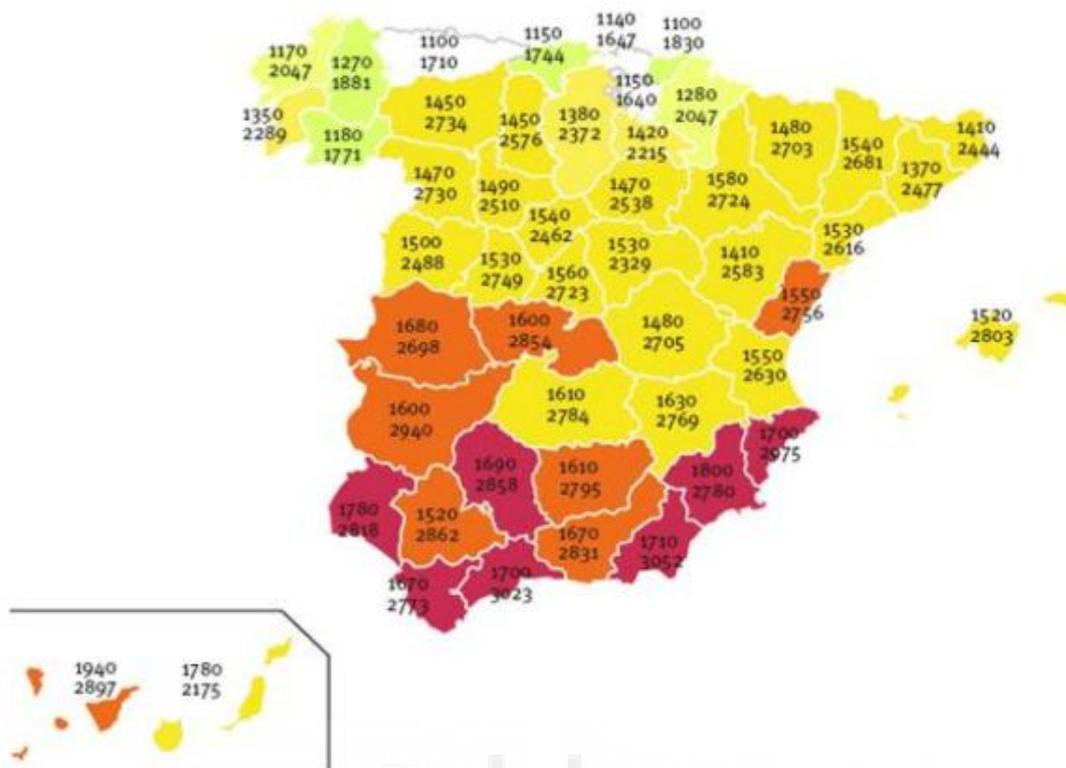
Es por ello que el desarrollo de las energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y limitar sus efectos más devastadores, y poco a poco, las autoridades internacionales son más conscientes de ello.

Las energías renovables recibieron un importante respaldo de la comunidad internacional con el “Acuerdo de París” suscrito en la Cumbre Mundial del Clima celebrada en diciembre de 2015 en la capital francesa.

El acuerdo, establece por primera vez en la historia un objetivo global vinculante, por el que los casi 200 países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de forma que el aumento de la temperatura media del planeta a final del presente siglo quede por debajo de dos grados, el límite por encima del cual el cambio climático tiene efectos catastróficos.

La transición hacia un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá asimismo efectos económicos muy positivos, además contribuyen a disminuir la dependencia de nuestro país de los suministros externos ya que disponemos de gran potencial para la energía solar.

La siguiente figura muestra el mapa de radiación solar de España, la cifra superior representa la energía en KWh por m<sup>2</sup> y la cifra inferior representa el número de horas equivalentes al año. En el gráfico podemos observar el gran potencial fotovoltaico del que dispone el sur de la península ibérica y en concreto la provincia de Alicante, donde realizamos nuestro estudio.



*Figura 1 Mapa solar de España*

Por esta razón se ha visto en los últimos tres años un aumento de las instalaciones fotovoltaicas en todos los sectores, desde el residencial hasta la empresarial para intentar disminuir la factura de la luz.

En algunas zonas geográficas y para varias aplicaciones (oficinas, hoteles, colegios, universidades, et.) el consumo eléctrico de los edificios coincide con la generación fotovoltaica, en el caso de las viviendas no suele coincidir, ya que el consumo suele estar ubicado a primera y última hora del día. Por eso en el sector terciario, cobra interés una solución mediante energía solar, al no ser necesario el uso de batería, hace de estas instalaciones una apuesta muy competitiva.

El crecimiento de la potencia instalada para aplicaciones de aire acondicionado ha causado en países como España un incremento del pico de consumo eléctrico en el periodo estival, llegando a un valor similar al consumo pico registrado en invierno. A la vista de estos datos, se comprende la importancia que los gobiernos conceden al ahorro energético en el sector terciario, particularmente a las acciones encaminadas a mejorar la eficiencia de los sistemas de climatización, y la necesidad de obtener ésta energía de

fuentes renovables, de modo que podamos adquirir una independencia energética y disminuir la carga que recae en las redes de distribución en los momentos picos de demanda producidos en los días más calurosos del verano.

Por tanto es muy importante que el climatizador que se vaya a instalar o ya se encuentre instalado tenga una buena eficiencia energética para disminuir el consumo de electricidad y obtener el mejor rendimiento posible. Existen dos tipos de aire acondicionado, los que el equipo es tipo inverter y los que no disponen de este sistema.

La tecnología inverter aplicada a los equipos de aire acondicionado depende del compresor. En los equipos inverter, se regula la velocidad del compresor para que trabaje a una velocidad constante, y por tanto, de forma más eficiente. La velocidad varía en función de la proximidad con la temperatura de consigna o la deseada.

Por el contrario, en los equipos no inverter, el compresor funciona siempre a velocidad máxima, siguiendo un principio de todo o nada: funciona a máximo rendimiento hasta alcanzar la temperatura deseada y entonces se detiene. Cuando la temperatura se vuelve a alejar de la deseada, vuelve a entrar en funcionamiento una vez más a máxima potencia.

Todas estas tecnologías han ido desarrollándose a lo largo del tiempo según las necesidades de la sociedad. Actualmente se siguen haciendo estudios para tratar de mejorar la eficiencia de los climatizadores y así evitar los picos de consumo anteriormente comentado en momentos de altas temperaturas.

En la Universidad Miguel Hernández se han llevado a cabo varios estudios relacionados con la mejora de la eficiencia de los aires acondicionados. Dos de los estudios principales fue la incorporación de una sección evaporativa a la entrada de dos climatizadores distintos, uno para cada estudio. Otro de los estudios fue la incorporación de paneles fotovoltaicos al climatizador para evitar consumir de la red.

Todos estos estudios obtuvieron resultados positivos pero no pudieron utilizar datos reales de potencia debido a que el aparato de medida utilizado diariamente sólo mide valores de tensión e intensidad, por lo que dejaba fuera al factor de potencia. El factor de potencia es muy importante para conocer realmente cómo se comporta cualquier aparato, ya sea climatizador o no.

El Factor de Potencia puede tomar valores entre 0 y 1. Cuánto más cerca del 1 mejor será la calidad de producción. Por ejemplo si tenemos un 0,90 de Factor de Potencia indica que del total de la energía abastecida por la red sólo el 90% de la energía es utilizada por nuestra máquina mientras que el 10% restante es energía que se desaprovecha.

Se le denomina factor de potencia como la relación existente entre la energía absorbida y la energía útil neta obtenida. Se representa con la letra griega phi y es el ángulo que forman la potencia activa y la potencia reactiva. La potencia activa es la energía que se transforma en trabajo útil y la potencia reactiva en la potencia que consume la instalación pero no produce trabajo útil.

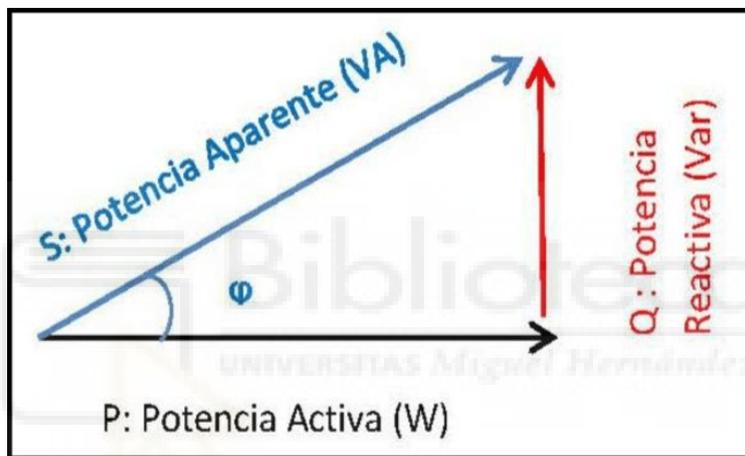


Figura 2 Triángulo de potencias

Por último la finalidad de este proyecto es conseguir modelizar los valores de factor de potencia para todos los casos de funcionamiento, con el objetivo de que para futuros proyectos relacionados con el climatizador puedan trabajar con valores reales de consumo.

## 1.2. Antecedentes

Este proyecto es una continuación de los proyectos “Diseño y construcción de un sistema de climatización doméstico con pre-enfriamiento adiabático alimentado simultáneamente con energía de la red y paneles solares fotovoltaicos. Análisis instantáneo” y “Diseño y construcción de un sistema de climatización con pre-enfriamiento adiabático, alimentado con energía de red y paneles fotovoltaicos desde un enfoque energético”.

A su vez estos proyectos fueron una continuación de los proyectos “Diseño y construcción de un prototipo de sistema de climatización doméstico con un condensador híbrido empleando un pre-enfriamiento adiabático del aire de entrada” y “Análisis experimental de la climatización con bomba de calor y aporte fotovoltaico”.

Nos vamos a centrar en los dos primeros “Diseño y construcción de un sistema de climatización doméstico con pre-enfriamiento adiabático alimentado simultáneamente con energía de la red y paneles solares fotovoltaicos. Análisis instantáneo” y “Diseño y construcción de un sistema de climatización con pre-enfriamiento adiabático, alimentado con energía de red y paneles fotovoltaicos desde un enfoque energético”.

Ambos proyectos están realizados paralelamente, parten de una misma base pero con un objetivo diferente. Por una parte se hace hincapié en el estudio instantáneo, en el que se detalla el consumo de potencia de una manera más concreta. Por otra parte se quiere disponer de una instalación que permita generar un modelo experimental, con el propósito de elaborar un estudio desde un enfoque energético y así analizar parámetros como el EER, el consumo de energía, el ciclo termodinámico y el aprovechamiento fotovoltaico del prototipo diseñado.

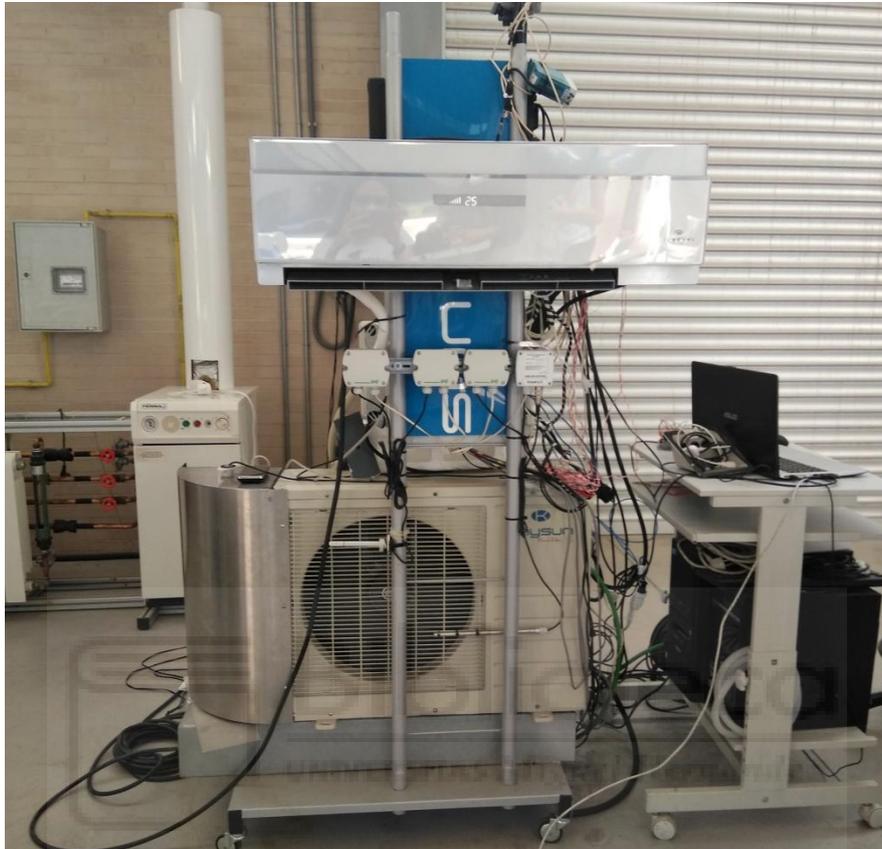
Ambos proyectos tuvieron como problemática obtener valores reales de potencia debido a que el instrumento de medida utilizado solo les permitía conocer los valores de tensión e intensidad, esto provocaba que los datos no fueran totalmente reales.

Para calcular la potencia total de la máquina sumaban la potencia de red más la potencia fotovoltaica. Con la potencia fotovoltaica no había ningún problema al ser corriente continua, con los datos de tensión e intensidad no se necesita nada más, pero a la hora de calcular la potencia de red, solo multiplicaban tensión e intensidad por lo que al ser corriente alterna faltaba el factor de potencia que se produce.

$$P_{TOT} = P_{RED} + P_{FV} = (I_{RED} \times V_{RED}) + (I_{PV} \times V_{PV})$$

También necesitaron obtener la potencia consumida por el compresor, en este caso utilizaron de manera provisional los resultados obtenidos en una tesis que usaba un aire acondicionado parecido, el factor de potencia constante de 0,8302 que obtuvieron con el analizador de redes. Se dieron cuenta que cometían un error al tomar medidas y no obtenían los resultados esperados.

El principal interés de este proyecto es modelizar el factor de potencia de red y del compresor a partir de las variables que afectan al climatizador para así poder obtener datos reales de potencia para futuros proyectos.



*Figura 3: Sistema de climatización doméstico convencional*

### **1.3. Objeto**

El objeto del proyecto es establecer una metodología de medida para evaluar el consumo o la producción de potencia eléctrica de los distintos componentes de la instalación. Para ello disponemos de la instrumentación necesaria para la medida de tensiones e intensidades, no sinusoidales y con un alto grado de distorsión.

Además daremos respuesta a cómo varía el factor de potencia del compresor y del aporte de red y averiguaremos si se podría modelizar la potencia eléctrica a partir de medidas de intensidad y tensión.

Este proyecto surge de la problemática de los proyectos previos antes mencionados para obtener valores reales de potencia activa de la máquina en funcionamiento. En los

proyectos anteriores se buscó en los resultados de una tesis doctoral, que utilizaba una máquina de aire acondicionado similar a la nuestra, un factor de potencia de 0.8302 para poder obtener unos resultados más exactos de potencia consumida por el compresor. Esta constante no garantiza todos los modos de funcionamiento de la máquina puesto que el factor de potencia no siempre es el mismo, hay algún factor que influye en la variación de esta variable y ese es el objeto de este proyecto, encontrar de qué depende la variación del factor de potencia tanto de la red como del compresor e intentar predecirlo mediante una modelización para que en futuros proyectos se puedan obtener datos reales de potencia.

Para trabajar diariamente con el prototipo se utiliza una unidad de adquisición de datos, también llamada Data Logger donde registra los valores de todos los sensores y además obtiene valores eléctricos. Éstos valores eléctricos son básicos, tensión e intensidad, dando lugar a obtener valores de potencia con una gran variación a la potencia real de la máquina. En el laboratorio también está el analizador de redes con el que se pueden medir todos los parámetros eléctricos y obtener unos resultados reales, pero este aparato es costoso, sólo hay dos disponibles y se debe compartir con diferentes proyectos, por lo que no siempre se tiene disponibilidad.

Por tanto el principal objetivo es buscar una modelización para el factor de potencia del compresor y de la red analizando los datos medidos con ambos instrumentos para conseguir una potencia lo más real posible.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO**

### **2.1. Objetivo**

El objetivo del proyecto es establecer una metodología de consumo o producción en función a las diversas características de funcionamiento del sistema y así disponer de una instalación que permita generar un modelo experimental con el que describir su comportamiento eléctrico.

Se trata de un sistema de climatización tipo Split con un condensador híbrido empleando un pre-enfriamiento adiabático del aire a la entrada. Sería un sistema de climatización doméstico tipo Split convencional Kaysun Inverter Stylus Solar 3D

adaptada por la empresa Prointer para tareas de investigación en la Universidad Miguel Hernández.

Este prototipo está formado por un motor DC inverter, un compresor DC inverter y un ventilador, éstos son los elementos principales, también tiene añadido una sección de enfriamiento evaporativo para mejorar la eficiencia energética. El aporte eléctrico se hace simultáneamente entre dos placas fotovoltaicas en corriente continua y la red en corriente alterna, para ello es necesario colocar un convertidor que pasa de corriente alterna a corriente continua. En este proceso se producen unas pérdidas, la corriente alterna es una onda senoidal y al pasar a corriente continua no es completo.

## 2.2. Sistema de climatización doméstico

Para la realización de este proyecto, se dispone un sistema de climatización doméstico con las siguientes especificaciones, características técnicas y aspecto, extraídos de la ficha del mismo.

<b>Interior</b>		KAY-PV 35 DN5	
<b>Exterior</b>		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 ~50Hz, 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	----
5Compresor	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 (RLA)	A	----
	Protección térmica		----
	Posición del protector térmico		INTERNO
	Condensador	uF	----
	Carga aceite refriger./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
Serpentín interior	a. N° de filas		2
	b. Pend. Tubería (a) x pend. Fila (b)	mm	21 x 13,37
	c. Separación aletas	mm	1,3
	d. Tipo aleta		Aluminio hidrofílico

	(código)		
	e. Diám. Exterior y tipo de tubería	mm	Φ7, tubería con interior estriado
	Long. X altura x anchura del serpentín	mm	760x315x26.74
	g. N°. 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. Oend. Tubería (a) x 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		
	f. Long. X altura x anchura del serpentín		
	g. Número de circuitos		4

Flujo de aire exterior		m <sup>3</sup> /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 (refrigerante y calefacción)	°C	≥17/≤30
	Exterior (refrigeración y calefacción)	°C	0~50/-15~34

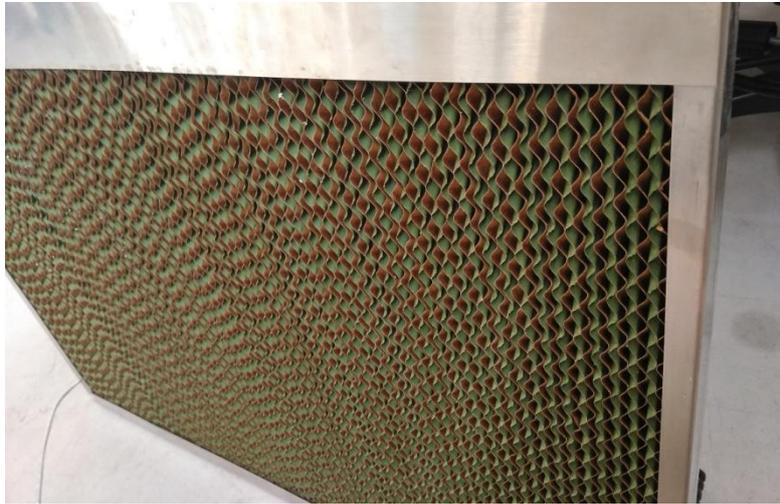
Figura 4 Tabla de especificaciones del climatizador

### 2.3. Sección evaporativa

La función de la sección evaporativa es disminuir la temperatura del aire a la entrada del condensador mediante un pre-enfriamiento adiabático. Así se consigue una mejora del rendimiento del sistema de climatización doméstico.

Dicho pre-enfriamiento consiste en hacer que la corriente de aire de entrada a la batería del condensador pase previamente por un relleno evaporativo, por el que cae una película de agua, que humecta el aire y reduce su temperatura seca. Además, el relleno

evaporativo cumple el requisito de no producir la formación de aerosoles y de que no exista agua arrastrada sobre el serpentín seco evitando así la propagación de agentes bacteriológicos.



*Figura 5 Sección evaporativa CELdek 5090-15*

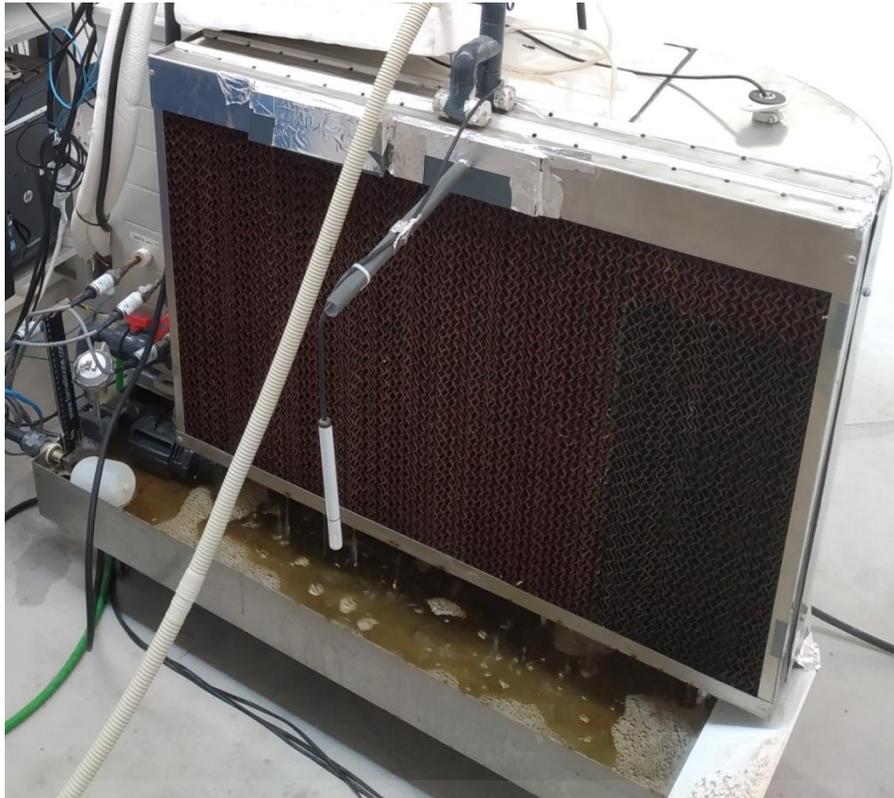
En la siguiente tabla vienen especificadas las que tiene la sección evaporativa:

Sección evaporativa			
Nº Paneles	2	Material	Acero inoxidable
Sección de paso (mm)	800x500	Espesor por panel	50mm
Espesor total	100mm	Q medio aire	2160m <sup>3</sup> /h
Relleno	Celulosa	Qagua por panel	0.217m <sup>3</sup> /h

*Figura 6 Tabla de especificaciones del evaporizador*

La sección evaporativa está formada por la carcasa de soporte del relleno, el relleno evaporativo, un acoplamiento de unión al condensador, un depósito de acumulación de agua, una bomba de recirculación hidráulica, la tubería de alimentación y los colectores.

El funcionamiento del panel adiabático será alimentado con agua de red a través de la bandeja. Ésta proporcionará agua a la bomba y la impulsará mediante una tubería a los colectores que repartirán el agua por la parte superior de los paneles, esta caerá por los rellenos creándose una película de agua por la que el aire pasará. Finalmente, el agua caerá a través de los rellenos nuevamente a la bandeja y con esto crearemos un circuito cerrado de recirculación de agua.



*Figura 7 Ubicación de la sección evaporativa*

#### **2.4. Instalación hidráulica**

El objetivo que tiene el circuito hidráulico es el de suministrar el caudal de agua necesario y de la manera más uniforme posible a los paneles que contienen los rellenos evaporativos CELdek 5090-15.

Se dispone de una bomba de la marca SICCE y modelo MULTI-4000 que se emplea en la instalación hidráulica del climatizador.

Bomba de agua MULTI-4000			
Voltaje	230-240V	Potencia	52 W
Altura máxima	3.1 m	Caudal máximo	3800 l/h
Medidas	96x131x104 mm	Longitud cable	1.5 m

*Figura 8 Tabla de las especificaciones de la bomba de agua*

#### **2.5. Módulos fotovoltaicos**

Nuestra instalación solar fotovoltaica está constituida por dos paneles de la empresa Peimar, empresa italiana especializada en la investigación y producción de módulos fotovoltaicos de elevada eficiencia. Nuestros módulos corresponden al modelo

SG360M, el cual cuenta con una potencia de pico ( $P_{max}$ ) de 360W y se trata de un panel construido por células solares de silicio monocristalino, por lo que tendrá un alto rendimiento.



*Figura 9 Paneles fotovoltaicos*

El objetivo de la estación fotovoltaica es alimentar el prototipo mediante dos paneles fotovoltaicos colocados en la azotea del edificio Altet de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Se trata de una instalación formada por dos módulos, conectados en paralelo, con orientación sur pura y situados sobre una estructura metálica con una inclinación de  $25^\circ$ , anclada a la cubierta mediante bloques de hormigón.

