

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



“CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL  
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN  
NEBULIZADOR POR ULTRASONIDOS  
APLICADO AL PREENFRIAMIENTO DE UN  
AEROCONDENSADOR”

TRABAJO DE FIN DE GRADO

JUNIO 2020

AUTOR: Javier Puerto Ortiz

DIRECTOR: Pedro Martínez Martínez

# AGRADECIMIENTOS

Siempre he visto tan lejos este momento que nunca había pensado qué iba a escribir aquí. Esta parte son los agradecimientos a esta etapa.

Quiero agradecer a mis padres toda la paciencia que han tenido conmigo. Nunca he sido un estudiante modelo, aún así, siempre han esperado lo mejor de mí, sin dudar nunca de mi potencial, y haciéndome creer en él. Por apoyarme siempre, en los buenos y malos momentos, dándome un empujón cuando más lo he necesitado. Sin ellos no habría sido posible.

Nada de esto tendría sentido si no reconociese el trabajo de todos aquellos profesores que de verdad tienen vocación a la enseñanza. No es nada fácil lidiar con una clase de alumnos, y mucho menos cuando parece que se trate de dos equipos diferentes. Quiero agradecer a todos esos profesores que se reinventan, que salen de la zona de confort que tanto nos gusta a todos, para involucrarse en el crecimiento educativo y profesional de sus alumnos, porque es una tarea muy compleja e importante, que afecta de manera directa a nuestro futuro. Creo que hay que ponerlos en valor como se merecen.

En concreto quiero nombrar a Pedro Martínez Martínez, por darme la oportunidad de trabajar con él. Un profesor que está sin ninguna duda en el grupo de profesores involucrado en la enseñanza, que a pesar del confinamiento siempre ha tenido un hueco para ayudarme.

También quiero agradecer el apoyo de mis compañeros de la carrera, que han hecho mucho más llevadera esta difícil etapa, ya que entre nosotros nos hemos ayudado siempre, demostrando la importancia de trabajar en equipo. Sin duda he ganado grandes amistades en esta carrera.

Finalmente, sin ningún tipo de narcisismo, quiero ponerme en valor a mí mismo, porque a veces es importante hacerlo. Ha habido muchos momentos de frustración por errores cometidos por mí mismo, donde no quedaba otra que conocerse, aceptarse, y acabar lo que me propuse.

# ÍNDICE

I.	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	4
II.	ÍNDICE DE TABLAS .....	7
III.	ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	8
1	INTRODUCCIÓN .....	9
1.1	INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO .....	9
1.2	ANTECEDENTES .....	14
1.3	OBJETIVO .....	16
2	ESTADO DEL ARTE.....	18
3	ESTUDIO TERMODINÁMICO DE UN REFRIGERADOR .....	34
4	EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN .....	39
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	39
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	54
4.3	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	64
4.4	LISTADO DE SONDAS DE MEDIDAS Y CANALES .....	71
5	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	75
5.1	INTRODUCCIÓN DE LOS ENSAYOS .....	75
5.2	PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	76
5.3	TRATAMIENTO DE DATOS .....	81
5.4	CÁLCULO DEL ERROR DE CERO DE LOS SENSORES.....	86
6	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	87
6.1	PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS.....	87
6.2	RECOPIACIÓN DE DATOS Y OBSERVACIONES DE ENSAYOS .....	91
6.3	ESTUDIO AVANZADO DE LOS DATOS .....	112
6.3.1	<i>Potencia consumida por el compresor .....</i>	<i>117</i>
6.3.2	<i>Diferencia de temperaturas entre el ambiente y la entrada al condensador .....</i>	<i>126</i>
6.3.3	<i>Porcentaje de caudal másico de agua nebulizada absorbido por el aire.....</i>	<i>129</i>
6.3.4	<i>Eficiencia de saturación.....</i>	<i>132</i>
6.3.5	<i>Enfriamiento producido con respecto al máximo posible .....</i>	<i>137</i>
6.4	COMPARACIÓN CICLO DE REFRIGERACIÓN VS CICLO DE REFRIGERACIÓN CON APORTE DE NEBULIZACIÓN....	141
7	ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.....	145
7.1	EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDIDA.....	145
7.2	ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDIDA .....	148

<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>161</b>
8.1	CONCLUSIÓN DEL PROYECTO.....	161
8.2	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	165
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>166</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO: FICHAS TÉCNICAS.....</b>	<b>168</b>

## I. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1	ESQUEMA EJEMPLO ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO DIRECTO CON PANELES.....	13
ILUSTRACIÓN 2	ESQUEMA EJEMPLO DE REFRIGERADOR EVAPORATIVO INDIRECTO DE PLACAS.....	13
ILUSTRACIÓN 3	PROTOTIPO DE NEBULIZACIÓN .....	14
ILUSTRACIÓN 4	PROTOTIPO DEL ESTUDIO.....	15
ILUSTRACIÓN 5	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE IONES.....	18
ILUSTRACIÓN 6	DIAGRAMA AC CON TECNOLOGÍA ULTRASÓNICA PARA EL ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO .....	20
ILUSTRACIÓN 7	UNIDAD DE RECUPERACIÓN DE CALOR TOTAL PROPUESTO .....	22
ILUSTRACIÓN 8	REFRIGERACIÓN DE BATERÍAS .....	25
ILUSTRACIÓN 9	POSICIÓN COOLING Y MOTOR.....	25
ILUSTRACIÓN 10	HUANG'S PATENT 1.....	27
ILUSTRACIÓN 11	HUANG'S PATENT 2 .....	27
ILUSTRACIÓN 12	FÓRMULA LONGITUD DE ONDA. ....	28
ILUSTRACIÓN 13	SWAP CHIP WITH HOLDER .....	29
ILUSTRACIÓN 14	SWAP CHIP WITH HOLDER'S DROPLETS.....	30
ILUSTRACIÓN 15	HIGH-SPEED MICROSCOPIC A) .....	30
ILUSTRACIÓN 16	CHIP NEBULIZADOR.....	31
ILUSTRACIÓN 17	HIGH-SPEED MICROSCOPIC B).....	31
ILUSTRACIÓN 18	MIST MAKER Y SU FUNCIONAMIENTO .....	32
ILUSTRACIÓN 19	TABLA DE TAMAÑOS DE GOTA .....	33
ILUSTRACIÓN 20	ESQUEMA T-S PARA CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN .....	35
ILUSTRACIÓN 21	DIAGRAMA T-S PARA CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN .....	38
ILUSTRACIÓN 22	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN .....	40
ILUSTRACIÓN 23	ESQUEMA CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN REDUCIDO.....	41
ILUSTRACIÓN 24	MEDIDAS CONDENSADOR-VENTILADOR.....	42
ILUSTRACIÓN 25	MEDIDAS EVAPORADOR .....	42
ILUSTRACIÓN 26	CICLO REFRIGERADOR REAL CARA DEL EVAPORADOR .....	43
ILUSTRACIÓN 27	CICLO REFRIGERADOR REAL CARA CONDENSADOR.....	43
ILUSTRACIÓN 28	VISTAS DE LAS MODELIZACIONES 3D DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN.....	44
ILUSTRACIÓN 29	FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	45