Las especificaciones básicas de los módulos fotovoltaicos con los datos básicos y generales:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STM*)	SG360M
Potencia de pico ( $P_{max}$ )	360 W
Tolerancia de potencia	0/+5 W
Tensión a $P_{max}$ ( $V_{mp}$ )	38 V
Corriente a $P_{max}$ ( $I_{mp}$ )	9.48 A
Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )	46.6 V
Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ )	10.09 A

Tensión máxima de sistema	1500 V
Máximo valor nominal del fusible	15 A
Eficiencia Módulo	18.54%

*Figura 10 Tabla de características eléctricas de los paneles fotovoltaicos*

A continuación comentaremos la conexión entre ambos entre los módulos, como ya hemos dicho irán conectados en paralelo, por lo que se sumarán las intensidades de este modo pasaremos a tener una intensidad máxima de 18,96 A, obteniendo por tanto una potencia máxima de 720 W. La conexión se realiza conforme al esquema explicativo que se adjunta a continuación.



*Figura 11 Conexión en paralelo*

## 2.6. Estación meteorológica

La estación meteorológica está situada en la azotea del Edificio Altet, la cual está constituida por un mástil, sujetado a la valla de seguridad mediante dos abrazaderas. En su extremo superior se encuentran instalados los sensores tanto de dirección y velocidad de viento como de temperatura y humedad ambiental. La estación meteorológica transmite sus datos a través de dos cables, uno para cada sensor, transportados en el interior de un macarrón de modo que estén protegidos. Éste está acoplado mediante bridas al propio mástil y llevado hasta la caja de obra, la cual conecta la azotea con el interior del laboratorio.

En la azotea también se encuentra el piranómetro, es un instrumento que se emplea con el fin de medir las radiaciones de calor en una superficie plana.

### 3. MODELO ESTADÍSTICO

En nuestro proyecto en el que se va a modelizar el comportamiento del factor de potencia tanto de la red como del compresor se ha utilizado una serie de modelos estadísticos.

En primer lugar se ha utilizado una correlación lineal y posteriormente una regresión lineal simple y múltiple. La correlación lineal y la regresión lineal simple son métodos estadísticos que estudian la relación lineal existente entre dos variables. La correlación cuantifica cómo de relacionadas están dos variables, mientras que la regresión lineal consiste en generar una ecuación (modelo) que, basándose en la relación existente entre ambas variables, permita predecir el valor de una a partir de la otra.

El cálculo de la correlación entre dos variables es independiente del orden de cada variable a X e Y, mide únicamente la relación entre ambas sin considerar dependencias. En el caso de la regresión lineal, el modelo varía según qué variable se considere dependiente de la otra (lo cual no implica causa-efecto).

En la figura 12 se muestran cuatro ejemplos de distintas correlaciones que se pueden obtener. La primera gráfica a la izquierda se muestran variables no correlacionadas, la primera gráfica a la derecha se muestra una correlación lineal negativa, la segunda gráfica a la izquierda tenemos un ejemplo de una correlación no lineal y por último la segunda gráfica a la derecha tenemos una correlación lineal positiva.

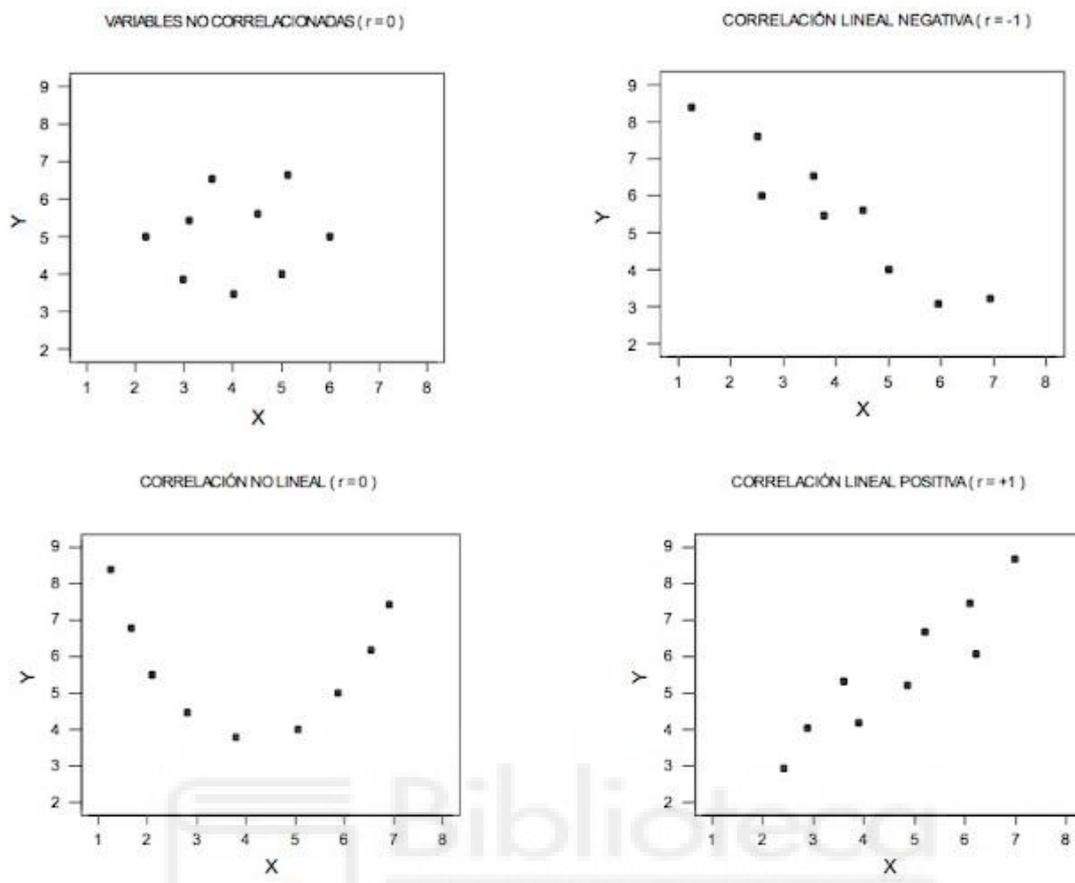


Figura 12 Tipos de correlaciones

A nivel experimental, la correlación se suele emplear cuando ninguna de las variables se ha controlado, simplemente se han medido ambas y se desea saber si están relacionadas. En el caso de estudios de regresión lineal, es más común que una de las variables se controle (tiempo, concentración de reactivo, temperatura...) y se mida la otra.

Por norma general, los estudios de correlación lineal preceden a la generación de modelos de regresión lineal. Primero se analiza si ambas variables están correlacionadas y en caso de estarlo, se procede a generar el modelo de regresión.

La correlación de Pearson funciona bien con variables cuantitativas que tienen una distribución normal. Es más sensible a los valores extremos que las otras dos alternativas. A continuación se llevará a cabo la regresión lineal.

La regresión lineal simple consiste en generar un modelo de regresión (ecuación de una recta) que permita explicar la relación lineal que existe entre dos variables. A la variable

dependiente o respuesta se le identifica como Y y la variable predictiva o independiente como X. Recoge el efecto de todas aquellas variables que influyen en Y pero que no se incluyen en el modelo como predictores. Al error aleatorio también se le conoce como residuo. En la figura 13 tenemos un ejemplo de cómo se construye la regresión lineal.

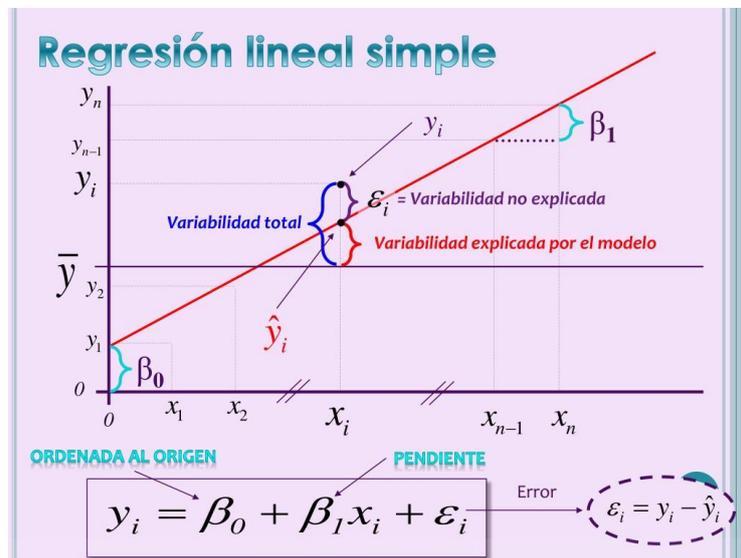


Figura 13 Regresión lineal simple

El residuo de una estimación se define como la diferencia entre el valor observado y el valor esperado acorde al modelo. Cuanto mayor es el sumatorio del cuadrado de los residuos menos la precisión con la que el modelo puede predecir el valor de la variable dependiente a partir de la variable predictiva. Los residuos son muy importantes puesto que en ellos se basan las diferentes medidas de la bondad de ajuste del modelo.

#### BONDAD DE AJUSTE DEL MODELO:

A continuación es necesario verificar su eficiencia, ya que aún siendo la línea que mejor se ajusta a las observaciones de entre todas las posibles, el modelo puede ser malo. Las medidas más utilizadas para medir la calidad del ajuste son: error estándar de los residuos, el test F y el coeficiente de determinación  $R^2$ .

- Error estándar de los residuos: Mide la desviación promedio de cualquier punto estimado por el modelo respecto de la verdadera recta de regresión poblacional. Tiene las mismas unidades que la variable dependiente Y. Una forma de saber si el valor del RSE es grande consiste en dividirlo entre el valor medio de la variable respuesta, obteniendo así un % de la desviación.

- Coeficiente de determinación  $R^2$ : Describe la proporción de variabilidad observada en la variable dependiente Y explicada por el modelo y la relativa a la variabilidad total. Su valor está acotado entre 0 y 1. Al ser a dimensional presenta la ventaja frente al RSE de ser más fácil de interpretar. En los modelos de regresión lineal simple el valor de  $R^2$  se corresponde con el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson entre X e Y, no siendo así en regresión múltiple. Existe una modificación de  $R^2$  conocida como  $R^2$ -ajustado que se emplea principalmente en los modelos de regresión múltiple. Introduce una penalización cuantos más predictores se incorporan al modelo. En nuestro caso se intentará buscar el modelo más sencillo para obtener un cálculo de potencia con el menor número posible de predictores o variables independientes.

Una vez se tenga el modelo de regresión se debe comprobar cuatro supuestos:

1. Relación lineal. Término utilizado para describir una relación de línea recta entre dos variables.
2. Independencia: Los residuos son independientes entre sí, es decir, constituyen una variable aleatoria. Esto significa que no hay dos observaciones en un conjunto de datos que estén relacionadas entre sí o se afecten entre sí de alguna manera.
3. Homocedasticidad: Implica que la varianza se mantenga constante. La palabra homocedasticidad se puede desglosar en dos partes, homo (igual) y cedasticidad (dispersión).
4. Normalidad: Los residuos se distribuyen normalmente con media cero. Se basa en la idea de que la normalidad es aquello que es más probable.

## 4. INSTRUMENTACIÓN

### 4.1. Objeto

Para realizar el estudio del prototipo es necesario evaluar los parámetros posibles que afecten al rendimiento de la máquina en funcionamiento con el fin de obtener una modelización lo más real posible. Por lo tanto se necesita de instrumentación para poder

tomar datos que afectan al modo de funcionamiento. Se pretende realizar una serie de ensayos en los que el prototipo tenga diversos modos de funcionamiento o características ambientales para poder analizar todos los escenarios posibles.

La toma de datos se va a realizar principalmente mediante dos aparatos de medida, DataLogger y Analizador de redes. La descripción y características técnicas de toda esta instrumentación se encuentra más adelante en un apartado exclusivamente para ello en este mismo capítulo. Las medidas que se pretenden realizar con estos sensores se muestran en la siguiente tabla:

Etiqueta	Descripción de sensores
Ciclo frigorífico	
T_sal_evap	Temperatura del refrigerante a la salida del evaporador
T_ent_comp	Temperatura del refrigerante a la entrada del compresor
T_sal_comp	Temperatura del refrigerante a la salida del compresor
T_ent_cond	Temperatura del refrigerante a la entrada del condensador
T_sal_cond	Temperatura del refrigerante a la salida del condensador
T_ent_evap	Temperatura del refrigerante a la entrada del evaporador
P1 asp comp	Presión de aspiración del compresor
P2 desc comp	Presión de descarga del compresor (después de la compresión)
P3 Salida cond	Presión a la salida del condensador
P4 Salida válvula	Presión a la salida de la válvula de expansión
T agua	Temperatura del agua en el depósito
Vel aire	Velocidad de paso del aire
HR Entrada	Humedad relativa a la entrada de la sección evaporativa
HR Int	Humedad relativa en la etapa intermedia de la sección
HR Salida	Humedad relativa a la salida de la sección evaporativa
Temp Entrada	Temperatura ambiente a la entrada de la sección evaporativa
Temp Int	Temperatura en la etapa intermedia de la sección evaporativa
Temp Salida	Temperatura a la salida de la sección evaporativa
Ambientales	
Pres_diferencial	Presión diferencial
Temp Amb	Temperatura ambiente
HRAmb	Humedad relativa ambiente

Dir viento	Dirección del viento
Vel viento	Velocidad del viento
Irradiancia	Irradiancia
Eléctricos	
Ired	Intensidad suministrada por la red eléctrica
Vred	Voltaje suministrado por la red eléctrica
Ipv	Intensidad suministrada por las placas fotovoltaicas
Vpv	Voltaje suministrado por las placas fotovoltaicas
Int Comp	Intensidad medida a la entrada del compresor

Figura 14 Lista de variables que van a utilizar para los ensayos

En la siguiente figura podemos ver un esquema de la instalación, en el que están representadas las partes más relevantes, como son la unidad de adquisición de datos, las dos fuentes de alimentación y el prototipo.

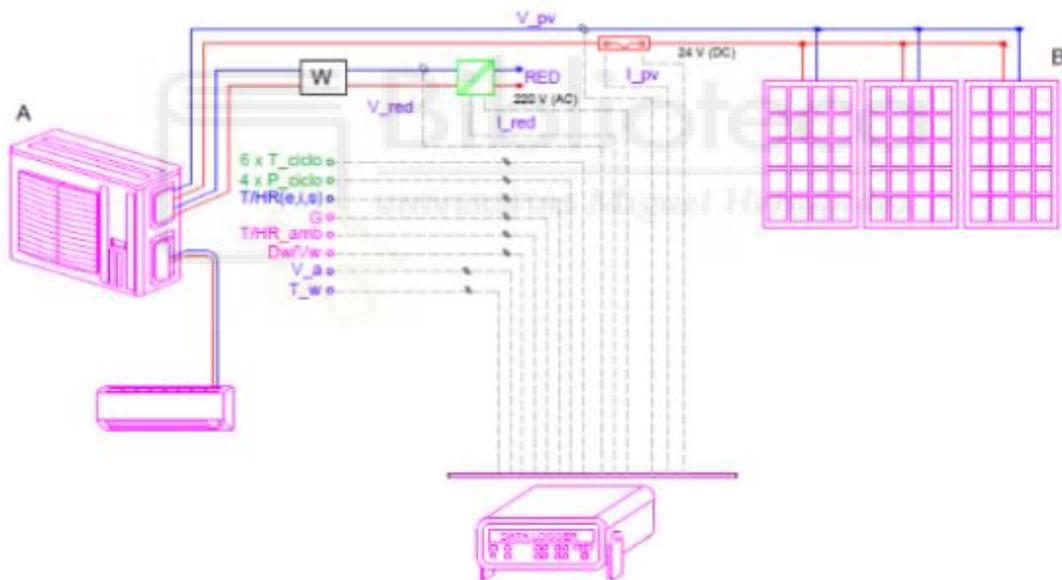


Figura 15 Instalación de ensayos, monitorización y toma de datos

## 4.2. Sondas de medida

### 4.2.1. Transductor de presión

#### Principio físico de funcionamiento

Para la medida de presión con transmisores de presión se requiere un sensor que capta el valor de presión o la variación de esta y lo convierte de manera exacta y precisa en una señal eléctrica. La señal eléctrica indica el valor de presión recibida. Este tipo de medida

se puede realizar con sensores del tipo resistivos, piezoresistivos, capacitivos y piezoeléctricos.

## **Descripción**

Transmisor de baja Johnson Controls P499ACS-404 (0-30 bar)

Transmisor de alta Johnson Controls P499ACS-405404 (0-50 bar)

Los transductores de presión electrónicos de la serie P499 son transductores de presión compacta, económica, resistente y de montaje directo diseñados para su uso en aplicaciones comerciales de refrigeración y aire acondicionado. Estos transductores producen una señal analógica basada en la presión detectada.

Los transductores de la serie P499 cuentan con componentes electrónicos con protección ambiental con construcción de acero inoxidable.

Estos transductores son altamente precisos en un amplio rango de temperatura, resistiendo los efectos de los cambios de temperatura ambiente, alta humedad, condensación y formación de hielo. El puerto de presión está mecanizado a partir de una pieza sólida de acero inoxidable 17-4PH. No se exponen juntas teóricas, materiales orgánicos o soldaduras a los medios de presión, lo que permite un sistema de presión sellado, totalmente metálico y a prueba de fugas.

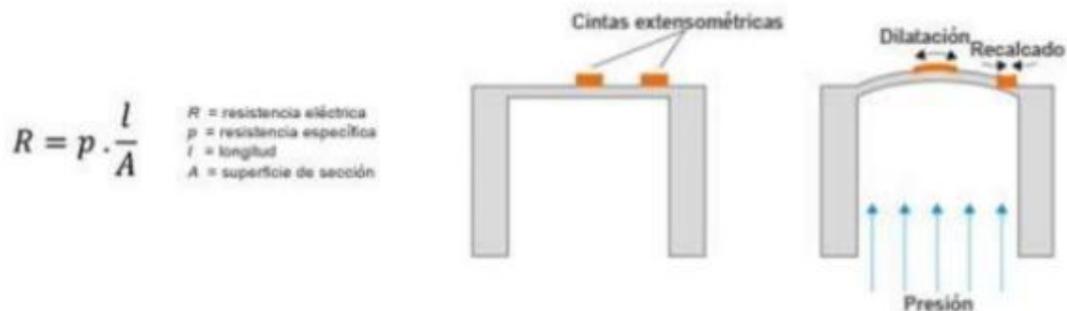
Los transductores P499 funcionan con todos los medios de presión compatibles con acero inoxidable 17-4PH, incluida la mayoría de los refrigerantes no corrosivos. También son adecuados para su uso con amoníaco.

La serie P499 proporcionan transductores en numerosos rangos de presión, que cubren las aplicaciones más comunes de refrigeración y aire acondicionado. Estos transductores también se pueden usar en otras aplicaciones de fluidos no corrosivos. Por último, hay que señalar que la precisión es de  $\pm 1\%$ .

## **Realización de medidas**

### **Medida con sensores resistivos**

El principio de medida con sensores resistivos se basa en la medida de la variación de la resistencia inducida por la deformación en función de la presión. La resistencia de un conductor eléctrico está definida por la ecuación:



*Figura 16 Medida con sensores resistivos*

Una tracción del conductor aumenta la longitud y reduce la superficie de sección con la consecuencia de un aumento de la resistencia eléctrica, ya que la resistencia específica se mantiene constante. Una deformación provocada por recalado tendría efecto contrario. Para la realización del principio se utiliza un cuerpo base que se deforma de manera controlado al someterle a presión. A menudo este cuerpo consiste en una membrana con una parte fina. El valor de la deformación en función de la presión se mide mediante una cinta extensiométrica es decir conductores eléctricos metálicos tipo meandro.

Habitualmente se encuentran cuatro cintas extensiométricas en una membrana de las cuales unas están ubicadas en el área de dilatación, otras en el área del recalado. La deformación de la membrana provoca la deformación de las cintas con el efecto de un aumento proporcional de la resistencia (dilatación) o de una reducción (recalcado). Para realizar una medición precisa se conecta las cintas a un puente Wheatstone.

### **Medida con sensores piezoresistivos**

El principio de la medida con sensores piezoresistivos es similar al de los sensores resistivos. La diferencia reside en la utilización de semiconductores como cintas extensiométricas en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica. Según la ecuación indicada arriba, la resistencia eléctrica varía proporcional con la resistencia específica. Este efecto piezoresistivo con semiconductores es de un factor 10 hasta 100 veces mayor que con metal.

Las cintas metálicas pueden colocarse en cualquier material mientras las cintas semiconductores están incorporadas como microestructura en la membrana. Por lo tanto, las cintas extensiométricas y el cuerpo expuesto a la deformación están compuestas del mismo material. Normalmente se incorpora cuatro cintas en una membrana de silicio formando un puente de Wheatstone.

Dado que las microestructuras no presentan la suficiente resistencia contra numerosos medios de proceso se encapsula el chip para la mayoría de las aplicaciones. La transmisión de la presión se efectúa en este caso de manera indirecta, por ejemplo, mediante una membrana metálica o mediante aceite como medio de transmisión.

El gran volumen del efecto piezoresistivo permite la aplicación de estos sensores también para presiones muy bajas. Sin embargo, la elevada sensibilidad a efectos de temperatura requiere una compensación de temperatura individual para cada sensor.

### Medida con sensores capacitivos

Este principio está basado en la medición de la capacidad de un condensador que varía en función de la aproximación a la superficie activa. La capacidad de un condensador de dos placas puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

$C$  = capacidad condensador  
 $\epsilon$  = constante dieléctrica  
 $A$  = área efectiva de las placas  
 $d$  = distancia entre las placas

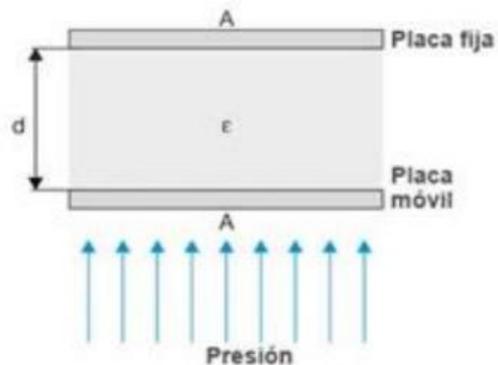


Figura 17 Medida con sensores capacitivos

El principio de la medición capacitiva se realiza mediante un cuerpo base cuya membrana metálica, con un recubrimiento metálico, constituye una de las placas del condensador. La deformación de la membrana, inducida por la presión, reduce la distancia entre las dos placas con el efecto de un aumento de la capacidad, manteniendo igual la superficie y la constante dieléctrica.

Este sistema permite la medición de presión con elevada sensibilidad y por lo tanto la medición de rangos muy bajos hasta unos pocos milibares. Dado que la membrana permite una deformación máxima hasta apoyarse a la placa estática resulta una elevada seguridad contra sobrecarga. Las limitaciones prácticas están determinadas por el material y las características de la membrana y las técnicas de unión y sellado.

### **Medida con sensores piezoeléctricos**

El principio de los sensores piezoeléctricos se basa en un efecto físico que sucede en unos pocos cristales no conductivos como el cuarzo. Cuando se comprime el cuarzo se produce una polarización eléctrica en superficies opuestas. La deslocalización de la estructura cristalina con carga eléctrica genera un momento dipolar que se refleja en una (aparente) carga de superficies. La intensidad de la carga es proporcional a la fuerza empleada por la presión y la polaridad depende de la dirección. La tensión eléctrica generada por la carga de la superficie puede captarse y amplificarse. El efecto piezoeléctrico es apto únicamente para la medida de presiones dinámicas. En la práctica se limita el uso de sensores piezoeléctricos a aplicaciones especiales. (Falta foto)

#### **4.2.2. RTD**

##### **Principio físico de funcionamiento**

El funcionamiento de las RTDs se basa en que la resistencia eléctrica de un conductor es función de la temperatura a la que esté el mismo, efecto descubierto por Sir Humphrey Davy.

Las RTD se caracterizan por ser elementos de medida fiable en un amplio rango de temperaturas, ser estables a lo largo del tiempo, no necesitando calibración. Sin embargo, la RTD tiene como inconveniente que la medida de estas es dificultosa, por tener una baja resistencia (generalmente unos  $100\Omega$ ) y una variación muy pequeña de la resistencia con la temperatura (menos de  $0.4 \Omega/^\circ\text{C}$ ).

Además, podemos encontrarnos con otros inconvenientes a la hora de medir que pueden introducir incertidumbre en la medida, como son el auto-calentamiento de la sonda, la posible alteración que el transductor introduce en el sistema o la generación de una pequeña fuerza electromotriz que desplace la medida.

El auto-calentamiento se produce debido a que la RTD es una sonda de medida pasiva, es decir, que precisa de una corriente de excitación para medir la caída de tensión de la misma. Esta corriente, debido al efecto Joule, es capaz de calentar la sonda, pudiendo dar una medida falseada.