ILUSTRACIÓN 30 NEBULIZADOR .....	46
ILUSTRACIÓN 31 PLACA DE ULTRASONIDOS.....	47
ILUSTRACIÓN 32 VENTILADOR DE IMPULSIÓN.....	49
ILUSTRACIÓN 33 SISTEMA DE ACTIVACIÓN DEL NEBULIZADOR Y REGULACIÓN DE SU VELOCIDAD.....	49
ILUSTRACIÓN 34 INTERIOR DEL SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y CONTROL .....	50
ILUSTRACIÓN 35 VÁLVULA DE BOYA .....	51
ILUSTRACIÓN 36 DESAGÜE NEBULIZADOR .....	51
ILUSTRACIÓN 37 TUBO 90° Y 135° .....	52
ILUSTRACIÓN 38 TERMO PAR TIPO K.....	55
ILUSTRACIÓN 39 TERMO-HIGRÓMETRO.....	57
ILUSTRACIÓN 40 TERMO-HIGRÓMETRO 23 .....	57
ILUSTRACIÓN 41 RTD Pt100 DE LOS ENSAYOS.....	59
ILUSTRACIÓN 42 MODELO USADO EN LOS ENSAYOS .....	61
ILUSTRACIÓN 43 RESISTENCIA SHUNT .....	61
ILUSTRACIÓN 44 TRANSMISOR DE PRESIÓN DANFOSS MBS 3000 .....	62
ILUSTRACIÓN 45 TRANSMISOR DE PRESIÓN WICA.....	62
ILUSTRACIÓN 46 DATA LOGGER AGILENT 34970 PANTALLA .....	65
ILUSTRACIÓN 47 DATA LOGGER AGILENT 34970 BACK.....	65
ILUSTRACIÓN 48 DATA LOGGER AGILENT 34970 DE LOS ENSAYOS.....	65
ILUSTRACIÓN 49 MULTIPLEXOR 34901A .....	68
ILUSTRACIÓN 50 ADD INSTRUMENT .....	76
ILUSTRACIÓN 51 CONFIGURE CHANNEL 1 .....	77
ILUSTRACIÓN 52 CONFIGURE CHANNEL 2.....	77
ILUSTRACIÓN 53 QUICK GRAPH .....	79
ILUSTRACIÓN 54 QUICK GRAPH CHANNELS .....	80
ILUSTRACIÓN 55 EXPORT DATA.....	81
ILUSTRACIÓN 56 DATOS EXPORTADOS A UNA COLUMNA .....	82
ILUSTRACIÓN 57 1° CAMBIO CON CTRL B .....	83
ILUSTRACIÓN 58 2° CAMBIO CON CTRL B .....	83
ILUSTRACIÓN 59 TEXTO EN COLUMNAS 1 .....	84
ILUSTRACIÓN 60 TEXTO EN COLUMNAS 2 .....	84
ILUSTRACIÓN 61 TEXTO EN COLUMNAS 3 .....	84
ILUSTRACIÓN 62 COLUMNAS SIN ORDENAR.....	85
ILUSTRACIÓN 63 COLUMNAS TRATADAS.....	85
ILUSTRACIÓN 64 RESISTENCIA SHUNT.....	90
ILUSTRACIÓN 65 POSICIÓN 0.....	92
ILUSTRACIÓN 66 POSICIÓN 1 VELOCIDAD 1.....	93
ILUSTRACIÓN 67 POSICIÓN 1 ENSAYO 2 .....	93
ILUSTRACIÓN 68 POSICIÓN 1 ENSAYO 3 .....	94
ILUSTRACIÓN 69 POSICIÓN 2 ENSAYO 1 .....	97
ILUSTRACIÓN 70 POSICIÓN 2 ENSAYO 2 .....	98

ILUSTRACIÓN 71 POSICIÓN 2 ENSAYO 3 .....	99
ILUSTRACIÓN 72 POSICIÓN 3 ENSAYO 1 .....	101
ILUSTRACIÓN 73 POSICIÓN 3 ENSAYO 2 .....	102
ILUSTRACIÓN 74 POSICIÓN 3 ENSAYO 3 .....	102
ILUSTRACIÓN 75 POSICIÓN 4 ENSAYO 1 .....	104
ILUSTRACIÓN 76 POSICIÓN 4 ENSAYO 2 .....	105
ILUSTRACIÓN 77 POSICIÓN 4 ENSAYO 3 .....	106
ILUSTRACIÓN 78 POSICIÓN 5 ENSAYO 1 .....	108
ILUSTRACIÓN 79 POSICIÓN 5 ENSAYO 2 .....	109
ILUSTRACIÓN 80 POSICIÓN 5 ENSAYO 3 .....	109
ILUSTRACIÓN 81 CÓDIGO EES POSICIÓN 1 .....	114
ILUSTRACIÓN 82 CÓDIGO EES POSICIÓN 2 .....	114
ILUSTRACIÓN 83 SOLUCIONES EES POSICIONES 1, 2 Y 3 .....	115
ILUSTRACIÓN 84 CÓDIGO EES POSICIÓN 3 .....	115
ILUSTRACIÓN 85 CÓDIGO EES POSICIÓN 5 .....	116
ILUSTRACIÓN 86 CÓDIGO EES POSICIÓN 4 .....	116
ILUSTRACIÓN 87 SOLUCIONES EES POSICIONES 4 Y 5 .....	116
ILUSTRACIÓN 88 POSICIÓN 1 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S .....	118
ILUSTRACIÓN 89 POSICIÓN 1 VELOCIDAD 3 CAUDAL 0,37G/S.....	118
ILUSTRACIÓN 90 POSICIÓN 1 VELOCIDAD 1 CAUDAL 0,11G/S.....	118
ILUSTRACIÓN 91 POSICIÓN 2 VELOCIDAD 1 CAUDAL 0,11G/S.....	119
ILUSTRACIÓN 92 POSICIÓN 3 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S.....	119
ILUSTRACIÓN 93 POSICIÓN 3 VELOCIDAD 3 CAUDAL 0,37G/S.....	119
ILUSTRACIÓN 94 POSICIÓN 3 VELOCIDAD 1 CAUDAL 0,11G/S.....	119
ILUSTRACIÓN 95 POSICIÓN 2 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S.....	119
ILUSTRACIÓN 96 POSICIÓN 2 VELOCIDAD 3 CAUDAL 0,37G/S.....	119
ILUSTRACIÓN 97 POSICIÓN 4 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S.....	121
ILUSTRACIÓN 98 POSICIÓN 4 VELOCIDAD 1 CAUDAL 0,11G/S.....	121
ILUSTRACIÓN 99 POSICIÓN 4 VELOCIDAD 3 CAUDAL 0,37G/S .....	121
ILUSTRACIÓN 100 POSICIÓN 4 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S .....	121
ILUSTRACIÓN 101 POSICIÓN 5 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S .....	123
ILUSTRACIÓN 102 POSICIÓN 5 VELOCIDAD 3 CAUDAL 0,37G/S .....	123
ILUSTRACIÓN 103 POSICIÓN 5 VELOCIDAD 1 CAUDAL 0,11G/S .....	123
ILUSTRACIÓN 104 POSICIÓN 5 VELOCIDAD 5 CAUDAL 0,52G/S .....	123
ILUSTRACIÓN 105 RENDER .....	141
ILUSTRACIÓN 106. CONFIGURACIÓN B. POSICIÓN 4. VELOCIDAD 3.....	141
ILUSTRACIÓN 107 ESQUEMA DE SENSORES.....	142
ILUSTRACIÓN 108 CÓDIGO EES INCERTIDUMBRE DIFERENCIA DE TEMPERATURAS .....	156
ILUSTRACIÓN 109 SOLUCIÓN EES INCERTIDUMBRE DIFERENCIA DE TEMPERATURAS .....	156
ILUSTRACIÓN 110 CÓDIGO EES INCERTIDUMBRE EFICIENCIA DE SATURACIÓN .....	157
ILUSTRACIÓN 111 SOLUCIÓN EES INCERTIDUMBRE EFICIENCIA DE SATURACIÓN .....	157

ILUSTRACIÓN 112 CÓDIGO EES INCERTIDUMBRE COEFICIENTE DE ENFRIAMIENTO.....	159
ILUSTRACIÓN 113 SOLUCIÓN EES INCERTIDUMBRE COEFICIENTE DE ENFRIAMIENTO 1 .....	159
ILUSTRACIÓN 114 SOLUCIÓN EES INCERTIDUMBRE COEFICIENTE DE ENFRIAMIENTO 2 .....	160
ILUSTRACIÓN 115 POSICIÓN 4 ÓPTIMA .....	163
ILUSTRACIÓN 116 POSICIÓN 5 ÓPTIMA .....	163