Las pérdidas producidas por el efecto Joule se calculan mediante la siguiente expresión:

$$W_{joule} = I^2 * R$$

Por lo que si se disminuye la tensión que circula por la RTD, disminuirá la potencia introducida en el sistema por el efecto Joule. Hay que tener en cuenta también que una disminución de la corriente de excitación implica una medida más dificultosa y la posible perturbación provocada por ruidos eléctricos.

Los valores típicos de auto-calentamiento para una RTD están en torno a 1°C/mW para una medición al aire inmóvil, mientras que para el aire en movimiento puede estar en torno a 0,1°C/mW.

La alteración que introduce el transductor en el sistema ha de tenerse en cuenta debido a que el volumen que aporta éste al dispositivo de medida tiene bastante influencia en la medida.

Si la RTD es pequeña, el dispositivo de medida tendrá poca inercia térmica, con lo que podrá seguir sin mucha dificultad las variaciones del sistema, mientras que, si la RTD es más grande, tendrá mayor inercia térmica, pero por el contrario, el efecto del auto-calentamiento será menor.

Si los materiales que se usan para la conexión de la RTD son diferentes a los que se utilizan para medir, se puede inducir una FEM debido a este hecho (por ejemplo, utilizando RTD de platino y cable de cobre), debido al efecto Seebeck.

### **Descripción**

Una RTD (Resistance Temperature Detector) consiste en un arrollamiento de hilo a modo de filamento de bombilla o de una fina capa de metal.

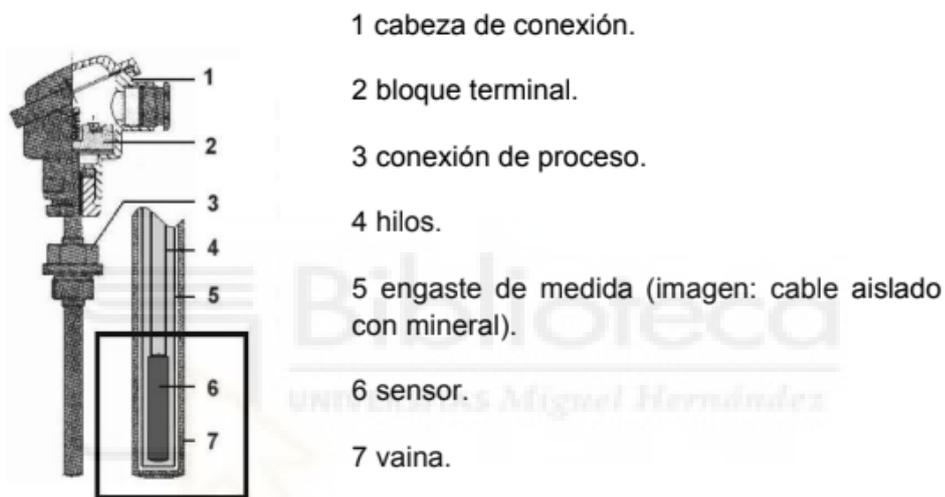
Entonces, un Pt 100 es un resistor, que cambia su valor según el cambio de la temperatura. Es un “PTC”, un resistor con un “Positive Temperature Coefficient”, es decir que cuando la temperatura aumenta, también el valor de resistencia aumenta.

La denominación Pt100 es debido a sus características. Pt significa platino y 100 significa 100Ohm a 0°C (138,5 Ohm a 100°C) según DIN EN (IEC) 60 751:

-Clase A: máx. desvío  $\pm 0,15$  °C (0,06 Ohm) a 0°C.

-Clase B: máx. desvío  $\pm 0,3$  °C (0,12 Ohm) a 0°C.

Generalmente un Pt 100 se utiliza cuando se requiere una precisión alta, la temperatura a medir está por debajo de 400°C, no se requiere un tiempo de respuesta rápido, no se espera choques o vibraciones y se quiere evitar todos los problemas eléctricos, que pueden ocurrir utilizando termopares (menos fuentes de errores).



*Figura 18 Partes de una RTD*

Generalmente las configuraciones típicas suelen ser a 2, 3 ó 4 hilos, siendo ésta última la más utilizada.

Entre las especificaciones que han de tenerse en cuenta a la hora de seleccionar una RTD está la estabilidad, que mide la deriva del elemento con el paso del tiempo, la resistencia mecánica y a la corrosión, la precisión para un rango determinado de temperaturas, la autoinducción producida por el arrollamiento del hilo, etc.

Según las condiciones a las que sometamos a las RTD, variará el tipo a utilizar. Las más usuales son las siguientes:

-Las RTD de platino presentan un rango de utilización bastante grande. Se caracterizan porque presentan una gran estabilidad gracias a las propiedades del platino

y a la ausencia de deformaciones cristalinas. Este tipo se emplea ampliamente en medidas de precisión.

-Las RTD de níquel tienen una sensibilidad mayor que las de platino, y su temperatura de fusión es mayor, no obstante, presentan una transformación magnética al llegar al punto de Curie. También son fácilmente oxidables a temperaturas elevadas y tiene mayor facilidad que el platino para sufrir ataques de origen químico.

-Las RTD de cobre tienen un coeficiente de temperatura del mismo orden que las de platino, pero su oxidabilidad y reactividad química hacen que se limite su temperatura máxima de utilización. En general, son poco empleadas, a excepción de temperaturas ambiente.

-Las RTD de indio se emplean en temperaturas criogénicas, mientras que su uso en temperaturas superiores está muy limitado.

-Las RTD de tungsteno se caracterizan por tener una elevada sensibilidad y linealidad, siendo muy utilizadas a temperaturas elevadas. El problema que presentan es que son poco estables y tienen una resistencia mecánica reducida.

En general, salvo para aplicaciones muy concretas, las más utilizadas son las de platino y las de níquel debido a la facilidad de manejo y a los bajos márgenes de error.

### **Realización de medidas**

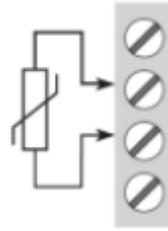
El cambio en resistencia que experimenta una RTD se puede medir con un circuito eléctrico, que consiste en un elemento sensitivo, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida.

La medida de las RTDs es muy complicada debido a la baja resistencia que tiene este elemento, por lo que se suelen utilizar diversas configuraciones para obtener una medida más exacta.

#### **RTD a 2 hilos**

En este tipo de disposición se mide la caída de tensión directamente, tal y como indica la figura, aunque se ha de tener en cuenta la resistencia del cable, indicada como  $R_c$ . La principal ventaja de este sistema es su sencillez de conexión, pero por el contrario tiene

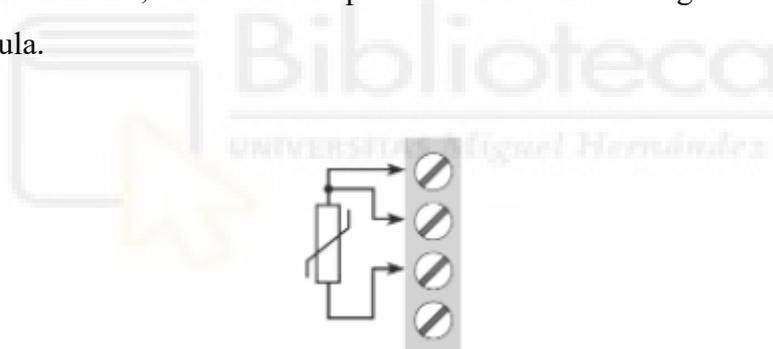
que los valores a medir son muy pequeños y que, si se desprecia la resistencia del cable  $R_c$ , el error de medida puede ser muy grande, de entorno a  $26^\circ\text{C}$ .



*Figura 19 Conexión de una sonda RTD a 2 hilos*

### RTD a 3 hilos

La conexión de la RTD a 3 hilos se realizará mediante un puente de Wheatstone modificado, tal y como se muestra en la siguiente imagen. La salida de tensión indirecta  $V_{\text{med}}$  es directamente proporcional a la resistencia de la RTD, pero para que el puente funcione correctamente, es necesario que las 3 resistencias tengan una variación de temperatura nula.



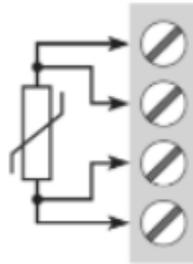
*Figura 20 Conexión de una sonda RTD a 3 hilos*

Para conseguirlo, se pueden separar de la RTD tal y como se indica en la figura. Al hacer esto volvemos al problema inicial que teníamos con las RTD a 2 hilos: la impedancia de los cables afecta a la medida, por lo que para solucionarlo se han de tomar los cables de la misma longitud, ya que así se cancelan las impedancias al estar en posiciones opuestas del puente. El tercer cable actúa como un sensor de carga, y al estar conectado a una medida de tensión, no conduce intensidad, por lo que su impedancia se desprecia.

Como principal inconveniente tenemos que la relación entre la temperatura y la tensión leída no son lineales, por lo que la conversión no es inmediata.

## RTD a 4 hilos

La RTD a 4 hilos se ha de conectar a una fuente de tensión, a la cual se conectarán 2 hilos, y los otros dos se utilizarán para la medida. La tensión que se lea será proporcional a la resistencia de la RTD, por lo que será proporcional a su temperatura. Como ventaja tenemos que la lectura de temperatura de la RTD no depende de la longitud de los hilos, como pasaba con las configuraciones a 2 y 3 hilos, pero por contra al tener un cable más, se encarece su precio.



*Figura 21 Conexión de una sonda RTD a 4 hilos*

### 4.2.3. Anemómetro de película caliente

#### Principio físico de funcionamiento

El anemómetro de película caliente está constituido por una lámina de metal resistivo llamada calentador. Esta lámina está depositada sobre otro material llamado sustrato.

Su principio de funcionamiento se basa en hacer pasar una corriente eléctrica por el calentador, aumentando su temperatura por efecto Joule hasta  $T_h$ . Cuando se hace pasar un flujo de aire con una velocidad  $v$  y temperatura  $T_a$  sobre el calentador, el flujo de aire enfría el calentador hasta llegar a un equilibrio entre el calor por efecto Joule y el calor disipado  $Q$ . Cuanto mayor sea la velocidad  $v$  y la diferencia de temperaturas  $T_h - T_a$ , siendo “a” la temperatura ambiente, mayor será la pérdida de calor en el calentador.

La temperatura constante del sensor determina la velocidad  $v$  mediante la medición de flujo de potencia para mantener la temperatura de sobrecalentamiento ( $T_h - a$ ) constante. Este método logra sensibilidades más altas que medir directamente el cambio de la temperatura de sobrecalentamiento con velocidad de flujo.

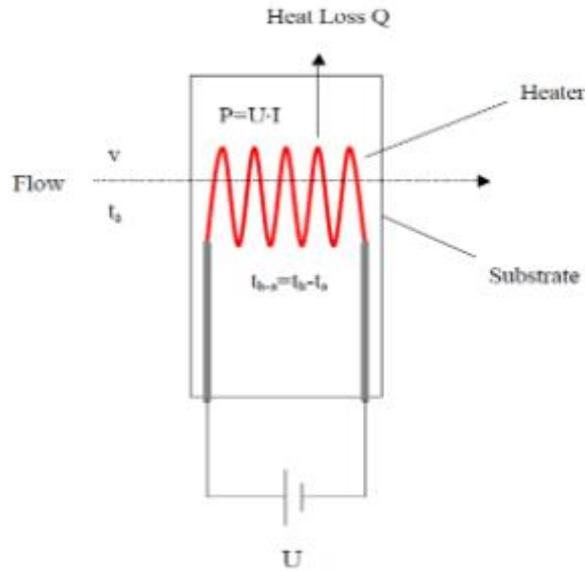


Figura 22 Principio físico de funcionamiento anemómetro de película caliente

La característica que describe al calentador es el coeficiente de auto calefacción SHC. Donde  $T_h - a = \text{constante}$ .

$$SHC(v) = \frac{T_h - a}{P} = \frac{T_h - T_a}{P(v)}$$

Siendo:

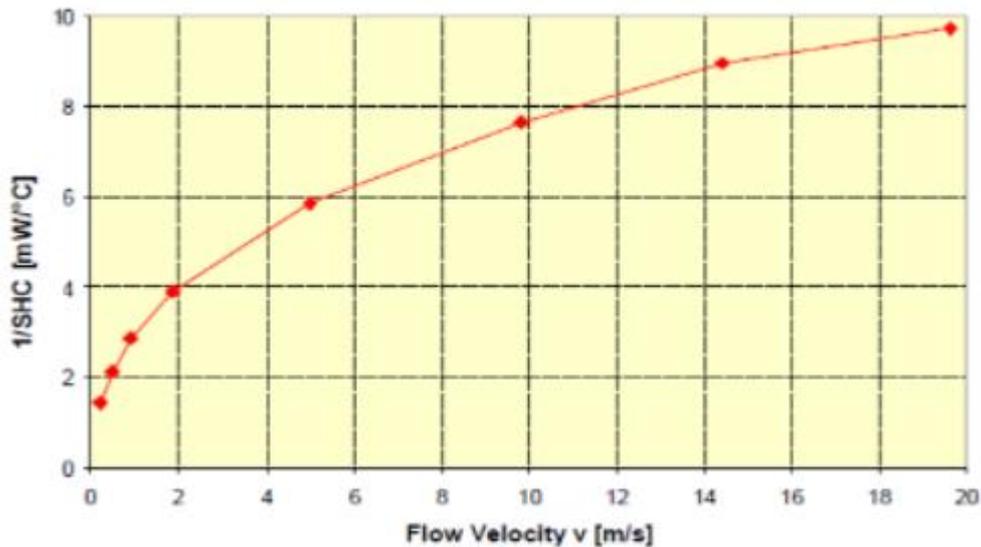
$T_h$ : Temperatura del calentador

a: Temperatura del flujo de aire

$T_a$ : Temperatura del flujo de aire

P: Potencia eléctrica

A continuación, se muestra la gráfica de calibración del sensor, en la que se aprecia que el SHC es dependiente de la velocidad del flujo.



*Figura 23 Curva característica del sensor*

Mantener la temperatura de sobrecalentamiento  $T_{h-a}$  constante requiere un sistema de control, que generalmente se utiliza el conocido circuito de puente de Wheatstone. Cuando aumenta la velocidad del flujo, la resistencia del calentador y la temperatura de sobrecalentamiento  $T_{h-a}$  disminuyen. Así que el amplificador convierte la señal de voltaje de entrada resultante en una señal de salida para el aumento de la corriente en un circuito de retroalimentación de modo que la temperatura de sobre calentamiento  $T_{h-a}$  llegue de nuevo al equilibrio.

### **Descripción.**

El anemómetro de película caliente es el ANE-MS-distan OSAKA, está compuesto por un envoltorio que aloja el circuito electrónico y un display que nos indica que la velocidad del flujo de aire en m/s. El sensor de película caliente se aloja en uno de sus extremos.

### **Realización de medidas.**

Uno de los aspectos a destacar en la realización de medidas es la importancia a la hora de colocar el sensor. Este tiene que estar lo más perpendicular posible a la dirección del flujo de aire, para evitar posibles errores de medida.

El rango de trabajo del anemómetro se regula en los puentes del circuito electrónico. Los valores de salida pueden ser de 0 a 1, 0 a 2, de 0 a 10 y de 0 a 20m/s.

#### 4.2.4. Termohigrómetro

##### Principio físico de funcionamiento

Medida de la humedad relativa

La medida de la humedad relativa se basa en la variación de la constante dieléctrica de un condensador. Un condensador se compone de dos o más conductores separados por un dieléctrico, que es una sustancia aislante.

La relación entre la carga  $Q$  del condensador y la diferencia de potencial entre las dos placas  $V$  viene dada por su capacidad  $C$ , que tiene la siguiente expresión:

$$C = \frac{Q}{V}$$

La capacidad se mide en Faradios (F) y es en función de la geometría, tamaño, separación de las placas y constante dieléctrica, que varía según la sustancia. Cualquier cambio de estos parámetros afectará a  $C$ .

El higrómetro aprovecha la propiedad de que la constante dieléctrica del aire cambia en función a su humedad relativa. Consiste en un condensador eléctrico de forma cilíndrica y un medidor de capacidad que mida las variaciones que se produzcan en el condensador y las traducirá a una señal de intensidad 4-20 mA, siendo 4 mA el valor para 0% de humedad relativa y 20mA para un 100% de humedad relativa.

Medida de la temperatura ambiente

La medida de la temperatura ambiente ha de tener una precisión muy alta, por lo que se utilizan sondas capacitivas, que nos permiten trabajar en unas temperaturas de trabajo de entre -20°C y 80°C, con una precisión de 0,5°C.

El principio físico en el que se basan los sensores capacitivos de temperatura consiste en que los materiales ferromagnéticos, por encima de la temperatura de Curie, tienen una constante dieléctrica proporcional a la inversa de la temperatura, según la expresión:

$$\epsilon = \frac{k}{T - T_c}$$

Donde:

- $\epsilon$  es la constante dieléctrica del material.
- $k$  es una constante que dependerá del material.
- $T$  es la temperatura ambiente.
- $T_c$  es la temperatura de Curie para el material.

Como ventajas de este tipo de sensores podemos decir que su estabilidad es muy elevada, con una derivada a lo largo del tiempo muy baja, ya que  $C$  no depende de las placas del condensador y que debido a la alta resolución disponible en la medida de la capacidad nos permite obtener una alta resolución en la medida de las temperaturas.

Por el contrario podemos decir que el precio de este tipo de sensores es caro.

### Realización de medidas

La sonda termo-higrométrica es de tipo pasiva, por lo que ha de ser alimentada con un tensión, que en nuestro caso es de 12 V. Para conectarlas al sistema de adquisición de datos, éstas han de conectarse en serie con la fuente de alimentación y la tarjeta, tal y como se muestra en la siguiente figura.

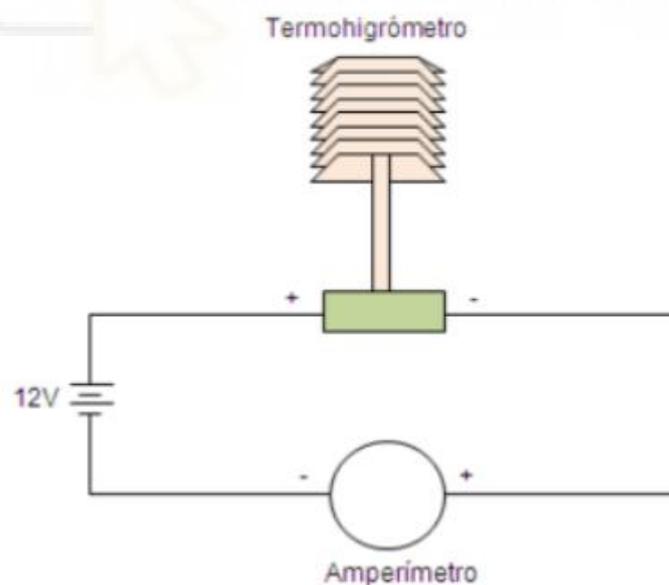


Figura 24 Conexión de una sonda de medida a un amperímetro

### Descripción

Los sensores de temperatura y humedad relativa vienen en un mismo conjunto, tal y como se muestra en la imagen.



*Figura 25 Termohigrómetro*

El diseño de estos equipos de medida consta de un condensador cilíndrico. Una de las placas es un hilo que coincide con el eje. El dieléctrico es un material poroso higroscópico de 10 micras de espesor que rodea el eje y que está rodeado por una malla fina de hilo de oro que constituye la segunda placa del condensador. La malla actúa de filtro de partículas y polvo, pero permite el paso de moléculas de agua de la que toma muestras. Con un cable coaxial se dispone de lectura a distancia por el transductor, que convertirá ésta en una señal de intensidad eléctrica de 4 – 20 mA. El sensor de temperatura se sitúa generalmente al lado del de humedad relativa, ya que no interfiere el uno con el otro.

En nuestro caso es el Termohigrómetro E + E Elektronik (EE210) con un rango de -20 a 80°C.

#### **4.2.5. Piranómetro**

##### **Principio físico de funcionamiento**

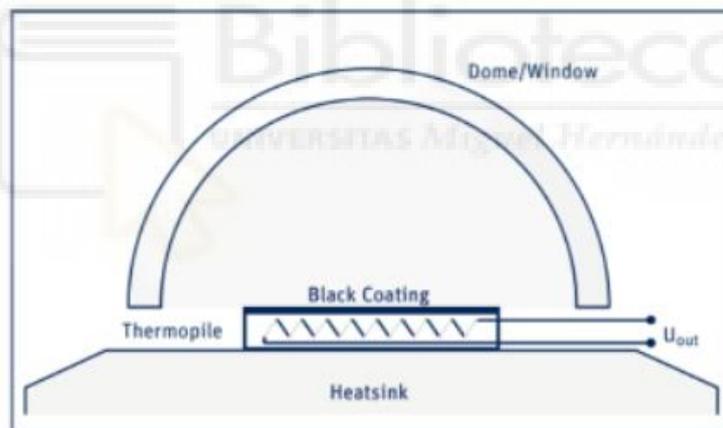
Estos dispositivos utilizan el principio de detección termoeléctrica, por el que la radiación entrante es absorbida casi en su totalidad por una superficie horizontal ennegrecida, para una gama de longitudes de onda muy amplia. El incremento de la

temperatura resultante se mide a través de termopares conectados en serie o en serie/paralelo para conformar la termopila.

Las uniones activas (calientes) se sitúan por debajo de la superficie ennegrecida del receptor y utilizan la radiación absorbida por el revestimiento negro para calentarse. Las uniones pasivas (frías) de la termopila mantienen un contacto térmico con la carcasa del Piranómetro de mayor rendimiento utilizan un módulo Peltier, también termoeléctrico, aunque los distintos metales del termopar/termopila se sustituyen por distintos semiconductores.

### Descripción

Es necesario proteger el revestimiento negro del detector de las influencias externas que pueden afectar a las mediciones, como las precipitaciones, la suciedad o el viento. Casi todas las cúpulas semiesféricas individuales o dobles de los piranómetros utilizan un cristal óptica.



*Figura 26 Cúpula de cristal del Piranómetro*

En función del cristal, la transmisión varía de 300nm (o menos) hasta unos 3000nm. Las cúpulas dobles ofrecen una estabilidad mejor en condiciones dinámicamente cambiantes gracias al aislamiento adicional de la superficie del sensor frente a factores medioambientales como el viento y las fluctuaciones repentinas de temperatura.

En nuestro caso utilizaremos kipp&zonen CM-6B capaz de medir de 0 a 1400 w/m<sup>2</sup> con un error de  $\pm 1,2\%$ .

### Realización de medidas

Los piranómetros de Peltier / termopila pasiva, no necesitan ninguna fuente de alimentación. El propio detector genera una pequeña tensión negra y la carcasa del instrumento. Puesto que esta tensión es del orden de los  $10\mu\text{V}$  (microvoltios) por  $\text{W}/\text{m}^2$ , en un día soleado la potencia generada será de unos  $10\text{mV}$  (milivoltios). Cada Piranómetro posee una sensibilidad única, definida durante el proceso de calibración, que se emplea para convertir la señal de salida expresada en microvoltios en irradiancia global en  $\text{W}/\text{m}^2$ .

### 4.3. Analizador de redes

Un analizador de redes es un elemento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión. Hay dos tipos principales de analizadores de redes:

- SNA (Scalar Network Analyzer). Analizador de redes escalar, mide propiedades de amplitud solamente.
- VNA (Vector Network Analyzer). Analizador de redes vectoriales, mide propiedades de amplitud y fase.

En nuestro caso vamos a utilizar el analizador de redes Chouvin Arnoux C.A. 8334B.

El analizador de energía es trifásico, compacto y resistente a los golpes. Su ergonomía y la sencillez de su interfaz le confieren una utilización sencilla e intuitiva. También permite obtener no sólo una imagen instantánea de las principales características de una red sino también el seguimiento de sus variaciones en el tiempo. Su sistema de medición multitarea asegura simultáneamente todas las funciones de mediciones de diferentes magnitudes, de detección, de grabación continua y sus visualizaciones sin tensiones. Las principales mediciones que puede tomar el analizador:

-Medición de tensiones eficaces alternas hasta  $480\text{V}$  (fase-neutro) ó  $960\text{V}$  (fase-fase) para las redes 2 hilos, 3 hilos y 4 hilos.

-Medición de las corrientes eficaces alternas hasta  $6500\text{A}$  Ef.

-Medición de la frecuencia de las redes  $50\text{Hz}$ ,  $60\text{Hz}$  (de  $10\text{Hz}$  a  $70\text{Hz}$ ).

- Cálculo de la corriente de neutro, por suma vectorial de las corrientes de fases para los montajes en estrellas.
- Cálculo de los factores de pico para las corrientes y las tensiones.
- Cálculo del factor K para las corrientes (transformadores).
- Cálculo del flicker a corto plazo para las tensiones.
- Cálculo del desequilibrio entre fases para las tensiones y corrientes (redes trifásicas únicamente).
- Medición de los ángulos de los armónicos y de su índice (respecto al valor fundamental) en tensión, corriente o potencia hasta el rango 50. Cálculo de los índices globales de distorsión armónica.
- Medición de las potencias activas, reactivas y aparentes por fase y acumuladas. Cálculo del factor de potencia, del factor de desplazamiento y de la tangente. Acumulado de las energías generadas y recibidas a partir de un momento escogido por el operador.
- Seguimiento del valor promedio de cualquier parámetro, calculado sobre un periodo de 1s a 2h. Almacenamiento de los valores sobre una duración limitada por la memoria del aparato.
- Registro, fechas y características de las perturbaciones: Sobretensiones, huecos y cortes, rebasamiento de los umbrales de armónicos autorizados, etc.
- Detección de los transitorios y Registro de las formas de ondas asociadas.



Figura 27 Analizador de redes

#### 4.4. Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos del climatizador muestra en tiempo real el valor que marcan los aparatos de medida. El sistema consta de tres tarjetas y una unidad de adquisición de datos. La unidad de adquisición de datos se conecta a un ordenador, el cual mediante una aplicación informática guarda todas las medidas realizadas, gracias a este registro podemos obtener diferentes variables para someterlas a estudio.

##### 4.4.1. Keysight DAQ970A

La unidad de adquisición de datos que se utiliza para la medida es una Keysight modelo DAQ970A. Como principales características del sistema cabe destacar las siguientes:

##### Funciones prácticas de registro de datos:

- Medición directa de termopares, RTDs, termistores, tensión cc, tensión ca, resistencia, corriente cc y ca, frecuencia y periodo.
- Configuración independiente de canales con función, escala Mx+B y límites de alarma disponible para cada canal.
- Interfaz de usuario intuitivo con botones para la selección rápida de canales, desplazamiento por menús y entrada de datos desde el panel frontal.

Funciones de adquisición/conmutación de datos:

- Exactitud, estabilidad y eliminación de ruido del multímetro de  $6\frac{1}{2}$ .
- Hasta 60 canales por instrumento (120 canales con terminación única).
- Velocidades de hasta 600 lecturas por segundo en un canal y velocidades de exploración de hasta 250 canales por segundo.
- Selección de funciones de multiplexación, matriz, conmutación de Formato C de uso general, conmutación RF, E/S digital, totalización y salida analógica de 18 bits.
- Interfaz de transporte de datos HP-IB (IEEE-488) e interfaz RS-232 (ambos estándares)
- Compatibilidad SCPI (Comandos Estándar para instrumentos Programables).



*Figura 28 Sistema de adquisición de datos*

#### 4.4.2. Keysight BenchLink Logger

El control y adquisición de datos de la instalación se realiza desde el ordenador a través de una aplicación informática de interfaz programado en el software que suministran con la tarjeta, Keysight BenchLink Data Logger. El programa permite la configuración de las características de la captura de datos como el intervalo de escaneado o las condiciones de arranque y parada de la aplicación. También permite la configuración de los canales de lectura asignándoles el tipo de variables a medir, el escalado con la ganancia y el offset en caso de precisarse y la resolución de los valores almacenados. Además incluye la posibilidad de definir unos límites para inclusión de alarmas en función de los valores capturados en el proceso de medida.

#### 4.4.3. Errores en la medida

Errores en el cableado del sistema. Los errores que se pueden cometer debido al cableado del sistema son los siguientes:

-Interferencia de radiofrecuencia. La mayoría de los instrumentos de medición de tensión pueden generar lectura falsa en presencia de señales por aparatos de radio, monitores, o teléfonos móviles. Para reducir la interferencia, se tratará de minimizar la exposición al cableado del sistema de fuentes RF de alta frecuencia.

-Ruido causado por campos magnéticos. Si se realizan mediciones cerca de campos magnéticos, se han de tomar precauciones para evitar tensiones inducidas en las conexiones de medición.

Errores en la medición de tensión cc:

-Ruido causado por corriente inyectada. Las capacitancias residuales en el transformador de energía del instrumento hacen que circulen pequeñas corrientes desde el terminal hasta la conexión de tierra.

-Errores de carga debidos a la resistencia de entrada. Los errores de carga en la medición se producen cuando la resistencia del dispositivo sometido a prueba es un porcentaje apreciable de la propia resistencia del instrumento.

-Errores de carga debidos a las corrientes de polarización de entrada. Los dispositivos semiconductores utilizados en los circuitos de entrada tienen pequeñas corrientes de pérdidas denominadas corrientes de polarización. Estas se agudizarán con el aumento de

la temperatura, por lo que se procurará mantener el sistema de adquisición de datos alejado de las altas temperaturas.

Errores de medición de tensión ca:

-Errores del factor de cresta. Debido a que las señales no son siempre senoidales, puede haber efectos adversos sobre la precisión de la medición.

-Errores de la medición de ca de bajo nivel. Las medidas de tensión de ca de menos de 100mV son susceptibles de sufrir errores producidos por fuentes de ruido exterior.

-Errores de la medición de ca de bajo nivel. Las medidas de tensión de ca de menos de 100mV son susceptibles de sufrir errores producidos por fuentes de ruido exterior.

-Errores de coeficiente de temperatura y de sobrecarga. El convertidor analógico-digital de la Keysight utiliza una técnica de medición de ca que mide y elimina de forma periódica las tensiones de desviación interna al seleccionarse una función o rangos distintos. Cuando se realiza una selección manual a un nuevo rango en una condición de sobrecarga, es posible que se degrade la medición de desviación interna para el rango seleccionado.

Errores de medición de corriente

-Errores en la medición de corriente cc. Cuando se conecta la tarjeta de adquisición de datos en serie con un circuito para medir la corriente que circula por él, se introduce un error producido por la tensión de carga.

-Error en mediciones de ca. El error que se produce en la corriente ca también se produce al medir corriente ca, sin embargo, la tensión de carga es mayor debido a la inductancia en serie del acondicionador de señal y a las conexiones de la medición. La tensión de carga aumenta también con la frecuencia de entrada.

## 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 5.1. Procedimiento del ensayo.

En este apartado se describe el procedimiento de la toma de datos. La toma de datos se realizó en el mes de agosto debido a que es uno de los meses más calurosos y soleados del año y por tanto podríamos obtener una gran producción fotovoltaica para el funcionamiento de nuestro climatizador. Además la utilización del enfriamiento evaporativo está pensado y es más efectivo (produce más ahorro) en la temporada estival. El objetivo era obtener todos los escenarios posibles para poder analizar correctamente el factor de potencia.

En el momento de llevar a cabo el ensayo, la máquina se debe encontrar en condiciones aceptables de operación. Esto es, el sistema de distribución del agua debe estar limpio y libre de materiales extraños que puedan obstruir el flujo. Los equipos mecánicos deben encontrarse en buen estado de funcionamiento. Los ventiladores deben girar en el sentido correcto. El relleno de la sección evaporativa debe estar libre de impurezas, incrustaciones, resto de aceite, alquitrán, hojarasca o algas. El nivel de agua en el recipiente de recogida de agua fría y en la bañera del panel adiabático debe ser suficiente durante el ensayo.

Se comenzó la toma de datos el día 11 de agosto de 2021 y se terminó el día 31 de agosto de 2021 desde las 8:00a.m. hasta las 8:00p.m. En el periodo de toma de datos se hicieron variaciones en la sección de enfriamiento evaporativo para que los resultados que obtuviéramos sirvieran para trabajar independientemente de ésta sección. Se tomó datos sin sección evaporativa los seis primeros días, seguidamente se hizo una toma de datos de dos días con la sección evaporativa seca, luego se realizó tomas de datos con los paneles evaporativos mojados en los cuatro siguientes días, se volvió a tomar los siguientes cinco días con los paneles secos y finalmente se volvieron a tomar datos con los últimos cuatro días con los paneles mojados.

Además de éstas variaciones, los tres primero días el analizador estuvo midiendo valores trifásicos a la entrada del compresor y el resto de los días se utilizó un cable para medir valores monofásicos a la entrada de la máquina y otro cable situados en una de las fases de entrada del compresor, dejando el tercer cable del analizador de redes sin conectar. Paralelamente el Data Logger estuvo tomando los mismos valores de

de todos los sensores anteriormente descritos. En la siguiente tabla se aprecian los distintos ensayos medidos:

FECHA	ENSAYO	OBSERVACIONES	CONEXIÓN
11/08/2021	SECOSIN		TRI-3 COMPRESOR
12/08/2021	SECOSIN		TRI-3 COMPRESOR
13/08/2021	SECOSIN		TRI-3 COMPRESOR
14/08/2021	SECOSIN	Arranque del ensayo (8:40)	TRI-4 RED.
15/08/2021	SECOSIN		TRI-4 RED
16/08/2021	SECOSIN		TRI-4 RED
17/08/2021	SECO		TRI-4 RED
18/08/2021	SECO	Medidas incompletas. El portátil ha perdido conexión con el Datalogger y el analizador de redes	TRI-4 RED
19/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
20/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
21/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
22/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
23/08/2021	SECO	Bandeja llena de agua	TRI-4 RED
24/08/2021	SECO	Bandeja llena de agua	TRI-4 RED
25/08/2021	SECO	Bandeja llena de agua	TRI-4 RED
26/08/2021	SECO	Bandeja llena de agua	TRI-4 RED
27/08/2021	SECO	Bandeja llena de agua	TRI-4 RED
28/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
29/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
30/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED
31/08/2021	MOJADO		TRI-4 RED

*Figura 29 Tabla de distintos tipos de ensayos medidos*

Las conexiones utilizadas para los ensayos fueron conexión trifásica con tres cables (TRI-3) y conexión trifásica con cuatro cables (TRI-4) como se muestra en las figuras 30 y 31.

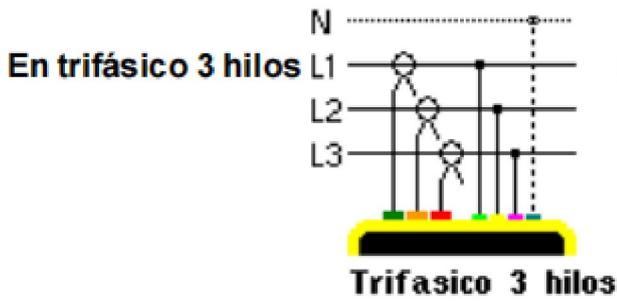


Figura 30 Configuración TRI-3

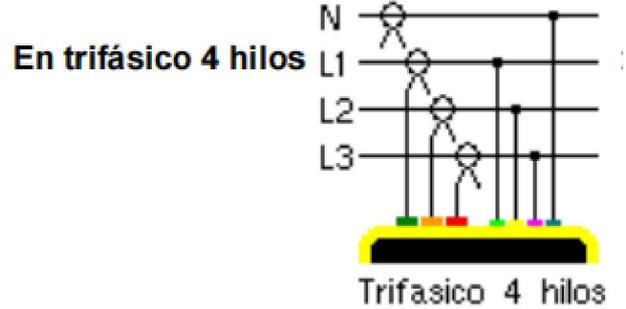


Figura 31 Configuración TRI-4

A la hora de hacer las conexiones de medida a la entrada de la máquina para medir los parámetros de la red, se utilizó la configuración tri4, se conectaron dos cables (fase y neutro) para medir la tensión e intensidad monofásica de la red, otro dos cables para medir entre dos fases del compresor. Estos datos fueron tomados simultáneamente para poder tener medida de la red y del compresor.



Figura 32 Conexión pinza amperimétrica a la red

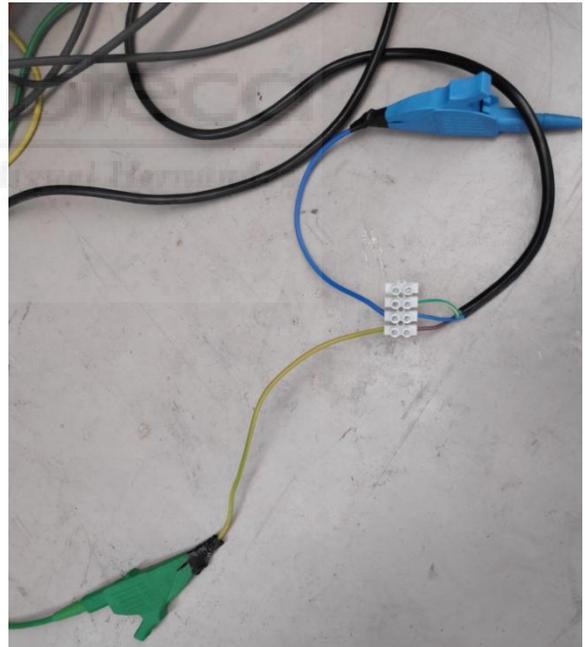


Figura 33 Conexión en paralelo a la red

Para la medida del compresor como ya se ha dicho antes se midió en trifásica con la configuración TRI-3, se tuvo que abrir por el lateral de la máquina, por la zona del compresor, se sacaron los cables para poder engancharles las pinzas amperimétricas del analizador de redes y además se sacaron tres cables en paralelo para medir tensión.

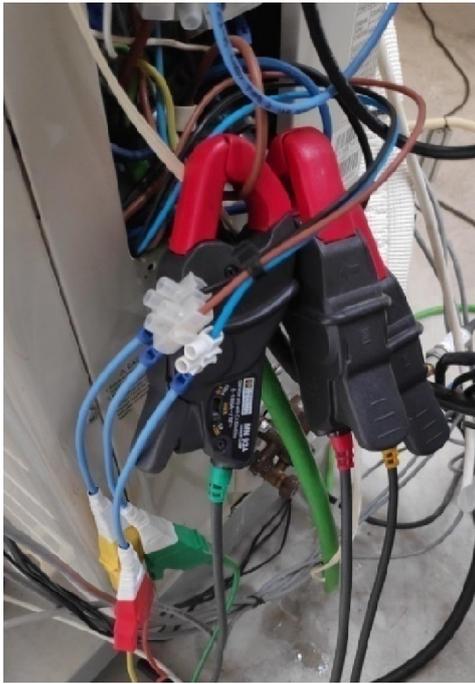


Figura 34 Conexión pinza amperimetrica compresor

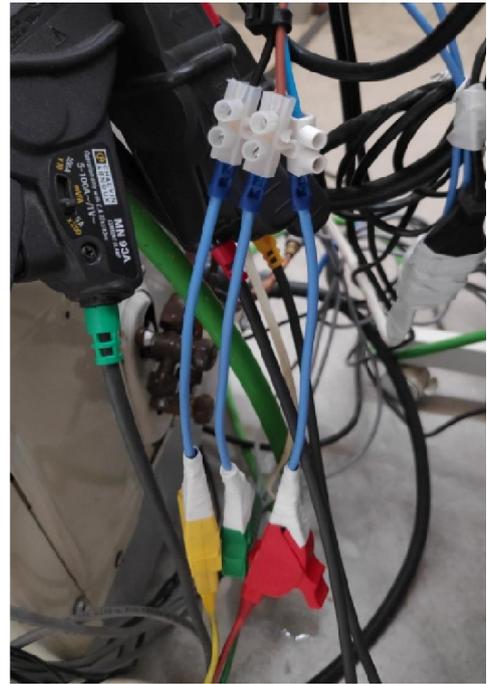


Figura 35 Conexión en paralelo compresor

## 5.2. Tratamiento de datos

Una vez realizado la toma de datos se obtuvieron dos tablas Excel, una de cada aparato de medida. Éstos datos no eran cómodos de utilizar pues el analizador de redes hace una lectura de datos cada 3 segundos por lo que en total en un día podía recoger más de 40.000 datos en una sola variable contando además con los datos recogidos con el DataLogger que hace lecturas cada 2 o 3 minutos, en este caso obteníamos unos 8.000 datos de cada variable.

Para poder realizar los ensayos estadísticos necesitábamos un número menor de datos y que el número de todas las variables medidas con los dos aparatos de medida fueran el mismo. Se hizo una agrupación de datos en una tabla. La tabla empezaba a las 8:00 a. m. e iba de 15 minutos en 15 minutos, es decir hacía un promedio desde las 8:00:00h hasta las 8:14:59h, de 8:15:00h hasta las 8:29:59h y así hasta las 19:45:59h. Un ejemplo del día 11 de cinco de las 33 variables que se obtenían en el DataLogger sería el siguiente:

Time	V RED (V)	INT RED (A)	INT PV (A)	V PV (V)	INT COMP (A)
8:00	218,4962651	3,95207172	0,696360405	27,75243365	4,385735242

8:15	218,8763868	4,419378842	0,863418721	36,17654838	5,161811401
8:30	218,6376984	4,263472876	2,099248917	35,37191767	5,199644501
8:45	218,2850393	4,143314663	3,178211706	33,61926845	5,220881666
9:00	218,9997812	4,10545047	3,427699444	33,21391556	5,22336848
9:15	220,2610017	4,110264125	3,362969141	33,33001626	5,23813276
9:30	220,4984414	3,962532139	4,562500301	32,95403268	5,254819722
9:45	219,9009513	3,985230651	4,534446419	32,61743725	5,270904958
10:00	219,6330198	3,916989905	5,101652879	32,62535936	5,278102361
10:15	218,8787704	3,979991337	4,824987206	32,30165896	5,299404783
10:30	220,066767	4,180253301	3,159745332	33,27063149	5,301692485
10:45	221,2734019	3,724094411	6,858535844	32,08737507	5,299059714
11:00	220,7275525	3,736234836	6,836538326	31,72458596	5,316984221
11:15	221,4649065	3,462010831	9,743590883	30,3624242	5,333944415
11:30	221,6726981	3,612821541	8,633810492	30,35812198	5,359236813
11:45	221,3216238	3,655001009	7,923568885	31,01417628	5,361345733
12:00	220,8578229	3,832074018	6,313105281	31,46666125	5,36411506
12:15	220,6975494	3,807749794	6,46664904	31,68321077	5,358438139
12:30	221,0014792	3,4159742	10,42755556	29,72576052	5,362410992
12:45	221,2391239	3,433325157	10,44049442	29,34328803	5,371585098
13:00	219,7586985	4,031590726	4,878604481	31,26995048	5,3741724
13:15	219,5958551	4,131339271	3,983272779	32,06753537	5,371738227
13:30	220,4565231	3,917425829	5,610319591	32,077102	5,371651329
13:45	220,9019241	3,790247376	6,820165826	31,55373566	5,365941849
14:00	222,3313667	3,296368116	11,57037152	30,14563878	5,37297483
14:15	222,4095217	3,323476682	11,46433453	29,76703027	5,376794267
14:30	222,990584	3,32244277	11,4385806	29,84611559	5,382728614
14:45	222,7333193	3,756974293	7,49389818	30,34137593	5,41370751
15:00	222,9137407	3,897432692	6,180748182	31,633051	5,440066006
15:15	222,6402206	4,219521038	3,664821667	32,53056098	5,472474557
15:30	223,258424	3,995538396	5,220236153	32,34958918	5,417597211
15:45	224,4319456	3,481904099	10,10628151	30,47377748	5,428377647
16:00	224,8026344	3,379731665	11,23466807	30,05908178	5,443332194
16:15	225,2241558	3,363904614	11,28830076	30,16016494	5,428478275
16:30	224,6278032	3,476448033	10,19909886	29,97013118	5,419455675
16:45	224,5463891	3,527442417	9,702466132	30,00867933	5,425257208
17:00	224,5150609	3,549166853	9,397338691	30,19134053	5,417049687
17:15	224,2917174	3,617043128	8,709033798	30,31352264	5,418936027
17:30	223,7368244	3,692193069	7,999146504	30,74176065	5,434051811
17:45	223,4720306	3,778072286	7,123012611	31,20180119	5,429875743
18:00	223,9585235	3,855873954	6,345514482	31,59570842	5,427917291
18:15	223,7919952	3,936266135	5,66162829	31,73979887	5,424561401
18:30	223,655112	4,023403525	4,862471733	32,37643387	5,420764527
18:45	223,4995636	4,126430698	4,037727866	32,10049525	5,413650231
19:00	222,8053263	4,240162498	3,08128186	32,62258429	5,39768254
19:15	222,5370979	4,330147854	2,34107701	33,04084685	5,386800089

19:30	222,8396473	4,420379958	1,743429053	31,01709213	5,38509322
19:45	223,0807572	4,388094327	1,196459505	31,62418342	5,260070695

Figura 36 Tabla de datos agrupados utilizados para los ensayos

### 5.3. Análisis previo a los ensayos

En este apartado vamos a analizar los datos para ver gráficamente la problemática con los datos medidos en nuestro ensayo. Primeramente se tenía claro que la potencia obtenida únicamente a través de las medidas del DataLogger no era correcta ya que solo multiplicaba tensión e intensidad para el suministro de red por lo que faltaba el factor de potencia que en la fórmula siguiente está representado como el coseno de  $\phi$ . Gracias a los datos medidos con el analizador de redes pudimos comparar estos valores de potencia con los datos de potencia del DataLogger.

$$P = I \times V \times \cos\phi$$

- **Factor de potencia del compresor:**

El día 13/08/2021, el ensayo era sin sección de enfriamiento evaporativo y midiendo en trifásica a la entrada al compresor. Podemos observar varias cosas importantes en la figura 39. Lo primero si nos fijamos, la curva verde indica la potencia activa total obtenida por el DataLogger, ésta ha sido calculada multiplicando tensión e intensidad de red y fotovoltaica y posteriormente se han sumado las potencias de red y fotovoltaica para obtener la total. La curva lila indica la potencia total medida con el analizador de redes, se puede apreciar que hay una diferencia aproximada de unos 200W, es decir, con el DataLogger se obtienen 200W de potencia más de la que realmente hay por lo que para proyectos en los que es necesario obtener datos exactos de potencia real darían lugar a errores.

Otra cosa importante es la relación entre las potencias de red y fotovoltaicas, se ve claramente cuando hay mucho aporte fotovoltaico como es en este caso, la potencia de red disminuye provocando que se consuma menos potencia de red. Esto puede ser importante para nuestro proyecto pues nuestra máquina tiene un motor inverter DC por lo que todas la energía producida por las placas fotovoltaicas no genera ningunas pérdidas. Al contrario que pasa con la energía consumida de la red, ésta viene en corriente alterna y es necesario convertirla en corriente continua produciendo pérdidas.

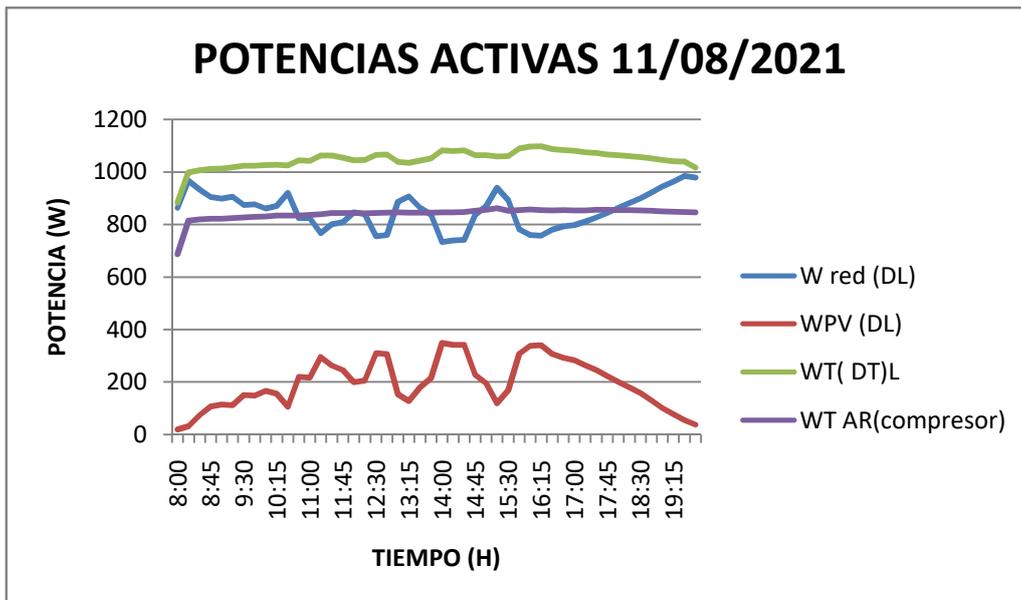


Figura 37 Gráfica de potencias activas medidas el 11 de Agosto

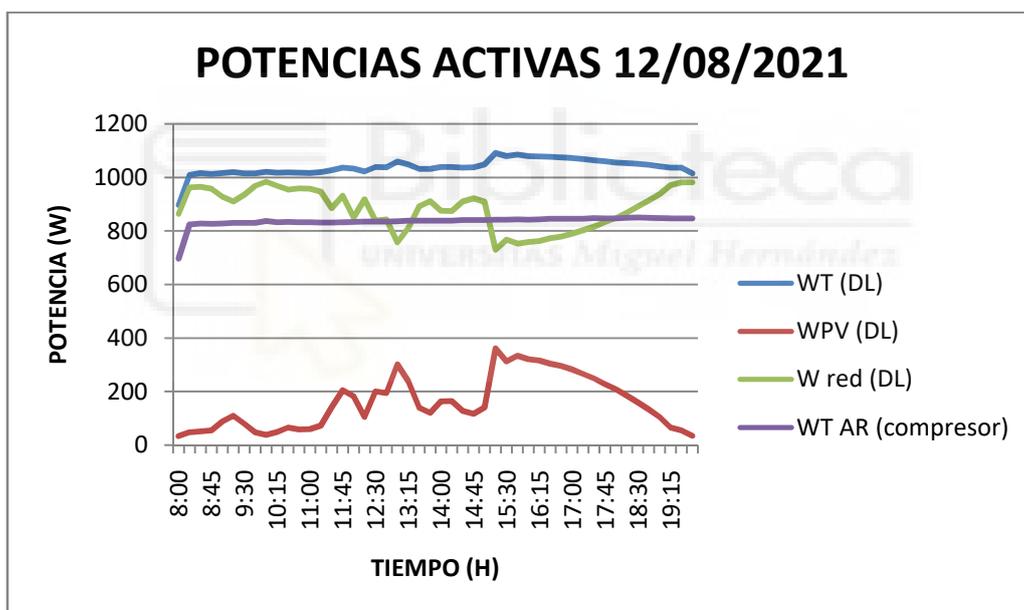


Figura 38 Gráfica de potencias activas medidas el 12 de Agosto

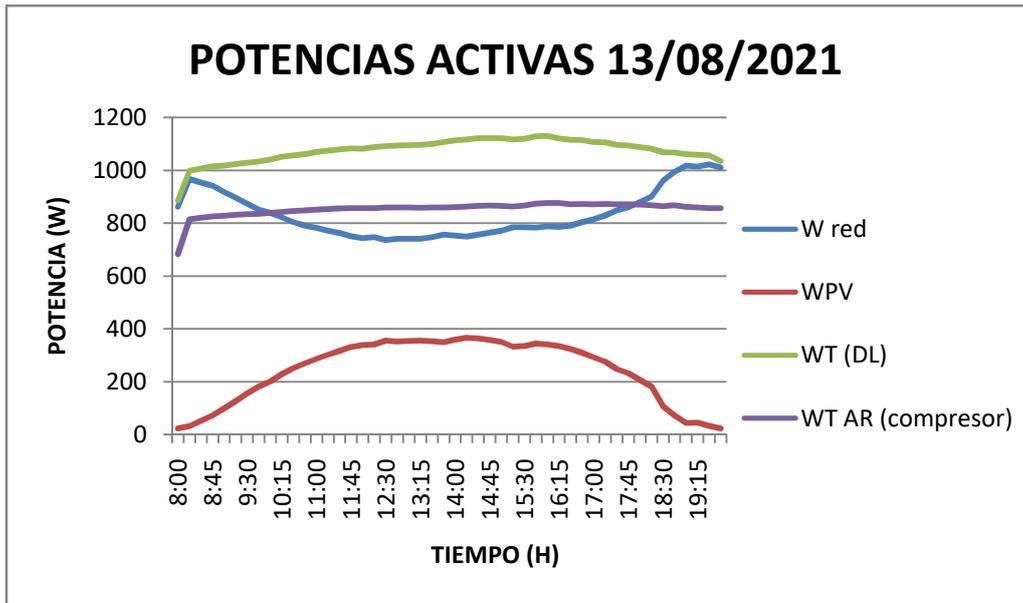


Figura 39 Gráfica de potencias activas medidas el 13 de Agosto

También podemos ver representado gráficamente en la figura 40 el factor de potencia medido el 13 de Agosto con el analizador de redes que es el que queremos modelizar. Se puede ver claramente que tiene valores distintos a lo largo del día y no se puede identificar a simple vista que es lo que provoca esas variaciones. El compresor tiene un factor de potencia entre 0.7955 y 0.7655, obteniendo durante el día variaciones de 0.03 puntos dependiendo de las condiciones.