## II. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA INSTRUMENTACIÓN.....	71
TABLA 2 RANGOS DE SALIDA Y MEDIDA DE LA HUMEDAD RELATIVA.....	72
TABLA 3 CONFIGURACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	73
TABLA 4 ERROR DE CERO .....	86
TABLA 5 CLASIFICACIÓN DE CONFIGURACIONES.....	88
TABLA 6 CAMBIO DE DESIGNACIÓN DE POSICIONES 1 .....	89
TABLA 7 CAMBIO DE DESIGNACIÓN DE POSICIONES 2 .....	89
TABLA 8 ESQUEMA DE GRÁFICAS .....	113
TABLA 9 CÁLCULO DE T <sub>m</sub> . POSICIÓN 1.....	133
TABLA 10 CÁLCULO DE T <sub>m</sub> . POSICIÓN 2.....	133
TABLA 11 CÁLCULO DE T <sub>m</sub> . POSICIÓN 3.....	133
TABLA 12 CÁLCULO DE T <sub>m</sub> . POSICIÓN 4.....	134
TABLA 13 CÁLCULO DE T <sub>m</sub> . POSICIÓN 5.....	134
TABLA 14 TEMPERATURAS INTERNAS DEL CICLO .....	142
TABLA 15 DATOS DEL EQUIPO .....	143
TABLA 16 TABLA DE FACTORES DE COBERTURA K <sub>p</sub> .....	146
TABLA 17 PARÁMETROS DE LA POSICIÓN 4 .....	149
TABLA 18 TÉRMINOS DE INCERTIDUMBRE PARA TH21_T.....	150
TABLA 19 CONCLUSIONES DE LA POSICIÓN 4 .....	163
TABLA 20 CONCLUSIONES DE LA POSICIÓN 5 .....	163

### III. ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 POSICIÓN 1 (W vs G/S).....	95
GRÁFICA 2 POSICIÓN 1 (BAR vs W) .....	96
GRÁFICA 3 POSICIÓN 2 (W vs G/S).....	99
GRÁFICA 4 POSICIÓN 3 (W vs G/S).....	103
GRÁFICA 5 POSICIÓN 4 (W vs G/S).....	106
GRÁFICA 6 POSICIÓN 4 (BAR vs W) .....	107
GRÁFICA 7 POSICIÓN 5 (W vs G/S).....	110
GRÁFICA 8 CONFIGURACIÓN A W vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	117
GRÁFICA 9 CONFIGURACIÓN A W vs DISTANCIA.....	117
GRÁFICA 10 CONFIGURACIÓN A vs B W vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	120
GRÁFICA 11 CONFIGURACIÓN A vs C W vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	122
GRÁFICA 12 CONFIGURACIÓN A B C W vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	124
GRÁFICA 13 EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DEL COMPRESOR Y DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR CON RESPECTO DIFERENTES GROSORES DE REJILLA .....	125
GRÁFICA 14 CONFIGURACIÓN A. $\Delta T$ vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	126
GRÁFICA 15 CONFIGURACIÓN A. $\Delta T$ vs DISTANCIA AL CONDENSADOR .....	126
GRÁFICA 16 CONFIGURACIÓN B vs A. $\Delta T$ vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	127
GRÁFICA 17 CONFIGURACIÓN C vs A. $\Delta T$ vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	127
GRÁFICA 18 CONFIGURACIÓN A B C. $\Delta T$ vs $\dot{M}_{NEB}$ .....	128
GRÁFICA 19 EFICIENCIA DE SATURACIÓN VS CAUDAL DE LA CONFIGURACIÓN A .....	134
GRÁFICA 20 EFICIENCIA DE SATURACIÓN VS DISTANCIA AL CONDENSADOR DE LA CONFIGURACIÓN A.....	135
GRÁFICA 21 CONFIGURACIÓN A vs B. EFICIENCIA DE SATURACIÓN VS CAUDAL .....	135
GRÁFICA 22 CONFIGURACIÓN A vs C. EFICIENCIA DE SATURACIÓN VS CAUDAL .....	136
GRÁFICA 23 CONFIGURACIÓN A B C. EFICIENCIA DE SATURACIÓN VS CAUDAL .....	136
GRÁFICA 24 ENFRIAMIENTO PRODUCIDO VS CAUDAL. CONFIGURACIÓN A.....	139
GRÁFICA 25 DIAGRAMA P-H DE COMPARACIÓN.....	144

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción del proyecto

Desde hace unos años ha dejado de ser suficiente que cualquier máquina solo ejerza la función para la que ha sido creada, sino que en el desarrollo de cualquier prototipo se hace mucho hincapié en el ahorro de potencia consumida y por lo tanto de energía eléctrica. Este cambio viene impulsado por varios factores:

- Una competencia feroz en el mercado, donde triunfa el que más y mejores prestaciones ofrece. Y claro está, en la compra de cualquier aparato, electrodoméstico, vehículo, etc..., el cliente valora el consumo tanto como la funcionalidad. Ya que a parte de la inversión inicial hay un gasto a largo plazo en el consumo.
- Medidas tomadas por organismos gubernamentales para mejorar la eficiencia energética, con el fin de frenar factores de riesgo que afectan a nuestro estado de bienestar, como el cambio climático.

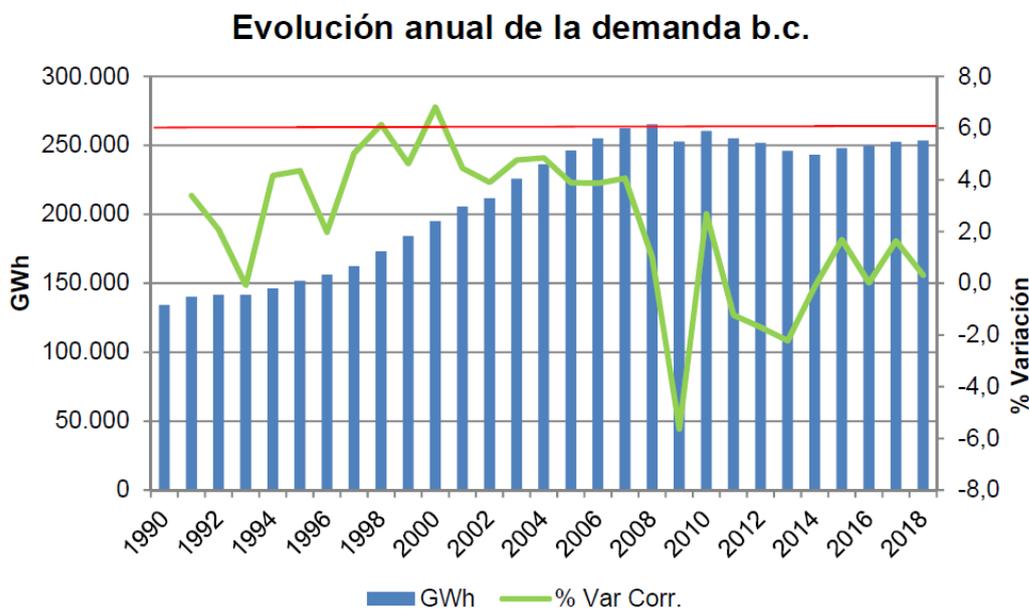
Ambos factores vienen impulsados por el mismo hecho, y es el crecimiento de la demanda del sistema eléctrico año tras año en España. En el análisis del comportamiento de la demanda en 2018 realizado por red eléctrica española (Red Eléctrica de España, Febrero, 2019) encontramos las siguientes conclusiones.

La demanda del consumo eléctrico peninsular tuvo un crecimiento de 0,4% respecto al año anterior. Siendo el cuarto año consecutivo en el que se registra una variación positiva respecto al año anterior. Sin embargo, esta variación ha sido significativamente inferior a la registrada en 2017 cuando la demanda creció un 1,1% con respecto al 2016.

La reducción de crecimiento registrada en el 2018 sitúa la demanda eléctrica en niveles muy inferiores a la demanda máxima histórica de este país en el año 2008.

Además, la relación entre esta variable con respecto al producto interior bruto (PIB) proporciona información sobre el consumo eléctrico necesario para alcanzar un nivel de actividad económica. Denominado “elasticidad demanda eléctrica-PIB”. Si este cociente es mayor que la unidad, significa que la demanda eléctrica ha crecido más que el PIB, lo que puede ocurrir en periodos de expansión económica dependiendo del nivel de desarrollo.

En la siguiente gráfica se puede ver tanto la demanda eléctrica en la península, como la elasticidad demanda eléctrica-PIB en color verde.