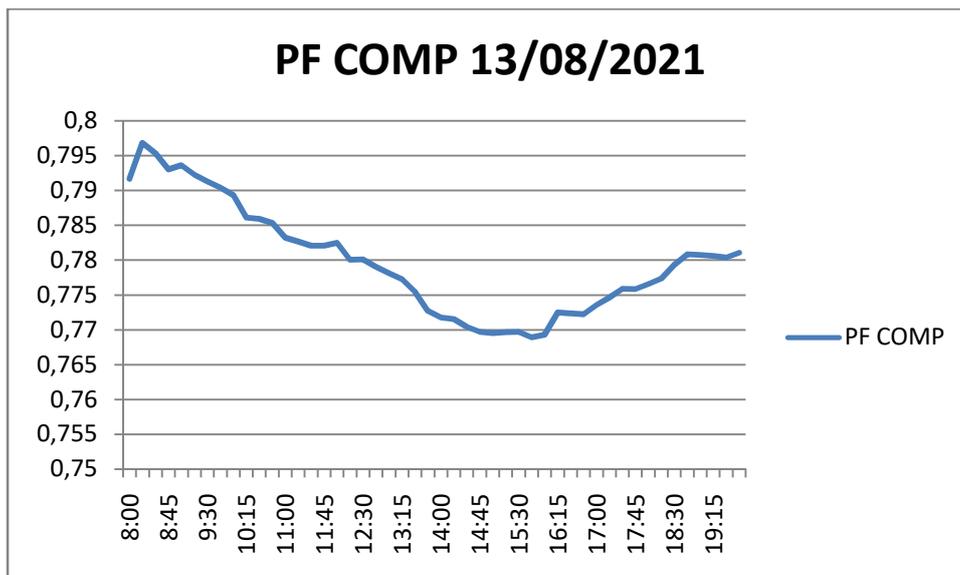


Figura 40 Gráficas de factor de potencia del compresor medido el 13 de Agosto

Estas variaciones también se pueden ver en los otros dos días medidos. Ninguna de las tres gráficas obtenidas en los tres días medidos del compresor se parecen entre ellas, cada día el factor de potencia se comporta diferente.

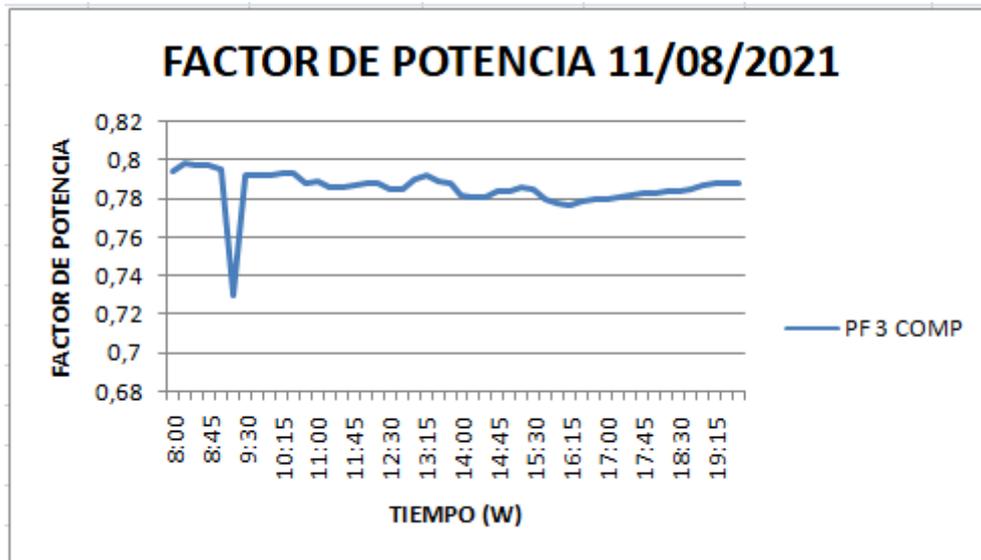


Figura 41 FP compresor medido el 11 de Agosto

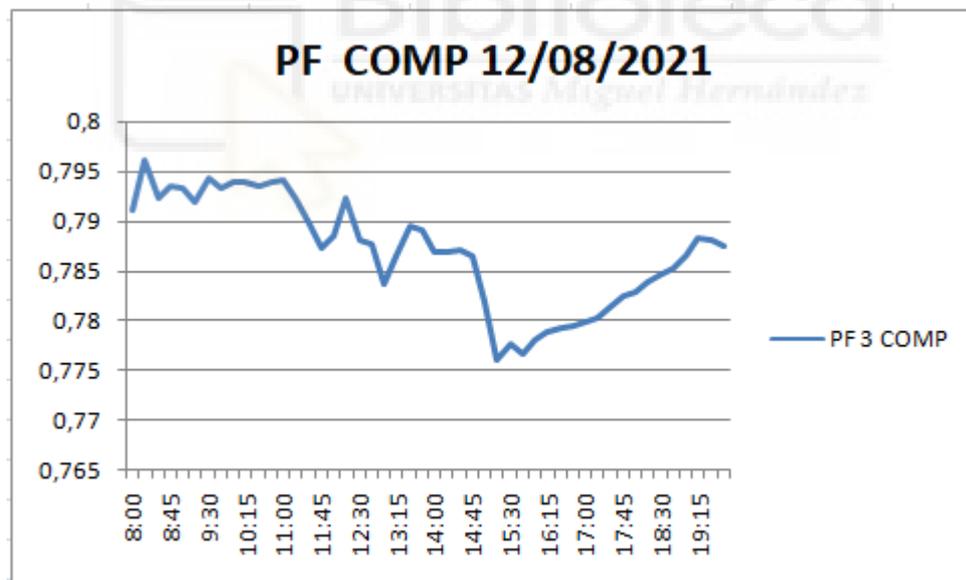


Figura 42 FP Compresor medido el 12 de Agosto

- **Factor de potencia de la red:**

Igualmente vamos a analizar los datos medidos pero en este caso para el ensayo del factor de potencia de red. El día 15 de agosto hizo un día soleado, el ensayo se realizó sin la sección evaporativa midiendo la entrada de la red y del compresor como se ha

explicado anteriormente. En este caso, a diferencia del ensayo anterior nos vamos a centrar en la potencia de red medida en vez de la total, ya que estamos pudiendo medir directamente. Como la potencia fotovoltaica no tiene pérdida, si corregimos el factor de potencia de la potencia que entra de la red obtendríamos unos valores de potencia total reales.

En la gráfica, si nos fijamos en la línea verde de potencia de red obtenida con en el Data Logger y la línea lila de potencia de red medida con el analizador de redes podemos observar que en este caso no se aprecia una gran diferencia pero aun así se nota la ausencia del factor de potencia. Se hizo una comprobación en el que se cogía la potencia de red obtenida con el Data Logger y multiplicábamos con el factor de potencia medido con el analizador de redes y obteníamos unos valores con un error muy pequeño a la potencia medida con el analizador de redes. Lo cual nos indica que los valores de tensión e intensidad son correctos, solo falta el factor de potencia.

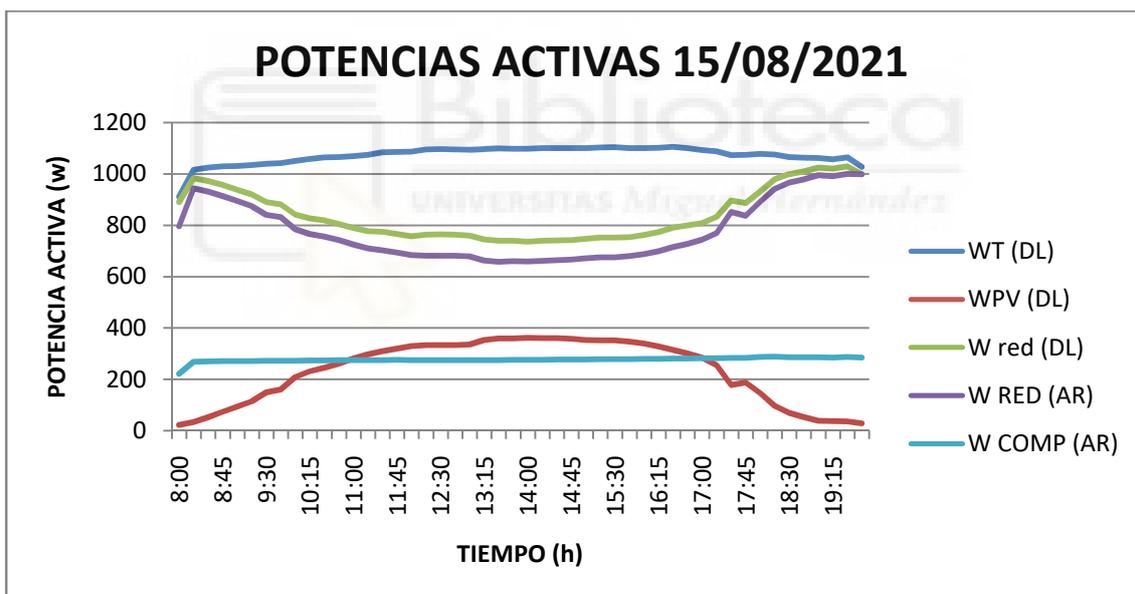


Figura 43 Gráfica de potencias activas medidas el 15 de Agosto

En la gráfica del factor de potencia de la red, se ve claramente que no sigue ningún patrón, no es lineal, no es constante, no se sabe qué influye en la variación del factor, por lo que el principal objetivo es predecir su valor mediante otra variable que influya en las variaciones.

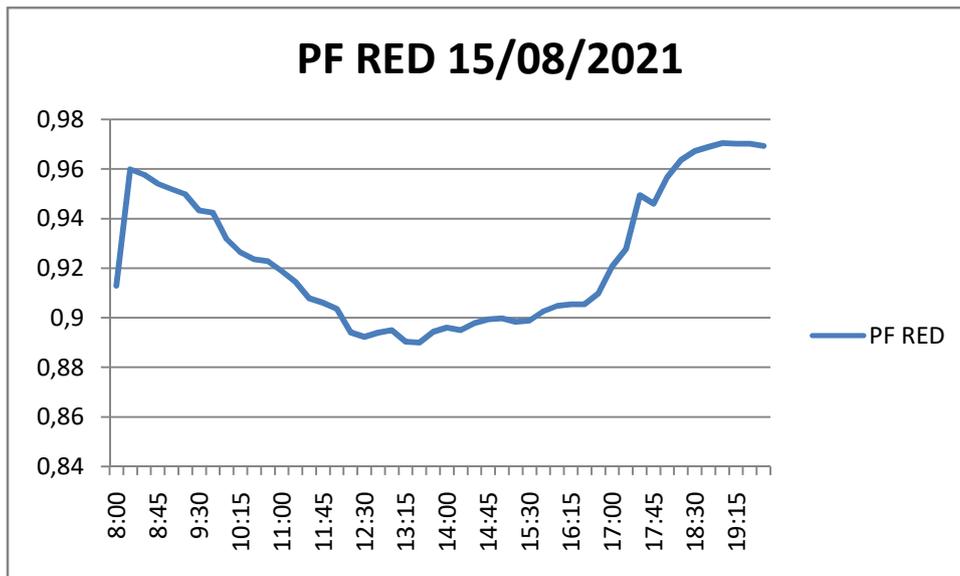


Figura 44 Gráfica de potencias medidas el día 15 de Agosto

Otra diferencia que hemos podido apreciar es que el consumo del climatizador disminuye cuando los paneles evaporativos se encuentran mojados, pero el rendimiento de la máquina empeora y es que la máquina está preparada para funcionar más eficientemente en condiciones desfavorables.

Vamos a comparar dos gráficas, una con los paneles secos y otro con los paneles mojados. Se ve una diferencia con evaporador mojado o seco, ambos días hizo un día soleado y sin embargo la potencia disminuye considerablemente. La línea azul indica la potencia total consumida por la gráfica y el día que los paneles estuvieron secos consumieron unos de 1200W mientras el día que los paneles evaporativos estuvieron mojados rondaba los 900W. Hay que tener en cuenta que estos datos son sin tener en cuenta el factor de potencia ya que para la potencia total medida con el DataLogger solo lleva tensión e intensidad multiplicadas.

Por otro lado si comparamos los factores de potencia medidos en ambos días pasa al contrario, esto es debido a que el climatizador está diseñado para trabajar sin ningún tipo de ayuda y al no trabajar al 100% de su funcionamiento el FP disminuye.

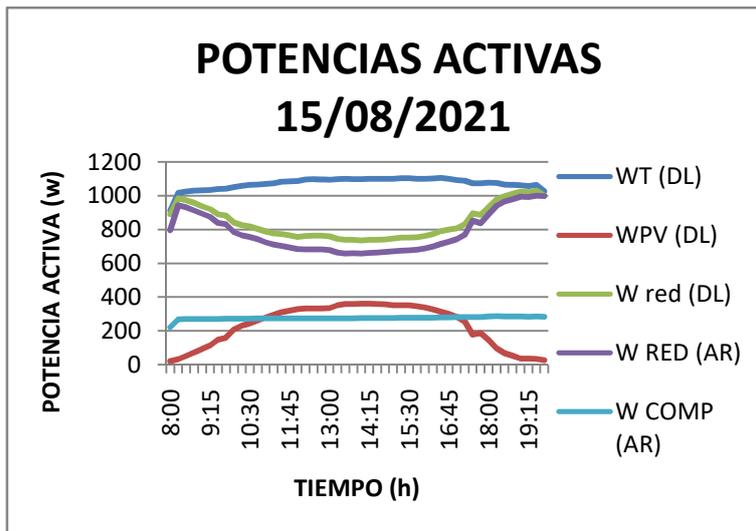


Figura 45 Potencias activas con paneles secos

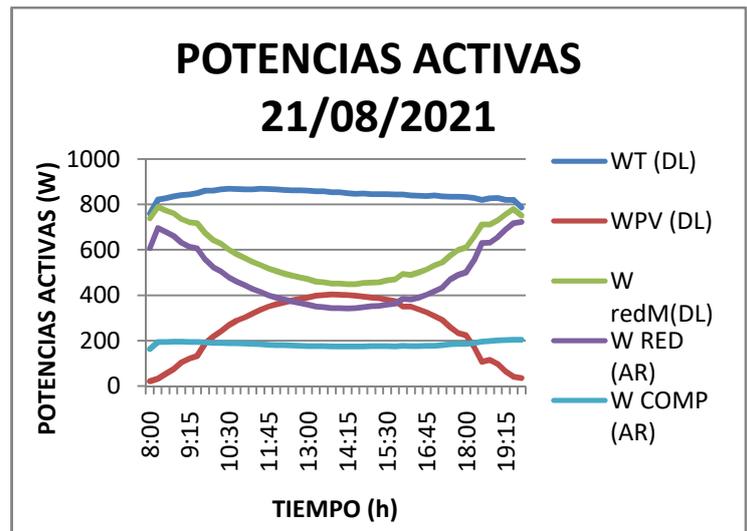


Figura 46 Potencias activas con paneles mojados

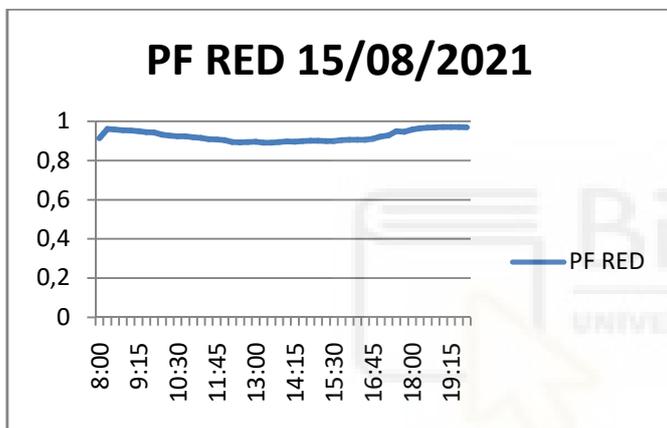


Figura 47 FP con paneles secos

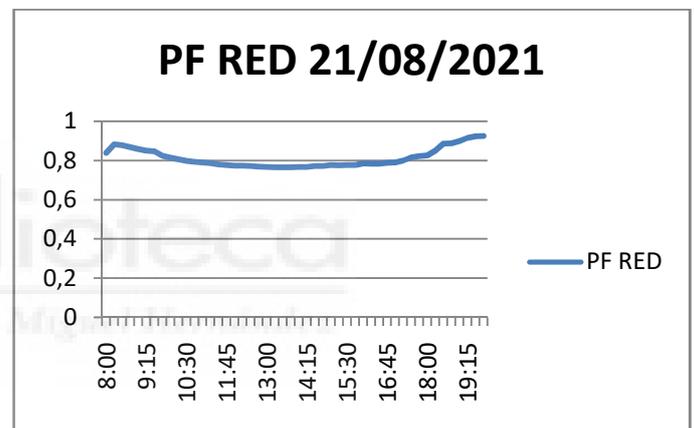


Figura 48 FP con paneles mojados

## 6. RESULTADOS

Para el proyecto se ha utilizado la aplicación **IBM SPSS Statistics**. Es una aplicación de análisis estadísticos de datos. Las siglas SPSS vienen del acrónimo en inglés Statistical Package for the Social Sciences. Con ella se han obtenido las dos modelizaciones objeto de este proyecto y por lo tanto los siguientes resultados. Para modelizar nuestros ensayos necesitamos obtener una ecuación a partir de una regresión lineal, se ha elegido esta configuración porque es la configuración más común para este tipo de datos, si no pudiéramos obtener buenos resultados podríamos probar con otras configuraciones. Para poder afirmar con seguridad que es un buen modelo elegido se tienen que cumplir los cuatro supuestos siguientes:

1. Relación lineal: entre las variables independientes y la variable dependiente.
2. Independencia: Los residuos son independientes. En particular, no existe correlación entre residuos consecutivos en datos de serie de tiempo.
3. Homocedasticidad: Los residuos tienen varianza constante en cada nivel de x.
4. Normalidad: Los residuos del modelo se distribuyen normalmente.

Si no se cumplen uno o más de estos supuestos, los resultados de nuestra regresión lineal pueden ser poco fiables.

### **6.1. Resultados del ensayo de factor de potencia de red**

El ensayo de red está realizado con datos tomados en 6 días distintos con características diferentes para obtener unos resultados lo más reales y completos posibles. Trabajaremos con 31 variables independientes obtenidas de los sensores y medidores, vamos a coger todas las variables porque no tenemos seguridad en cuál puede estar afectando a la variación del factor de potencia. Es conveniente indicar que sabemos que la mayoría de estas variables no tendrán ningún efecto en nuestro modelo, pero que aun así queremos comprobar las prestaciones del SPSS, aunque decidamos nosotros posteriormente con qué variables seguimos en el proceso de modelización.

El primer paso que hemos tomado ha sido realizar una correlación entre la variable dependiente (factor de potencia de red) y el resto de variables independientes para saber cuánto de correlacionadas están entre ellas, es decir, cuanto afecta la variación de una con respecto a la otra.

Una vez realizada la correlación de Pearson pudimos observar que había variables que no se correlacionaban nada con el factor de potencia por lo que se descartaron, es decir, la significancia salía por encima de 0.05. Las variables descartadas fueron Volt red, Irradiancia, HRAmb y Tamb. No nos sorprende que la humedad relativa, la irradiancia y la temperatura ambiente sean descartadas, podíamos intuir que no afectan a la entrada de red, pero la tensión de red si podíamos haber pensado que tal vez pudiera tener alguna relación, con el ensayo estadístico hemos podido comprobar y descartarla. En la siguiente tabla se pueden ver las correlaciones.

Correlaciones		
		PF RED
<b>Int Compresor</b>	Correlación de Pearson	,693**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Int red</b>	Correlación de Pearson	,975**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Volt red</b>	Correlación de Pearson	0,046
	Sig. (bilateral)	0,438
<b>Int PV</b>	Correlación de Pearson	-,542**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Volt PV</b>	Correlación de Pearson	,355**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- T_sal_evap</b>	Correlación de Pearson	-,289**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- T_ent_comp</b>	Correlación de Pearson	-,148*
	Sig. (bilateral)	0,012
<b>(°C)- T_sal_comp</b>	Correlación de Pearson	,660**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- T_ent_cond</b>	Correlación de Pearson	,656**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- T_sal_cond</b>	Correlación de Pearson	,700**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- T_ent_evap</b>	Correlación de Pearson	-,298**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(bar)- P1 aspcomp</b>	Correlación de Pearson	-,602**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(bar)- P2 desccomp</b>	Correlación de Pearson	,690**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(deg)- Dir Viento</b>	Correlación de Pearson	,264**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- T agua</b>	Correlación de Pearson	,656**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(Pa)- Pres_diferencial</b>	Correlación de Pearson	,264**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(m/s)- Vel viento</b>	Correlación de Pearson	-,277**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(W/m)- Irradiancia</b>	Correlación de Pearson	0,020
	Sig. (bilateral)	0,729
<b>(HR)- HRAmb</b>	Correlación de Pearson	0,023
	Sig. (bilateral)	0,696
<b>(°C)- Tamb</b>	Correlación de Pearson	-0,004
	Sig. (bilateral)	0,945
<b>(m/s)- Vel Aire</b>	Correlación de Pearson	,578**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(°C)- Temp Entrada</b>	Correlación de Pearson	,229**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>(HR)- HR Entrada</b>	Correlación de Pearson	-,140*
	Sig. (bilateral)	0,017
<b>(°C)- TempInt</b>	Correlación de Pearson	,723**

	Sig. (bilateral)	0,000
(HR)- HR Int	Correlación de Pearson	-,784**
	Sig. (bilateral)	0,000
(°C)- Temp Salida	Correlación de Pearson	,564**
	Sig. (bilateral)	0,000
(HR)- HR Salida	Correlación de Pearson	-,622**
	Sig. (bilateral)	0,000
(bar)- P3 Salida Condensa	Correlación de Pearson	,691**
	Sig. (bilateral)	0,000
(bar)- P4 Salida valvula	Correlación de Pearson	-,357**
	Sig. (bilateral)	0,000

Figura 49 Tabla de correlaciones

Una vez obtenidos los coeficientes de correlación estos datos no son suficientes, la correlación solo nos indica la asociación de variables pero no implica causalidad, para eso debemos realizar una regresión lineal.

Para realizar la regresión no sólo se utilizó la variable intensidad de red, también se probó con todas las variables para ver si alguna podía tener una importancia significativa y por lo tanto debería tenerse en cuenta. Para obtener los resultados finales se realizaron los siguientes modelos:

1° Modelo: Todas las variables

2° Modelo: Int red, Int Compresor y T\_sal\_evap

3° Modelo: Int red, Volt Red, Int PV y Volt PV

4° Modelo: Int red, Irradiancia, Temp Int y HR Int

5° Modelo: Int red, T\_ent\_comp, P1 asp comp, Dir Viento y Pres\_diferencial

6° Modelo: Int Red, T\_sal\_comp, T\_ent\_cond, T\_sal\_cond, T\_ent\_evap, P2 desc comp y Tagua

7° Modelo: Int Red, Int PV, Int Compresor, Temp int, T\_sal\_comp y T\_sal\_cond

8° Modelo: Int red, Temp Int, Int PV

9° Modelo: Temp int e Int Red

### **1° Modelo: Todas las variables**

El primer modelo realizado ha sido introducido con todas la variables que el DataLogger podía tomar, a pesar de haber descartado algunas variables, hemos decidido introducirlas todas para ver si realmente no son importantes como aparecía en la

correlación. En la imagen siguiente aparece un resumen del modelo elegido. En la parte baja aparecen todos los nombres de las variables.

Nos vamos a fijar principalmente en el R cuadrado y en el Error estándar de la estimación. El R cuadrado sale un valor bastante alto muy cercano a 1 lo cual nos indica que tenemos una predicción del 98,6% de la variación del factor de potencia de red y el resto faltante hasta el 100% se deben a otras variables no consideradas. Fijándonos ahora en el Error estándar de la estimación hemos obtenido un valor de 0.0077851577 esto nos indica que el modelo utilizado es bueno, ya que el error que obtendríamos sería de un 0.77% por lo que nos serviría y podríamos aceptar el modelo como válido, pero sería conveniente reducir el número de variables y hacerlo lo más simple posible para un mejor manejo.

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,993 <sup>a</sup>	,986	,985	,0077851577

a. Predictores: (Constante), (bar)- P4 Salida valvula, Volt PV, Volt red, Int Compresor, (m/s)- Vel viento, (Pa)- Pres\_diferencial, (W/m)- Irradiancia, (°C)- TP\_sal\_evap, (deg)- Dir Viento, Int PV, (°C)- Tamb, (HR)- HR Entrada, (°C)- T agua, (HR)- HRAmb, (°C)- T\_sal\_comp, (m/s)- Vel Aire, (HR)- HR Int, (°C)- Temp Salida, Int red, (°C)- Temp Entrada, (°C)- Temp Int, (°C)- T\_ent\_evap, (°C)- T\_ent\_comp, (°C)- T\_sal\_cond, (HR)- HR Salida, (°C)- TP\_ent\_evap, (bar)- P2 desc comp, (bar)- P1 asp comp, (°C)- T\_sal\_evap

*Figura 50 Resumen del 1° Modelo*

La siguiente tabla que se obtiene del modelo es ANOVA. En esta tabla nos vamos a fijar en el valor de F y la significancia. Anova reporta una estadística F significativa, lo que indica que usar el modelo es mejor que adivinar la media. Si la mejora debida al ajuste del modelo de regresión es mucho mayor a la inexactitud dentro del modelo entonces el valor de F será mayor que 1. En nuestro caso el valor de F es 643.501, esto nos indica que es muy poco probable que haya sucedido por casualidad siendo este valor estadísticamente significativo.

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,131	29	,039	643,501	<,001 <sup>b</sup>
	Residuo	,016	258	,000		
	Total	1,147	287			

a. Variable dependiente: PF RED

b. Predictores: (Constante), (bar)- P4 Salida valvula, Volt PV, Volt red, Int Compresor, (m/s)- Vel viento, (Pa)- Pres\_diferencial, (W/m)- Irradiancia, (°C)- TP\_sal\_evap, (deg)- Dir Viento, Int PV, (°C)- Tamb, (HR)- HR Entrada, (°C)- T agua, (HR)- HRAmb, (°C)- T\_sal\_comp, (m/s)- Vel Aire, (HR)- HR Int, (°C)- Temp Salida, Int red, (°C)- Temp Entrada, (°C)- Temp Int, (°C)- T\_ent\_evap, (°C)- T\_ent\_comp, (°C)- T\_sal\_cond, (HR)- HR Salida, (°C)- TP\_ent\_evap, (bar)- P2 desc comp, (bar)- P1 asp comp, (°C)- T\_sal\_evap

*Figura 51 Tabla ANOVA 1º Modelo*

En la tabla de los coeficientes podemos ver más detalladamente cómo afecta cada variable independiente y ver si se puede descartar alguna y para así ir reduciendo el número de variables. La primera variable que nos vamos a fijar es la de coeficientes estandarizados. Los coeficientes estandarizados se obtienen ejecutando un modelo de regresión lineal en la forma estandarizada de las variables, es decir no representan sus escalas originales puesto que no disponen de unidad, así es más fácil de distinguir que variable está haciendo un aporte al modelo y cual no. El segundo coeficiente importante es la significancia con este dato sabemos si hace alguna aportación estadísticamente significativa. Finalmente nos fijaremos en la t y la tolerancia. La t nos indica si el predictor está haciendo una contribución al modelo y la tolerancia debe estar por encima de 0.2 para que no haya problema en el modelo.

### Coeficientes<sup>a</sup>

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t
		B	Desv. Error	Beta	
1	(Constante)	-2,094	,557		-3,761
	Int red	,012	,013	,143	,971
	Int Compresor	,230	,065	1,495	3,536
	Volt red	6,946E-13	,000	,001	,188
	Int PV	-,004	,002	-,246	-2,326
	Volt PV	,001	,001	,038	1,994
	(°C)- T_sal_evap	-,146	,050	-2,084	-2,886
	(°C)- T_ent_comp	,038	,019	,537	1,997
	(°C)- T_sal_comp	-,007	,002	-,799	-2,714
	(°C)- T_sal_cond	,006	,008	,275	,723
	(°C)- T_ent_evap	,030	,017	,608	1,816
	(bar)- P1 asp comp	,300	,107	1,922	2,796
	(bar)- P2 desc comp	,000	,023	,010	,015
	(deg)- Dir Viento	9,262E-6	,000	,008	,548
	(°C)- T agua	-,004	,001	-,233	-3,775
	(Pa)- Pres_diferencial	,107	,010	,600	10,962
	(m/s)- Vel viento	-,001	,001	-,027	-2,055
	(W/m)- Irradiancia	2,986E-39	,000	,003	,222
	(HR)- HRAmb	,000	,000	,046	1,028
	(°C)- TP_sal_evap	,075	,043	1,099	1,743
	(°C)- TP_ent_evap	-,118	,026	-2,738	-4,523
	(°C)- Tamb	-,001	,001	-,067	-1,476
	(m/s)- Vel Aire	,144	,021	,977	6,837
	(°C)- Temp Entrada	,006	,007	,160	,895
	(HR)- HR Entrada	-,001	,002	-,076	-,457
	(°C)- Temp Int	,019	,005	1,165	3,677
	(HR)- HR Int	,004	,002	1,379	2,452
	(°C)- Temp Salida	-,003	,008	-,107	-,379
	(HR)- HR Salida	-,001	,003	-,108	-,303
	(bar)- P4 Salida valvula	,045	,090	,254	,504

*Figura 52 Primera parte tabla de coeficientes*

Modelo		Sig.	Correlaciones			Estadísticas de colinealidad
			Orden cero	Parcial	Parte	
1	(Constante)	<,001				
	Int red	,332	,975	,060	,007	,002
	Int Compresor	<,001	,693	,215	,026	,000
	Volt red	,851	,046	,012	,001	,924
	Int PV	,021	-,542	-,143	-,017	,005
	Volt PV	,047	,355	,123	,014	,149
	(°C)- T_sal_evap	,004	-,289	-,177	-,021	,000
	(°C)- T_ent_comp	,047	-,148	,123	,015	,001
	(°C)- T_sal_comp	,007	,660	-,167	-,020	,001
	(°C)- T_sal_cond	,470	,700	,045	,005	,000
	(°C)- T_ent_evap	,071	-,298	,112	,013	,000
	(bar)- P1 asp comp	,006	-,602	,171	,020	,000
	(bar)- P2 desc comp	,988	,690	,001	,000	,000
	(deg)- Dir Viento	,584	,264	,034	,004	,238
	(°C)- T agua	<,001	,656	-,229	-,027	,014
	(Pa)- Pres_diferencial	<,001	,264	,564	,080	,018
	(m/s)- Vel viento	,041	-,277	-,127	-,015	,306
	(W/m)- Irradiancia	,824	,020	,014	,002	,278
	(HR)- HRAmb	,305	,023	,064	,007	,027
	(°C)- TP_sal_evap	,083	-,310	,108	,013	,000
	(°C)- TP_ent_evap	<,001	-,308	-,271	-,033	,000
	(°C)- Tamb	,141	-,004	-,092	-,011	,025
	(m/s)- Vel Aire	<,001	,578	,392	,050	,003
	(°C)- Temp Entrada	,371	,229	,056	,007	,002
	(HR)- HR Entrada	,648	-,140	-,028	-,003	,002
	(°C)- Temp int	<,001	,723	,223	,027	,001
	(HR)- HR Int	,015	-,784	,151	,018	,000
	(°C)- Temp Salida	,705	,564	-,024	-,003	,001
	(HR)- HR Salida	,762	-,622	-,019	-,002	,000
	(bar)- P4 Salida valvula	,614	-,357	,031	,004	,000

Figura 53 Segunda parte tabla de coeficientes

Una vez obtenidos los datos hemos visto que la intensidad aunque tenía un coeficiente de Pearson alto cuando hemos realizado la regresión apenas destacaba frente a las otras variables. Vamos a realizar un 2º modelo en el cual introduciremos primero la

intensidad de red y luego añadiremos por pasos alguna variable al azar para ver si mejora o no el modelo y si podríamos hacer algún descarte.

**2ºModelo: Int red, Int Compresor y Tsal evap**

En el segundo modelo se van introducir las variables Int red, Int Compresor y Tsal evap introducidas por pasos. Al introducir el modelo por pasos, el modelo se divide en tres, por que se van introduciendo variables cada vez para comprobar cómo afecta cada variable por separado.

En el modelo 1 está introducida la intensidad de red como se puede ver sale un R cuadrado de 0.951 no está mal pero si nos vamos al error de estimación vemos que ha aumentado frente al 0.0077 que obteníamos con todas la variables, esto nos indica que hace un aporte significativo pero podríamos combinarla con otra variable para ajustar el valor del error.

En el siguiente modelo, el 2 vemos que se añade la intensidad del compresor y el R cuadrado aumenta pero no llegamos a obtener los resultados buscados. Por último en el modelo 3 se introduce la temperatura de salida del evaporizador, pero podemos descartar la variable al tener un valor de significancia por encima de 0.05.

Resumen del modelo <sup>d</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			
						Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001
2	,984 <sup>b</sup>	,968	,968	,0113828077	,017	147,214	1	285	<,001
3	,984 <sup>c</sup>	,968	,968	,0113640119	,000	1,944	1	284	,164

a. Predictores: (Constante), Int red  
 b. Predictores: (Constante), Int red, Int Compresor  
 c. Predictores: (Constante), Int red, Int Compresor, (°C)- T\_sal\_evap  
 d. Variable dependiente: PF RED

*Figura 54 Resumen del 2º modelo*

### **3º Modelo: Int red, Volt Red, Int PV y Volt PV**

Realizamos un tercer modelo en el que vamos a seguir manteniendo la intensidad de red pero vamos a probar a añadir la tensión de red, la intensidad fotovoltaica y la tensión fotovoltaica. Mirando por encima vemos que las dos tensiones, tanto la de red como la de fotovoltaica tienen significancia estadística por encima de 0.05 por lo que quedan descartadas. Si nos fijamos ahora en la intensidad fotovoltaica obtenemos unos resultados a la intensidad del compresor pero no llega a ser los resultados buscados.

Resumen del modelo <sup>e</sup>										
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F	
						Cambio en F	gl1	gl2		
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001	
2	,975 <sup>b</sup>	,951	,951	,0139902104	,000	1,121	1	285	,291	
3	,984 <sup>c</sup>	,969	,969	,0112014587	,018	160,574	1	284	<,001	
4	,984 <sup>d</sup>	,969	,968	,0112202019	,000	,052	1	283	,820	

a. Predictores: (Constante), Int red  
b. Predictores: (Constante), Int red, Volt red  
c. Predictores: (Constante), Int red, Volt red, Int PV  
d. Predictores: (Constante), Int red, Volt red, Int PV, Volt PV  
e. Variable dependiente: PF RED

Figura 55 Resumen del 3º Modelo

### **4º Modelo: Int red, Irradiancia, Temp Int y HR Int**

En este cuarto modelo vamos a probar con tres variables que no son eléctricas para ver si puede afectar a nuestro modelo. Hemos elegido la irradiancia, la temperatura de la etapa intermedia y la humedad relativa. De primeras podemos descartar la irradiancia y la humedad relativa por tener una significancia por encima de 0.05, esto indica que aceptamos la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis del investigador, que es la que buscamos. Sin embargo la temperatura de la etapa intermedia obtiene un error de estimación mucho más cercano al valor buscado, la R cuadrado también ha aumentado y la significancia acepta nuestra modelo.

Resumen del modelo <sup>e</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001
2	,975 <sup>b</sup>	,951	,951	,0140163755	,000	,054	1	285	,817
3	,986 <sup>c</sup>	,972	,972	,0105664697	,021	217,483	1	284	<,001
4	,986 <sup>d</sup>	,972	,972	,0105733496	,000	,631	1	283	,428

a. Predictores: (Constante), Int red  
b. Predictores: (Constante), Int red, (W/m)- Irradiancia  
c. Predictores: (Constante), Int red, (W/m)- Irradiancia, (°C)- Temp Int  
d. Predictores: (Constante), Int red, (W/m)- Irradiancia, (°C)- Temp Int, (HR)- HR Int  
e. Variable dependiente: PF RED

Figura 56 Resumen del 4° Modelo

### 5° Modelo: Int red, T ent comp, P1 asp comp, Dir Viento y Pres diferencial

Vamos a probar un quinto ensayo con otras variables distintas que creo que puedan aportar algo al modelo final. En este ensayo hemos cogido las variables de temperatura entrada al compresor, Presión de aspiración del compresor, dirección del viento y presión diferencial. Como podemos ver en el resumen del modelo no se ninguna variación en el error estándar ni en el R cuadrado por lo que no está aportando una mejora al modelo por tanto descartamos todas las variables.

Resumen del modelo <sup>f</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001
2	,976 <sup>b</sup>	,953	,952	,0137986952	,002	9,118	1	285	,003
3	,977 <sup>c</sup>	,954	,953	,0136859421	,001	5,715	1	284	,017
4	,977 <sup>d</sup>	,955	,954	,0135249568	,001	7,801	1	283	,006
5	,977 <sup>e</sup>	,955	,954	,0135443786	,000	,189	1	282	,664

a. Predictores: (Constante), Int red  
b. Predictores: (Constante), Int red, (°C)- T\_ent\_comp  
c. Predictores: (Constante), Int red, (°C)- T\_ent\_comp, (bar)- P1 asp comp  
d. Predictores: (Constante), Int red, (°C)- T\_ent\_comp, (bar)- P1 asp comp, (deg)- Dir Viento  
e. Predictores: (Constante), Int red, (°C)- T\_ent\_comp, (bar)- P1 asp comp, (deg)- Dir Viento, (Pa)- Pres\_diferencial  
f. Variable dependiente: PF RED

Figura 57 Resumen del 5° Modelo

### **6°Modelo: Int Red, T sal comp, T ent cond, T sal cond, T ent evap, P2 desc comp y Tagua**

El sexto modelo va a llevar las variables restantes. Se ha introducido la temperatura a la salida del compresor, la temperatura a la entrada al condensador, temperatura a la salida del condensador, temperatura a la entrada del evaporizador, presión desc del compresor y la temperatura del agua. En el resumen del modelo podemos ver varias cosas interesantes. El modelo 2 disminuye el error estándar de la estimación, además aumenta el R cuadrado por lo que podemos aceptar la variable de temperatura a la salida del compresor. También podemos ver fijándonos en la significancia que el modelo 4 también cumple la hipótesis y además el error estándar disminuye considerablemente por lo que la temperatura a la salida del condensador también puede ser importante. El resto no cumple la hipótesis del investigador al tener una significancia por encima de 0.05, se descartan.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001
2	,983 <sup>b</sup>	,967	,967	,0114789817	,016	140,002	1	285	<,001
3	,983 <sup>c</sup>	,967	,967	,0114986213	,000	,027	1	284	,869
4	,986 <sup>d</sup>	,973	,973	,0104742780	,006	59,264	1	283	<,001
5	,987 <sup>e</sup>	,973	,973	,0104295661	,000	3,432	1	282	,065
6	,987 <sup>f</sup>	,974	,973	,0103898323	,000	3,161	1	281	,076
7	,987 <sup>g</sup>	,974	,973	,0104078970	,000	,025	1	280	,873

a. Predictores: (Constante), Int red  
b. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- T\_sal\_comp  
c. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- T\_sal\_comp, (\*C)- T\_ent\_cond  
d. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- T\_sal\_comp, (\*C)- T\_ent\_cond, (\*C)- T\_sal\_cond  
e. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- T\_sal\_comp, (\*C)- T\_ent\_cond, (\*C)- T\_sal\_cond, (\*C)- T\_ent\_evap  
f. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- T\_sal\_comp, (\*C)- T\_ent\_cond, (\*C)- T\_sal\_cond, (\*C)- T\_ent\_evap, (bar)- P2 desc comp  
g. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- T\_sal\_comp, (\*C)- T\_ent\_cond, (\*C)- T\_sal\_cond, (\*C)- T\_ent\_evap, (bar)- P2 desc comp, (\*C)- T agua  
h. Variable dependiente: PF RED

Figura 58 Resumen del 6° Modelo

### **7°Modelo: Int Red, Int PV, Int Compresor, Temp int, T sal comp y T sal cond**

En este modelo vamos a introducir todas las variables que han aportado mejoras en los modelos anteriores, para ver realmente si son importantes o no. Vamos a introducir la intensidad fotovoltaica, la intensidad del compresor, la temperatura en la etapa

intermedia de la máquina, la temperatura a la salida del compresor y la temperatura a la salida del condensador.

Una vez realizado el modelo podemos ver que no todas las variables valen. Vamos a ir descartando variables hasta quedarnos con las importantes. Las variables que vamos a eliminar son la intensidad del compresor, la temperatura a la salida del compresor y la temperatura a la salida del condensador porque todas tienen un valor de significancia por encima de 0.05 por lo que tenemos que rechazar la hipótesis del investigador. Vamos a volver a realizar el ensayo con las variables finales para ver si cumple o tendríamos que eliminar alguna más.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001
2	,984 <sup>b</sup>	,969	,969	,0111995683	,018	161,473	1	285	<,001
3	,984 <sup>c</sup>	,969	,969	,0112160292	,000	,164	1	284	,686
4	,986 <sup>d</sup>	,973	,973	,0104708819	,004	42,859	1	283	<,001
5	,987 <sup>e</sup>	,973	,973	,0104225137	,000	3,633	1	282	,058
6	,987 <sup>f</sup>	,973	,973	,0104383108	,000	,147	1	281	,702

a. Predictores: (Constante), Int red  
b. Predictores: (Constante), Int red, Int PV  
c. Predictores: (Constante), Int red, Int PV, Int Compresor  
d. Predictores: (Constante), Int red, Int PV, Int Compresor, (°C)- Temp Int  
e. Predictores: (Constante), Int red, Int PV, Int Compresor, (°C)- Temp Int, (°C)- T\_sal\_comp  
f. Predictores: (Constante), Int red, Int PV, Int Compresor, (°C)- Temp Int, (°C)- T\_sal\_comp, (°C)- T\_sal\_cond

Figura 59 Resumen del 7º Modelo

### **8º Modelo: Int red, Temp Int, Int PV**

En el octavo modelo vamos a correr las siguientes variables: Int red, Temp int e Int PV. Analizando el resumen del modelo vemos que todas las variables son estadísticamente significativas, aunque unas más que otras. Para no dificultar el modelo y sacar una fórmula de regresión lo más sencilla posible vamos a quedarnos sólo con las variables de intensidad de red y temperatura en la etapa intermedia de la máquina, ambas disminuyen significativamente al error, obteniendo un 1% de error en la estimación lo cual es bastante acercado a lo que buscábamos. Por otra parte hemos optado por descartar la intensidad fotovoltaica por qué no disminuía apenas el error de estimación comparada con las otras, entonces no tiene un aporte tan significativo como las otras.

Resumen del modelo <sup>d</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,951	,0139931659	,951	5570,161	1	286	<,001
2	,986 <sup>b</sup>	,972	,972	,0105689431	,021	216,343	1	285	<,001
3	,986 <sup>c</sup>	,973	,973	,0104627072	,001	6,817	1	284	,010

a. Predictores: (Constante), Int red  
b. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- Temp Int  
c. Predictores: (Constante), Int red, (\*C)- Temp Int, Int PV  
d. Variable dependiente: PF RED

Figura 60 Resumen del 8º Modelo

### 9º Modelo: Temp int e Int Red

En el noveno modelo vamos a introducir las dos variables elegidas finales, aunque posteriormente vamos a probar con estas dos variables diferentes formas para ver cuál es la más conveniente.

En el resumen del modelo podemos ver que el R cuadrado también conocido como coeficiente de determinación, obtenemos un 0.972, es decir, podemos explicar un 97.2% de la variación del factor de potencia con un modelo de regresión lineal múltiple. No nos podemos guiar solo del R cuadrado al hacer nuestro modelo pues el R cuadrado tiene sus limitaciones. R cuadrado no indica si un modelo de regresión es adecuado. Para ello debemos fijarnos en el Error estándar de la estimación, en él podemos medir la precisión con la que el modelo estima el valor desconocido del coeficiente. En caso obtenemos un valor de 0.0105689431, por lo que podemos afirmar que el modelo se ajusta bien.

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,986 <sup>a</sup>	,972	,972	,0105689431	,972	4990,270	2	285	<,001

a. Predictores: (Constante), (\*C)- Temp Int, Int red  
b. Variable dependiente: PF RED

Figura 61 Resumen del 9º Modelo

En la tabla de coeficientes observamos en los coeficientes estandarizados el aporte que hace cada variable, podemos ver que ambas variables son estadísticamente significativas y los valores de t nos indica si el predictor está haciendo una contribución al modelo.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Desv. Error	Beta			Orden cero	Parcial	Parte
1	(Constante)	,544	,005		108,835	<,001			
	Int red	,074	,001	,859	67,974	<,001	,975	,971	,671
	(*C)- Temp Int	,003	,000	,186	14,709	<,001	,723	,657	,145

a. Variable dependiente: PF RED

Para confirmar y asegurarnos que este es el mejor modelo, se han realizado modelos independientemente con las dos variables elegidas modificadas para ver si mejora o no el modelo.

- A) Int red y Temp Int
- B) Int red<sup>2</sup> y Temp Int
- C) Int red y Temp Int<sup>2</sup>
- D) Int red<sup>2</sup> y Temp Int<sup>2</sup>
- E) Int red\*Temp Int

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,986 <sup>a</sup>	,972	,972	,0105689431	,972	4990,270	2	285	<,001

a. Predictores: (Constante), (\*C)- Temp Int, Int red  
b. Variable dependiente: PF RED

Figura 62 Resumen del modelo A

**B)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,973 <sup>a</sup>	,946	,946	,0146859344	,946	2515,848	2	285	<,

a. Predictores: (Constante), (\*C)- Temp Int, Int red<sup>2</sup>  
b. Variable dependiente: PF RED

*Figura 63 Resumen del modelo B*

**C)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,986 <sup>a</sup>	,973	,972	,0105054217	,973	5052,529	2	285	<,001

a. Predictores: (Constante), Tem int<sup>2</sup>, Int red  
b. Variable dependiente: PF RED

*Figura 64 Resumen del modelo C*

**D)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,973 <sup>a</sup>	,947	,947	,0145611911	,947	2561,590	2	285	<,001

a. Predictores: (Constante), Int red<sup>2</sup>, Tem int<sup>2</sup>  
b. Variable dependiente: PF RED

*Figura 65 Resumen del modelo D*

**E)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,966 <sup>a</sup>	,933	,933	,0163758618	,933	3989,989	1	286	<,001

a. Predictores: (Constante), Int red\*Temp int  
b. Variable dependiente: PF RED

*Figura 66 Resumen del modelo E*

El tercer modelo mejora los resultados del error estándar de la estimación, por lo que se va a elegir esta opción como la más adecuada. En la tabla de coeficientes podemos ver el aporte que hace cada variable en los coeficientes podemos ver el aporte que hace cada variable en los coeficientes estandarizados. La significancia cumple la hipótesis del investigador y en los coeficientes estandarizados podemos obtener la fórmula final.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	,587	,003		185,043	<,001
	Int red	,075	,001	,862	69,590	<,001
	Tem int^2	5,307E-5	,000	,185	14,914	<,001

a. Variable dependiente: PF RED

*Figura 67 Tabla de coeficientes finales*

$$PF_{red} = 0.587 + 0.075 \times Int\ red + 0.00005307 \times Temp\ int^2$$

En esta ecuación la intensidad de red se expresa en amperios (A) y la temperatura intermedia en grados Celsius (°C).

## 6.2. Resultados del ensayo de factor de potencia del compresor

El ensayo de factor de potencia del compresor está realizado con datos tomados en tres días. Se va a proceder de la misma manera. En este caso tenemos datos trifásicos pero hemos analizado que las fases obtienen valores de potencia parecidos por lo que podríamos trabajar como si fuera monofásico y posteriormente multiplicar por 3 para obtener los datos de potencia reales. De esta forma con la intensidad medida en el compresor, la tensión de red y el factor de potencia que modelicemos, obtendríamos la potencia de una sola fase. Para obtener una potencia total habría que multiplicar por 3.

El primer paso va ser realizar una correlación de Pearson para ver como de relacionadas están las variables con respecto a el factor de potencia del compresor.

Una vez realizado el ensayo vemos que todas las variables tienen valores muy altos por lo que indican que están bien correlacionadas, pero en particular la variable de tensión de red en la que tiene el mayor valor con un coeficiente de -0.926 el valor negativo no afecta, solo nos indica que tiene una correlación negativa, es decir que cuando una variable aumenta la otra disminuye. Si fuera positiva como en el ensayo anterior cuando una variable aumenta la otra aumentaría también.

<b>Correlaciones</b>		
		<b>PF 3 COMP</b>
<b>Int Compresor 1</b>	Correlación de Pearson	-,475**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>V red 2</b>	Correlación de Pearson	-,763**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Int red 2</b>	Correlación de Pearson	,569**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Int PV 2</b>	Correlación de Pearson	-,615**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>V PV 2</b>	Correlación de Pearson	,535**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>T_sal_evap (°c)</b>	Correlación de Pearson	-,563**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>T_ent_comp (°c)</b>	Correlación de Pearson	-,609**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>T_sal_comp(°c)</b>	Correlación de Pearson	-,340**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>T_ent_cond (°c)</b>	Correlación de Pearson	-,354**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>T_sal_cond (°c)</b>	Correlación de Pearson	-,635**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>T_ent_evap (°c)</b>	Correlación de Pearson	-,479**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>P1 aspcomp (bar)</b>	Correlación de Pearson	-,390**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>P2 desccomp (bar)</b>	Correlación de Pearson	-,559**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Dir Viento(deg)</b>	Correlación de Pearson	,200*
	Sig. (bilateral)	0,016
<b>T agua (°c)</b>	Correlación de Pearson	-,632**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Pres_difere (Pa)</b>	Correlación de Pearson	,689**
	Sig. (bilateral)	0,000
<b>Vel viento (m/s)</b>	Correlación de Pearson	-,351**
	Sig. (bilateral)	0,000

Figura 68 Tabla de correlaciones

A continuación vamos a realizar los siguientes modelos:

1ºModelo: Todas las variables

2ºModelo: V red, T\_ent\_evap, Temp Entrada, T\_ent\_comp, Temp Int

3ºModelo: V red, P4 Salida Válvula, HR Salida, Temp Salida, HR Int

4ºModelo: Vred, HR Entrada, Vel Aire, Tamb, HRAmb

5ºModelo: Vred, Vel viento, Pres\_diferencial, T agua, Dir Viento

6ºModelo: Vred, Irradiancia, P2 desc comp, T\_sal\_cond, Int Compresor

7ºModelo: Vred, P1 asp comp, T\_sal\_comp, T\_sal\_evap, V PV, Int PV, Int red

8ºModelo: Vred, Irradiancia, Int PV, V PV, Pres\_diferencial

9ºModelo: Irradiancia y Vred

### **1ºModelo: Todas las variables**

Vamos a realizar una regresión lineal múltiple con todas las variables para ver el error que obtenemos y ver cómo afectan todas las variables al factor de potencia del compresor.

En el resumen del modelo vemos en R cuadrado un valor de 0.673 no sale tan alto como en el ensayo anterior pero aun así se puede considerar un valor bueno pues podemos predecir un 67.3% de la variación, es decir, este ajuste se acerca en un 67.3% a la línea de regresión ajustada. Si nos fijamos en el Error estándar de la estimación vemos que sale un error de 0.0053595106 lo cual nos indica que la regresión es buena al tener un error pequeño de 0.5% Además la significancia está por debajo de 0.05, nuestra regresión se puede aceptar.

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,821 <sup>a</sup>	,673	,594	,0053595106	,673	8,463	28	115	<,001

a. Predictores: (Constante), (bar)- P4 Salida valvula, T\_sal\_evap (°C), Dir Viento(deg), HRAmb (HR), Int red 2, Vel viento (m/s), (HR)- HR Int, Pres\_difere (Pa), Vel Aire (m/s), V PV 2, V red 2, Tamb (°C), T agua (°C), Irradiancia (W/m), Int Compresor 1, (°C)- Temp Int, T\_sal\_comp(°C), Temp Entrada (°C), Int PV 2, (°C)- Temp Salida, T\_ent\_evap (°C), T\_sal\_cond (°C), P1 asp comp (bar), HR Entrada (HR), T\_ent\_comp (°C), (HR)- HR Salida, TP\_ent\_evap (°C), P2 desc comp (bar)

b. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 69 Resumen del 1º Modelo

No nos podemos quedar con este ajuste, tenemos muchas variables y saldría una ecuación compleja con muchas variables. El objetivo ahora es elegir y comprobar cuales son las variables más importantes y que realmente hagan un aporte al modelo para poder reducirlo pero obteniendo unos datos parecidos de R cuadrado y error estándar de la estimación.

A continuación nos vamos a fijar en la tabla de coeficientes para ver si hay alguna variable que destaque del resto. En la tabla en el apartado de significancia en nuestra regresión es la tensión de red. El resto no parecen ser importantes, aun así las vamos a ir comprobando para ver si realmente lo son o no.

Coeficientes <sup>a</sup>									
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Desv. Error				Beta	Orden cero	Parcial
1	(Constante)	1,261	,627		2,011	,047			
	Int Compresor 1	-,030	,119	-,602	-,253	,800	-,475	-,024	-,014
	V red 2	-,003	,001	-1,038	-3,737	<,001	-,763	-,329	-,199
	Int red 2	-,023	,025	-1,027	-,897	,372	,569	-,083	-,048
	Int PV 2	-,002	,004	-1,017	-,645	,521	-,615	-,060	-,034
	V PV 2	,000	,001	,047	,271	,787	,535	,025	,014
	T_sal_evap (°C)	,034	,041	3,289	,841	,402	-,563	,078	,045
	T_ent_comp (°C)	-,045	,041	-4,234	-1,098	,274	-,609	-,102	-,059
	T_sal_comp(°C)	,001	,004	,510	,246	,806	-,340	,023	,013
	T_sal_cond (°C)	,001	,026	,169	,051	,959	-,635	,005	,003
	T_ent_evap (°C)	,035	,019	4,473	1,828	,070	-,479	,168	,097
	P1 asp comp (bar)	-,032	,113	-,992	-,281	,779	-,390	-,026	-,015
	P2 desc comp (bar)	-,013	,057	-1,057	-,221	,826	-,559	-,021	-,012
	Dir Viento(deg)	-2,094E-5	,000	-,141	-1,186	,238	,200	-,110	-,063
	T agua (°C)	,003	,008	,326	,377	,707	-,632	,035	,020
	Pres_difere (Pa)	-,038	,033	-,406	-1,143	,255	,689	-,106	-,061
	Vel viento (m/s)	-,001	,001	-,109	-,978	,330	-,351	-,091	-,052

Figura 70 Primera parte de la tabla de coeficientes del 1º Modelo

Irradiancia (W/m)	-1,476E-5	,000	-,478	-,711	,479	-,637	-,066	-,038
HRAmb (HR)	-6,120E-5	,000	-,064	-,294	,769	,157	-,027	-,016
TP_ent_evap (°c)	-,035	,027	-5,314	-1,312	,192	-,390	-,121	-,070
Tamb (°c)	-,001	,001	-,187	-,658	,512	-,470	-,061	-,035
Vel Aire (m/s)	-,028	,049	-,081	-,564	,574	,376	-,053	-,030
Temp Entrada (°c)	-,047	,026	-4,749	-1,785	,077	-,648	-,164	-,095
HR Entrada (HR)	-,011	,008	-3,319	-1,272	,206	-,045	-,118	-,068
(°C)- Temp Int	,051	,036	5,252	1,420	,158	-,625	,131	,076
(HR)- HR Int	,016	,014	4,984	1,151	,252	-,055	,107	,061
(°C)- Temp Salida	,003	,026	,336	,096	,924	-,600	,009	,005
(HR)- HR Salida	-,006	,015	-1,480	-,387	,699	,067	-,036	-,021
(bar)- P4 Salida valvula	,082	,102	2,730	,801	,425	-,392	,075	,043

a. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 71 Segunda parte de la tabla de coeficientes del 1° Modelo

## 2°Modelo: V red, T ent evap, Temp Entrada, T ent comp, Temp Int

Realizamos una nueva prueba e introducimos primero el valor de tensión de red para ver el resumen del modelo independientemente y posteriormente vamos a ir probando con tres o cuatro variables en cada prueba para ver si alguna variable más aporta algo al modelo.

En este modelo hemos introducido las variables de tensión de red, temperatura a la entrada del evaporador, temperatura a la entrada de la máquina, temperatura a la entrada del compresor y temperatura en la etapa intermedia de la máquina.

En el resumen del modelo en el modelo 1 que hemos introducido la tensión de red se queda muy próxima a los resultados con todas las variables. Las demás variables no aportan mucha variación y además se obtienen unos valores de significancia altos, por lo que se descartan todas menos V red.

Resumen del modelo <sup>f</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			
						Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001
2	,764 <sup>b</sup>	,583	,577	,0054674139	,001	,250	1	141	,618
3	,764 <sup>c</sup>	,584	,575	,0054840432	,000	,146	1	140	,703
4	,768 <sup>d</sup>	,590	,578	,0054639666	,006	2,031	1	139	,156
5	,770 <sup>e</sup>	,593	,578	,0054618808	,003	1,106	1	138	,295

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, T\_ent\_evap (°c)  
c. Predictores: (Constante), V red 2, T\_ent\_evap (°c), Temp Entrada (°c)  
d. Predictores: (Constante), V red 2, T\_ent\_evap (°c), Temp Entrada (°c), T\_ent\_comp (°c)  
e. Predictores: (Constante), V red 2, T\_ent\_evap (°c), Temp Entrada (°c), T\_ent\_comp (°c), (°C)- Temp Int  
f. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 72 Resumen del 2° Modelo

### **3°Modelo: V red, P4 Salida Válvula, HR Salida, Temp Salida, HR Int**

En este modelo vamos a introducir las variables: Tensión de red, Presión a la salida de la válvula, Humedad relativa, Temperatura a la salida de la máquina y Humedad relativa en la etapa intermedia.

En el resumen del modelo sucede lo mismo que en el modelo anterior, no hay ninguna variable que aporte una variación significativa al modelo por lo que se descartan todas las variables.

Resumen del modelo <sup>f</sup>										
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio				
						Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001	
2	,763 <sup>b</sup>	,583	,577	,0054709009	,000	,070	1	141	,792	
3	,765 <sup>c</sup>	,586	,577	,0054684591	,003	1,126	1	140	,290	
4	,765 <sup>d</sup>	,586	,574	,0054878859	,000	,011	1	139	,918	
5	,768 <sup>e</sup>	,589	,575	,0054841845	,004	1,188	1	138	,278	

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, (bar)- P4 Salida valvula  
c. Predictores: (Constante), V red 2, (bar)- P4 Salida valvula, (HR)- HR Salida  
d. Predictores: (Constante), V red 2, (bar)- P4 Salida valvula, (HR)- HR Salida, (°C)- Temp Salida  
e. Predictores: (Constante), V red 2, (bar)- P4 Salida valvula, (HR)- HR Salida, (°C)- Temp Salida, (HR)- HR Int  
f. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 73 Resumen del 3° Modelo*

### **4°Modelo: Vred, HR Entrada, Vel Aire, Tamb, HRAmb**

Realizamos un nuevo modelo con las siguiente variables: Tensión de red, Humedad Relativa a la entrada de la máquina, Velocidad del Aire, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa Ambiente, Humedad Relativa Ambiente y Velocidad del Viento.

Analizando el resultado volvemos a descartar todas las variables, ninguna aporta una variación significativa al error y además nos da una significancia alta en todas por encima de 0.05, lo que indica que rechazamos la hipótesis del investigador.

Resumen del modelo <sup>f</sup>										
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F	
						Cambio en F	gl1	gl2		
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001	
2	,765 <sup>b</sup>	,585	,580	,0054517796	,003	1,061	1	141	,305	
3	,768 <sup>c</sup>	,590	,581	,0054425557	,004	1,478	1	140	,226	
4	,771 <sup>d</sup>	,594	,583	,0054328173	,004	1,502	1	139	,222	
5	,773 <sup>e</sup>	,597	,583	,0054311335	,003	1,086	1	138	,299	

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, HR Entrada (HR)  
c. Predictores: (Constante), V red 2, HR Entrada (HR), Vel Aire (m/s)  
d. Predictores: (Constante), V red 2, HR Entrada (HR), Vel Aire (m/s), Tamb (°c)  
e. Predictores: (Constante), V red 2, HR Entrada (HR), Vel Aire (m/s), Tamb (°c), HRamb (HR)  
f. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 74 Resumen del 4° Modelo

### **5° Modelo: Vred, Vel viento, Pres diferencial, T agua, Dir Viento**

En el siguiente modelo vamos a introducir las siguientes variables: Tensión de red, Velocidad del viento, Presión diferencial, Temperatura del agua y Dirección del viento.

Podemos observar que esta vez en el resumen del modelo la variable presión diferencial que se introduce en la fila tres, aporta una variación al error estándar de la estimación aproximándolo al valor que queremos obtener y también ganamos confianza al tener una significancia inferior a 0.05 por lo tanto esta variable hace una aportación al modelo. Las demás las descartamos por el mismo motivo que las anteriores.

Resumen del modelo <sup>f</sup>										
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F	
						Cambio en F	gl1	gl2		
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001	
2	,765 <sup>b</sup>	,585	,580	,0054518792	,003	1,056	1	141	,306	
3	,776 <sup>c</sup>	,602	,594	,0053589496	,017	5,933	1	140	,016	
4	,778 <sup>d</sup>	,605	,593	,0053622252	,002	,829	1	139	,364	
5	,782 <sup>e</sup>	,611	,597	,0053376421	,006	2,283	1	138	,133	

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, Vel viento (m/s)  
c. Predictores: (Constante), V red 2, Vel viento (m/s), Pres\_difere (Pa)  
d. Predictores: (Constante), V red 2, Vel viento (m/s), Pres\_difere (Pa), T agua (°c)  
e. Predictores: (Constante), V red 2, Vel viento (m/s), Pres\_difere (Pa), T agua (°c), Dir Viento(deg)  
f. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 75 Resumen del 5° Modelo

### **6º Modelo: Vred, Irradiancia, P2 desc comp, T sal cond, Int Compresor**

Siguiente modelo a realizar, vamos a introducir las siguientes variables: Tensión de red, Irradiancia, Presión de descarga del compresor, Temperatura a la salida del condensador e Intensidad medida a la entrada del compresor.

Los resultados arrojados en el resumen del modelo son muy interesantes. Podemos ver que la irradiancia hace una aportación significativa al modelo, pues disminuye el error estándar de la estimación 0.003 milésimas por debajo del modelo obtenido inicialmente con todas las variables y además es estadísticamente significativa. Las demás variables podemos descartarlas, tienen un p valor superior a 0.05.

Resumen del modelo <sup>f</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001
2	,795 <sup>b</sup>	,633	,627	,0051331951	,050	19,242	1	141	<,001
3	,796 <sup>c</sup>	,633	,625	,0051455391	,001	,324	1	140	,570
4	,796 <sup>d</sup>	,634	,624	,0051572474	,001	,365	1	139	,547
5	,797 <sup>e</sup>	,635	,621	,0051729461	,000	,158	1	138	,692

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m)  
c. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m), P2 desc comp (bar)  
d. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m), P2 desc comp (bar), T\_sal\_cond (°c)  
e. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m), P2 desc comp (bar), T\_sal\_cond (°c), Int Compresor 1  
f. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 76 Resumen del 6º Modelo*

### **7º Modelo: Vred, P1 asp comp, T sal comp, T sal evap, V PV, Int PV, Int red**

Este modelo vamos a llevar las variables restantes que quedan por comprobar, que son las siguientes: Presión de aspiración del compresor, Temperatura a la salida del compresor, Temperatura a la salida del evaporador, Tensión fotovoltaica, Intensidad fotovoltaica e Intensidad de red.

En el resumen del modelo podemos apreciar que la tensión y la intensidad fotovoltaica hacen un aporte al modelo y tienen una significancia por debajo de 0.05, por lo tanto también serían variables a considerar. El resto de variables al tener una significancia alta se descartan.

Resumen del modelo <sup>h</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001
2	,763 <sup>b</sup>	,583	,577	,0054704109	,000	,095	1	141	,758
3	,764 <sup>c</sup>	,583	,574	,0054856994	,001	,215	1	140	,643
4	,767 <sup>d</sup>	,589	,577	,0054694494	,005	1,833	1	139	,178
5	,780 <sup>e</sup>	,608	,594	,0053589934	,019	6,789	1	138	,010
6	,796 <sup>f</sup>	,634	,618	,0051992702	,026	9,609	1	137	,002
7	,797 <sup>g</sup>	,635	,616	,0052092762	,001	,474	1	136	,492

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, P1 asp comp (bar)  
c. Predictores: (Constante), V red 2, P1 asp comp (bar), T\_sal\_comp(°c)  
d. Predictores: (Constante), V red 2, P1 asp comp (bar), T\_sal\_comp(°c), T\_sal\_evap (°c)  
e. Predictores: (Constante), V red 2, P1 asp comp (bar), T\_sal\_comp(°c), T\_sal\_evap (°c), V PV 2  
f. Predictores: (Constante), V red 2, P1 asp comp (bar), T\_sal\_comp(°c), T\_sal\_evap (°c), V PV 2, Int PV 2  
g. Predictores: (Constante), V red 2, P1 asp comp (bar), T\_sal\_comp(°c), T\_sal\_evap (°c), V PV 2, Int PV 2, Int red 2  
h. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 77 Resumen del 7° Modelo

### **8°Modelo: Vred, Irradiancia, Int PV, V PV, Pres diferencial**

Una vez introducidas y analizadas todas las variables, vamos a realizar un modelo con las variables que hemos visto que hacen algún aporte al modelo para comprobar si lo son realmente y cuanto realmente afectan, para ver si podemos obtener un modelo lo más reducido posible.

Si observamos la tabla obtenida sólo la tensión de red y la irradiancia hacen un aporte significativo al modelo. Las demás variables que descartamos son un claro ejemplo de que las variables por separado hacen un aporte pero al juntarla como están muy asociadas entre ellas se solapan y por tanto dejan de aparecer como importantes. Son como un falso positivo

Resumen del modelo <sup>f</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,579	,0054529587	,582	198,000	1	142	<,001
2	,795 <sup>b</sup>	,633	,627	,0051331951	,050	19,242	1	141	<,001
3	,795 <sup>c</sup>	,633	,625	,0051505491	,000	,051	1	140	,821
4	,795 <sup>d</sup>	,633	,622	,0051690426	,000	,000	1	139	,996
5	,795 <sup>e</sup>	,633	,619	,0051877207	,000	,001	1	138	,976

a. Predictores: (Constante), V red 2  
b. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m)  
c. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m), Int PV 2  
d. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m), Int PV 2, V PV 2  
e. Predictores: (Constante), V red 2, Irradiancia (W/m), Int PV 2, V PV 2, Pres\_difere (Pa)  
f. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 78 Resumen del 8º Modelo

### 9º Modelo: Irradiancia y Vred

Por lo tanto las variables finales son la tensión de red y la Irradiancia. Vamos a realizar una vez más una regresión lineal múltiple para analizar más a fondo los resultados y sacar una fórmula final al modelo.

Analizando el resumen del modelo podemos afirmar que las variables escogidas generan un buen modelo de predicción del factor de potencia del compresor. Obtenemos un R cuadrado de 0.633, es decir, nuestro modelo puede predecir un 63.3% de la variabilidad del factor de potencia del compresor y con el Error estándar que sale 0.0051331951, nos indica que podemos obtener los resultados esperados con un 0.5% de error en los datos, lo cual es muy poco.

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,795 <sup>a</sup>	,633	,627	,0051331951	,633	121,340	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Irradiancia (W/m), V red 2  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

Figura 79 Resumen del 9º Modelo

Fijándonos en la tabla de coeficientes podemos saber la contribución que está haciendo las variables al modelo lo podemos ver en el coeficiente t, la significancia nos dice si cumple los requisitos del modelo, es decir, si  $h_0 > 0.05$  aceptamos la hipótesis nula y si

ha<0.05 aceptamos la hipótesis del investigador, nuestro objetivo es que podamos aceptar la hipótesis del investigador que es la que buscamos.

Para confirmar y asegurarnos que este es el mejor modelo, se han realizado modelos independientes con las dos variables elegidas modificadas para ver si mejora o no.

- A) V red e Irradiancia
- B) V red<sup>2</sup> e Irradiancia<sup>2</sup>
- C) V red\*Irradiancia
- D) V red<sup>2</sup> e Irradiancia
- E) V red e Irradiancia<sup>2</sup>
- F) Vred\*Ired\*Irradiancia
- G) (Vred\*Ired)<sup>2</sup> e Irradiancia
- H) (Vred\*Ired) e Irradiancia<sup>2</sup>

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,795 <sup>a</sup>	,633	,627	,0051331951	,633	121,340	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Irradiancia (W/m), V red 2  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 80 Resumen del modelo A*

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,791 <sup>a</sup>	,626	,621	,0051785547	,626	117,994	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Irr<sup>2</sup>, V red<sup>2</sup>  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 81 Resumen del modelo B*

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,645 <sup>a</sup>	,416	,412	,0064478854	,416	101,169	1	142	<,001

a. Predictores: (Constante), V red\*Irr  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 82 Resumen del modelo C*

**D)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,795 <sup>a</sup>	,632	,627	,0051344620	,632	121,245	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Irradiancia (W/m), V red<sup>2</sup>  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 83 Resumen del modelo D*

**E)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,795 <sup>a</sup>	,632	,627	,0051344620	,632	121,245	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Irradiancia (W/m), V red<sup>2</sup>  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 84 Resumen del modelo E*

**F)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,707 <sup>a</sup>	,500	,493	,0059883556	,500	70,461	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Irradiancia (W/m), Vred\*Ired  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 85 Resumen del modelo F*

**G)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,702 <sup>a</sup>	,493	,486	,0060289602	,493	68,569	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), (Vred\*Ired)<sup>2</sup>, Irradiancia (W/m)  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 86 Resumen del modelo G*

**H)**

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Cambio en R cuadrado	Estadísticos de cambio			Sig. Cambio en F
						Cambio en F	gl1	gl2	
1	,653 <sup>a</sup>	,426	,418	,0064149494	,426	52,336	2	141	<,001

a. Predictores: (Constante), Vred\*Ired, Irr<sup>2</sup>  
b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 87 Resumen del modelo H*

Analizando los resultados obtenidos de los 8 modelos finales de regresión lineal múltiple elegidos sacamos como conclusión que el modelo A) es el más adecuado y que mejor se ajusta. Tiene el Error estándar de la estimación más pequeño y además es el modelo más simple por lo que nos quedamos con ese modelo.

**Coeficientes<sup>a</sup>**

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	1,265	,034		37,006	<,001
	V red 2	-,002	,000	-,763	-14,071	<,001
2	(Constante)	1,163	,040		29,294	<,001
	V red 2	-,002	,000	-,595	-9,324	<,001
	Irradiancia (W/m)	-8,643E-6	,000	-,280	-4,387	<,001

*Figura 88 Tabla de coeficientes modelo elegido*

$$PF_{comp} = 1.163 - 0.002 \times Vred - 0.00000864 \times Irradiancia$$

En esta ecuación el voltaje de red se expresa en voltios (V) y la irradiancia solar en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>).

### 6.3. Resultados de finales del conjunto

Una vez que ya hemos definido nuestro modelo final de regresión múltiple, en este caso tenemos dos modelos con dos variables independientes, llega el momento de comprobar los supuestos que aún no habíamos comprobado. Ya habíamos visto la linealidad entre las variables independientes y la dependiente, en este caso habíamos controlado que todas las variables tenían una relación lineal con una correlación de Pearson buena. Sin embargo, nos faltan cuatro supuestos que son:

1. Relación lineal
2. Independencia
3. Homocedasticidad
4. Normalidad

Si no se cumplen uno o más supuestos, los resultados de nuestra regresión lineal pueden ser poco fiables o incluso engañosos.

Ensayo de FP del Compresor:

En primer lugar, vamos a comprobar la prueba de Durbin-Watson, va a analizar los residuos obtenidos para validar el supuesto previo de independencia. El estadístico Durbin-Watson tiene que estar entre 1,5 y 2,5 para aceptar que los residuos son independientes. En nuestro caso hemos realizado la prueba y nos ha arrojado un valor de 2,146, lo cual podemos decir que nuestros residuos son independientes. Tener unos residuos independientes nos indica que nuestro modelo se ajusta bien y en principio no tendría ningún problema, de momento va bien.

Modelo	Estadísticos de cambio			Durbin-Watson
	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	2	141	<,001	2,146

a. Predictores: (Constante), Irradiancia (W/m), V red 2

b. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 89 Prueba Durbin-Watson*

En segundo lugar, vamos a realizar el diagnóstico de colinealidad, que nos permitirá comprobar si no existe colinealidad entre las variables independientes, que no haya una correlación muy alta entre las variables independientes. Para ello comprobaremos el factor de inflación de la variancia no sea superior a 10, si esto ocurriera existiría colinealidad entre las variables. Al realizar el ensayo hemos obtenido unos valores de VIF de 1,56 por lo que podemos afirmar que no existe colinealidad entre las variables.

Modelo		Estadísticas de colinealidad	
		Tolerancia	VIF
1	(Constante)		
	V red 2	,640	1,563
	Irradiancia (W/m)	,640	1,563

a. Variable dependiente: PF 3 COMP

*Figura 90 Diagnostico de colinealidad*

A continuación, vamos a comprobar la homocedasticidad de los residuos mediante un gráfico de dispersión. Para comprobar que existe homocedasticidad en nuestros residuos, la nube de puntos debe de ser homogénea horizontalmente, es decir, se debe

ver claramente como una barra horizontal donde dentro se encuentren todos los puntos. El valor positivo más alto debe estar más o menos a la misma distancia del eje X que el valor negativo mayor. En nuestro caso la gráfica de dispersión de los residuos nos arrojar una forma lineal, esto nos indica que los residuos tienen homocedasticidad.

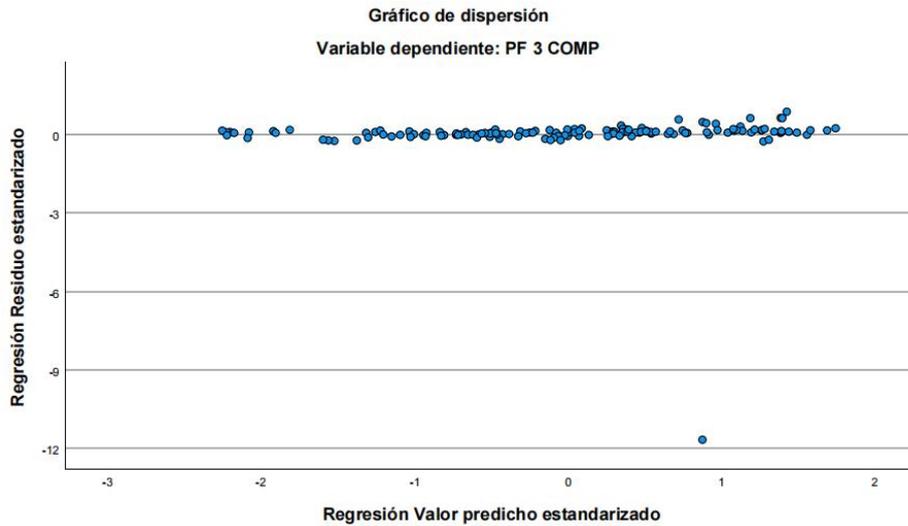


Figura 91 Gráfica de dispersión de los residuos estandarizados

Por último vamos a analizar la normalidad, vamos a utilizar el gráfico Q-Q normal. En el gráfico podemos ver que los datos no siguen la línea de normalidad, por lo que el último supuesto no se cumpliría pero en nuestro caso no es tan importante este supuesto ya que para muestras grandes (más de 30) la ausencia de normalidad no afecta a la distribución muestral del estadístico.

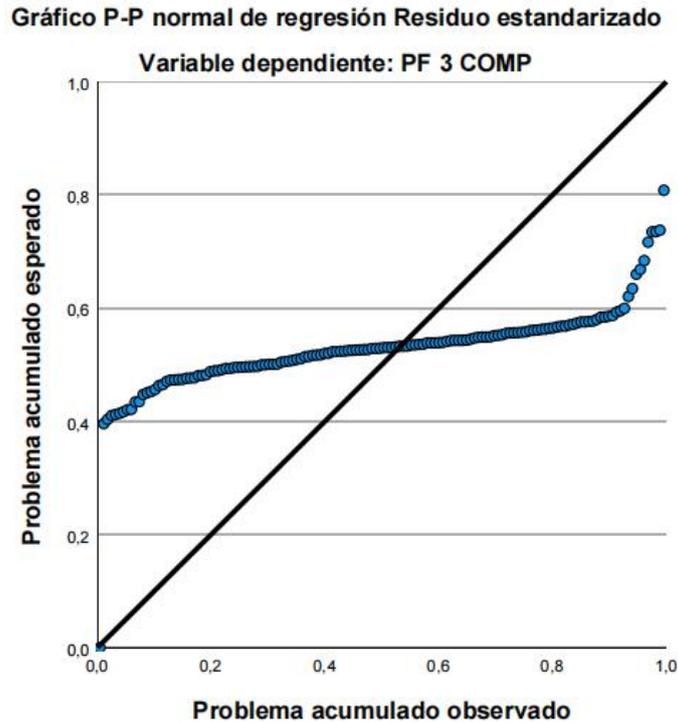


Figura 92 Gráfica Q-Q Normalidad

$$PF\_comp = 1,163 - 0.002 \times Vred - 0.00000864 \times Irradiancia$$

Por lo tanto podemos dar como bueno nuestro modelo elegido, para asegurarnos vamos a representar gráficamente en 3D el modelo elegido con los datos medidos para ver si se ajusta el modelo como nosotros queremos. La gráfica siguiente ha sido obtenida de la aplicación EES, (Engineering Equation Solve).

Analizando la gráfica con el modelo elegido, aún hemos podido ver que el plano del modelo se queda un poco por debajo de todas las medidas. Se ha ido ajustando manualmente la constante del modelo (1,163) y se ha encontrado un valor de (1,2335) que permite un ajuste casi perfecto del modelo. Con la constante original (1,163) el error absoluto medio de la estimación es del 8,9%, mientras que con la nueva constante (1,2335) el error medio se reduce a un 0,2%.

x-axis: 216.0000 < Vred < 230.0000  
 y-axis: 0.0000 < Irrad < 1000.0000  
 z-axis: 0.7651 < PF<sub>comp</sub> < 0.8012

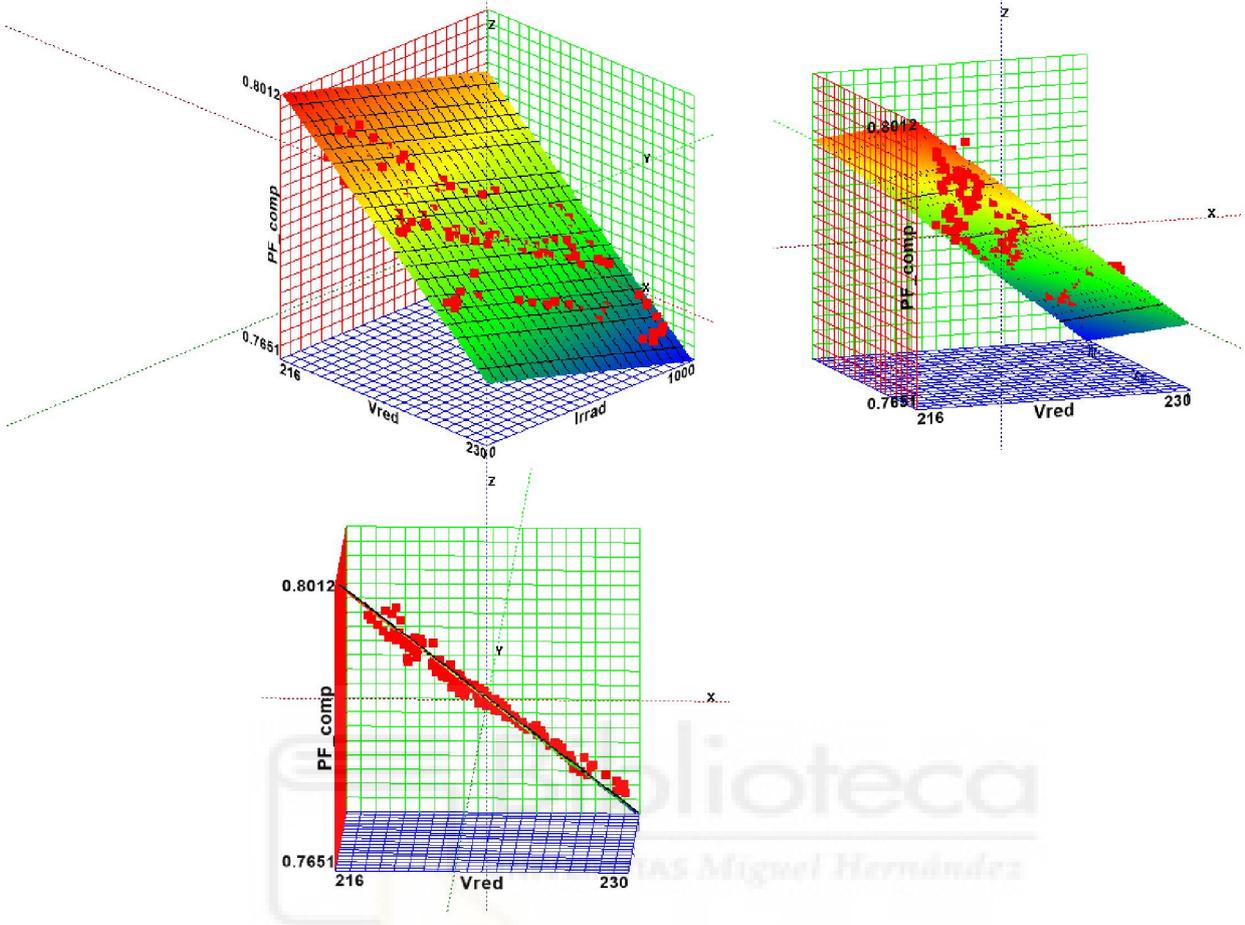


Figura 93 Gráfica 3D Factor de Potencia del compresor

Además se haya llegado a la conclusión que el efecto de la irradiancia es muy pequeño, por lo que si se prefiere un modelo más sencillo (sin necesidad de instalar un Piranómetro para medir la irradiancia), se puede eliminar la variable irradiancia y el error apenas aumenta un poco (0,3%).

$$PF_{comp} = 1,2335 - 0.002 \times Vred - 0.00000864 \times Irradiancia$$

$$PF_{comp} = 1,230 - 0.002 \times Vred$$

En la ecuación el voltaje de red se expresa en voltios (V) y la irradiancia en voltios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>).

Ensayo de FP de Red:

Vamos a realizar el mismo análisis que se ha realizado anteriormente pero ahora para el ensayo del FP de Red. En primer lugar, vamos a comprobar Durbin-Watson para validar

el supuesto de independencia. Como ya hemos dicho, el estadístico debe tener un valor entre 1,5 y 2,5 para aceptar que los residuos son independientes. El valor 2 sería una independencia perfecta. En nuestro caso al realizar la prueba de Durbin-Watson hemos obtenido un valor de 0,322, esto nos indica que las variables no son independientes. Esto nos puede indicar que hay probabilidad que se subestimen los errores estándar de los coeficientes en un modelo de regresión, lo que significa que es más probable que las variables predictivas se consideren estadísticamente significativas cuando en realidad no lo son. Se ha realizado diversas comprobaciones y ninguna variables utilizada para este ensayo obtendría residuos independientes por tanto este supuesto no nos sirve en este modelo pues no hay ninguna forma de hacer que cumpla.

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,986 <sup>a</sup>	,973	,972	,0105054217	,973	5052,529

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	Estadísticos de cambio			Durbin-Watson
	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	2	285	<,001	,322

a. Predictores: (Constante), Tem int^2, Int red

b. Variable dependiente: PF RED

*Figura 94 Resumen modelo final*

El siguiente paso sería comprobar la homocedasticidad, para saber si la varianza es constante en cada nivel de x. Analizando la gráfica no se puede ver claramente una nube de puntos, podemos observar que los datos forman dos poblaciones separadas, esto puede ir provocado por la continuidad en el tiempo de las variables. Para poder hacer un análisis más profundo vamos a sacar las gráficas de regresión parciales para ver más detalladamente cada variable por separado.



de normalidad excepto dos pequeñas perturbaciones que no son importantes. Por lo tanto podemos aceptar el supuesto de normalidad.

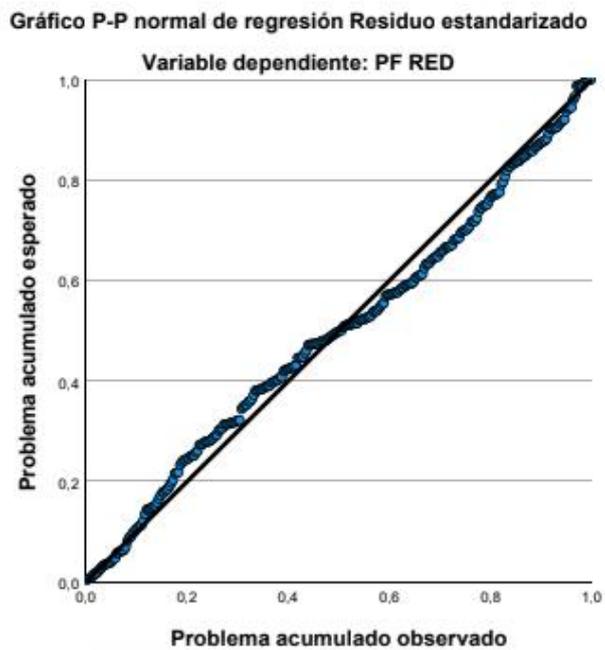


Figura 98 Gráfica P-P de normalidad

Para terminar vamos a representar en una gráfica 3D el modelo de regresión lineal elegido para poder ver visualmente nuestro modelo final. Analizando la gráfica podemos ver que aunque los datos no tienen homocedasticidad, el modelo sí se ajusta bien a los datos. Éstos se distribuyen por encima y por debajo del plano del modelo elegido y no se ve una gran distancia de los residuos al modelo. Con el modelo elegido obtenemos un 0,9% de error absoluto medio de la estimación. Podemos decir con confianza que a pesar de que no se cumplan los cuatro supuestos, el modelo cumple con las especificaciones y sería válido.

x-axis: 500 < Temp2 < 1200  
 y-axis: 1.5 < Ired < 5  
 z-axis: 0.7264 < PF<sub>red</sub> < 1.025

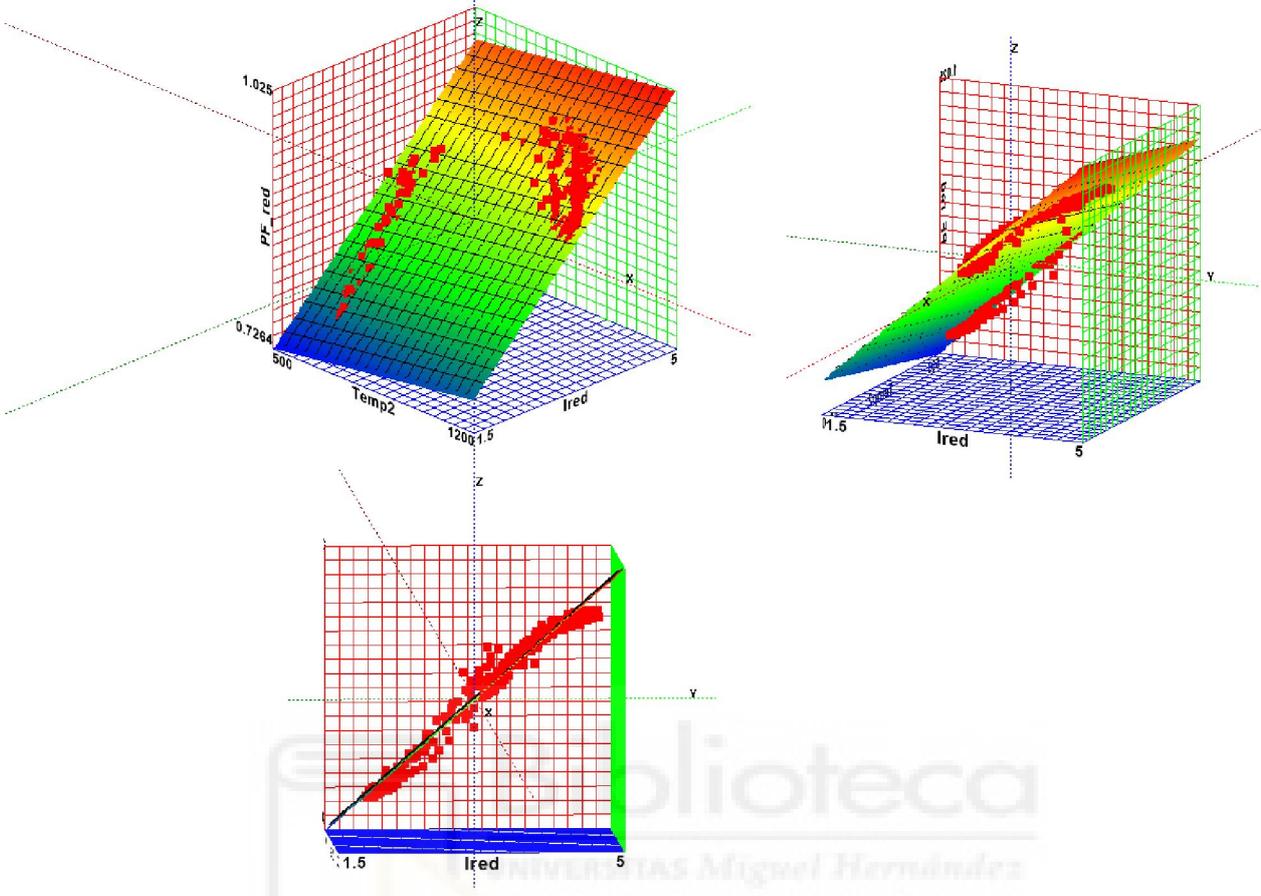


Figura 99 Gráfica 3D Factor de Potencia de red

$$PF_{red} = 0.587 + 0.075 \times Int\ red + 0.00005307 \times Temp\ int^2$$

En la ecuación la intensidad de red se expresa en amperios (A) y la temperatura intermedia en grados Celsius al cuadrado (°C<sup>2</sup>).

## 7. CONCLUSIONES

### 7.1. Conclusiones

En el presente proyecto se ha llevado a cabo la modelización de los valores de potencias eléctricas consumidas de un prototipo de sistema de climatización doméstico tipo Split con un condensador híbrido empleando un pre-enfriamiento adiabático del aire de entrada y a su vez alimentado simultáneamente por paneles solares fotovoltaicos y la energía de la red, para disponer de una instalación que permita conocer el consumo eléctrico real de las partes del prototipo.

En primer lugar, se ha realizado una toma de datos con distintos tipos de condiciones y funcionamientos para así poder trabajar con una muestra lo más representativa para todos los posibles escenarios diarios. La toma de datos se ha dividido en dos partes, una centrada a la entrada del climatizador en monofásica, es decir, tomando muestras de las potencias de red y de fotovoltaica. Y una segunda parte medida a la entrada del compresor, esta parte ha sido medida en trifásica.

En segundo lugar se ha procedido a hacer una agrupación de todos los datos tomados, para organizarlos y agrupar todos los datos en tablas más asequibles para un mejor manejo de los datos. Para hacer los ensayos era necesario tener las tablas de todos los días con el mismo número de datos, ya que los dos aparatos de medida daban un número distinto de datos tomados.

A continuación se ha realizado el objeto principal del proyecto. Se ha realizado una serie de ensayos con distintos modelos comparando todas las variables medidas para encontrar una relación con el factor de potencia de la red y del compresor.

Nos vamos a centrar primero en el ensayo de factor de potencia de red. Como hipótesis inicial se esperaba que las variables eléctricas influyeran, pues la medida se realiza a la entrada donde los únicos parámetros que se encuentran son los del suministro eléctrico. Una vez realizado el ensayo se ha descubierto que nuestra hipótesis era acertada, pues la intensidad medida a la entrada afecta en un 95% de la variación del factor de potencia pero también se ha descubierto que la temperatura medida en la etapa intermedia del climatizador también influye en la variación del FP, en menor medida que la intensidad de red pero el aporte que hace es significativo de forma que podemos ajustar el modelo al máximo obteniendo un 97% de la modelización del factor de potencia de red

Si nos centramos ahora en el ensayo del factor de potencia del compresor, éste es un poco más complejo, pues para el funcionamiento del compresor no sólo afecta el suministro, también afectan las condiciones de trabajo, si hay altas temperaturas o si tiene que trabajar al 100% de su capacidad. En este ensayo no teníamos ninguna hipótesis suponíamos que el suministro fotovoltaico o si hacía mucho sol tenía que influir de alguna forma pero no sabíamos con qué variables o de qué manera. Por lo que en el ensayo no se ha priorizado ninguna variable en especial. Finalmente se ha descubierto que la tensión de suministro por la red afecta considerablemente en un 57% de la variación del compresor, y que la irradiancia influía también en la modelación del

FP, por lo que también se ha tenido en cuenta. Se ha podido predecir en un 62,7% la variación del factor de potencia del compresor, el resto faltante hasta el 100% son de variables no consideradas en este proyecto.

Una vez obtenidos las modelizaciones finales, se han comprobado si cumplían los cuatro supuestos del modelo para poder concluir que la modelización es correcta y fiable. Para el factor de potencia del compresor se ha comprobado que había relación lineal, que los residuos tenían independencia y que había homocedasticidad en los residuos, pero no obteníamos una distribución normal en los residuos pero hemos concluido que aunque no hubiera normalidad esto no debía influir en nuestro modelo, según hemos visto en la gráfica 3D.

$$PF_{comp} = 1.2335 - 0.002 \times Vred - 0.00000864 \times Irradiancia$$

$$PF_{comp} = 1.230 - 0.002 \times Vred$$

Por otro lado para el factor de potencia de la red también se han comprobado los cuatro supuestos, en este caso no cumplía la independencia en los residuos, pero se ha comprobado que con ninguna variable era posible obtener independencia por lo tanto con las variables que teníamos era imposible encontrar un modelo fiable y con confianza, aun así como se han comprobado los demás parámetros importantes como el R cuadrado y el error estándar de estimación si podemos utilizar este modelo como bueno. También hemos obtenido una gráfica de residuos un tanto diferente, tienen una forma dividida en dos grupos provocado por la continuidad en el tiempo de las variables. Finalmente hemos decidido que a pesar de estos dos incumplimientos de los supuestos, en la gráfica 3D hemos podido observar que el modelo si se ajusta a nuestras especificaciones por lo que nos quedamos tranquilos de que es un buen modelo. La fórmula final que hemos obtenido sería la siguiente:

$$PF_{red} = 0.587 + 0.075 \times Int\ red + 0.00005307 \times Temp\ int^2$$

## 7.2. Futuras líneas de trabajo

1. Realizar una nueva investigación con más ensayos, en cada uno de los modos de operación y con temperaturas/humedades ambiente diferentes, para obtener un modelo más ajustado y determinar claramente la relevancia de cada una de las variables que pueden influir en el resultado.

2. Incorporar una batería de condensadores al climatizador para disminuir los valores de potencia reactiva y así aumentar el factor de potencia y su eficiencia.
3. Disponer de una instalación fotovoltaica idéntica con un inversor MPPT, para estudiar el rendimiento del inversor, y en los momentos en que la energía fotovoltaica exceda la energía total, poder conocer cuanta energía estamos desaprovechando.
4. Realizar un estudio termodinámico del compresor para caracterizar mejor su funcionamiento y así poder depurar posibles errores de medición.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alejandro Lizan Martos, Diseño y construcción de un prototipo de sistema de climatización con pre-enfriamiento adiabático, alimentado simultáneamente con energía de red y paneles solares fotovoltaicos, análisis instantáneo
- [2] Enric Jordi Diez Grau, Diseño y construcción de un prototipo de sistema de climatización con pre-enfriamiento adiabático, alimentado con energía de red y paneles fotovoltaicos desde un enfoque energético
- [3] José Sanchiz Agulló, Diseño y construcción de un prototipo de sistema de climatización doméstico con un condensador híbrido empleando un pre-enfriamiento adiabático del aire de entrada
- [4] Guía del usuario Keysight DAQ970A
- [5] Manual de instrucciones Analizador de redes Chauvin Arnoux C.A. 8334B.
- [6] <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/SaaS?topic=features-linear-regression>
- [7] <https://www.youtube.com/c/PsicoFacilC>
- [8] <http://www.imergia.es/eficiencia-energetica>
- [9] <https://statologos.com/lineal-regression-assumptions/>
- [10] [Hacer Gráficos 3D en R - Finanzas Cuantitativas en Español \(ricovictor.com\)](http://ricovictor.com)