La elasticidad demanda corregida-PIB del año 2018 ha sido del 0,1 inferior a la elasticidad del año 2017, que fue del 0,6. De la misma forma que la elasticidad de 2018 se sitúa por debajo de la elasticidad media de los últimos años, que es del 0,4 y con una tendencia de reducción desde el año 2014. Esta progresiva reducción de la elasticidad entre ambas magnitudes podría estar indicando una moderada incorporación de medidas de eficiencia eléctrica en la sociedad, en tanto en cuanto es necesario incrementar en menor proporción la demanda eléctrica para aumentar la actividad.

La razón principal por la se ha notado una progresiva reducción desde el año 2014, es el acuerdo de París de 2015, en el cual 195 países firmaron la Conferencia de París sobre el clima (COP21) el primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima. Dada

la gravedad del cambio climático, el acuerdo estableció un plan de acción internacional para reducir la emisión de gases de efecto invernadero con el objetivo de limitar a 1,5°C el aumento de la temperatura global respecto a niveles preindustriales.

Al margen de todo lo anterior, es importante tener en cuenta el efecto de las temperaturas en la demanda eléctrica. Las medias del 2018 muestran temperaturas más calurosas en verano y más frías en invierno que los años anteriores. Concretamente, los grados día con efecto calor han sido superiores en un 23,8% a los valores medios del período considerado, es decir, el número de días con temperaturas cálidas ha sido superior.

Sintetizando todo lo anterior, tenemos un aumento progresivo del consumo año tras año, en el cual una gran parte proviene del uso doméstico. Además, se encuentra un aumento de las temperaturas y de los días de calor en el verano. Ambos factores convergen en el uso del aire acondicionado, no solo en el ámbito doméstico, sino en los sectores de servicios, ocio y públicos, etc...

Es por lo que la Unión Europea, está fomentando las estrategias encaminadas a mejorar la eficiencia energética de los sistemas de climatización, con el fin de obtener un ahorro en el consumo de energía. Este “compromiso energético” se plasma en la Directiva (UE) 2018/844, donde se expone que la eficiencia energética es fundamental para asegurar la sostenibilidad del consumo de recursos energéticos, y en la que se marcan una serie de objetivos para 2020, como la reducción del 20% del consumo energético, o la creación de estrategias a largo plazo, más allá de 2020.

Todo esto lleva a estudiar los diferentes sistemas de climatización, intentando mejorar su eficiencia, estudiando cada sistema de forma individual, o combinando diferentes sistemas de climatización.

Una de las formas de calificar los sistemas de refrigeración es por el tipo de sistema de condensación que utilizan, bien sea por aire o por agua, donde destacan principalmente los aerocondensadores y las torres de refrigeración.

Sin embargo, también existen en el mercado sistemas de condensación por enfriamiento evaporativo, que permiten reducir el alto consumo eléctrico de los aerogeneradores, además de su fácil y bajo coste de instalación. Son una solución innovadora de alta eficiencia energética, principalmente para la climatización de grandes locales, e industrias.

El enfriamiento evaporativo es un proceso de transferencia de calor y masa basado en la conversión del calor sensible a calor latente. El calor sensible hace referencia a la cesión o extracción de energía que produce una variación en la temperatura seca del aire que se pretende climatizar, mientras que el calor latente es la energía asociada a la variación de la cantidad de vapor de agua o humedad específica que experimenta el aire en su proceso de acondicionamiento. Si el proceso ocurre en condiciones adiabáticas la temperatura seca del aire disminuye a medida que su calor sensible se transforma en latente aumentando su humedad. El intercambio de calor en este proceso se produce hasta que el aire se satura y las temperaturas del agua y aire se igualan. Por lo tanto, el funcionamiento principal es absorber el calor del medio con la evaporación del agua. (IDAE, 2012)

El enfriamiento evaporativo puede lograrse mediante sistemas directos, indirectos o por una combinación de ambos.

- **Enfriamiento evaporativo directo.** El aire de la zona que se pretende climatizar se pone directamente en contacto con agua líquida, las primeras capas de agua absorben el calor sensible del aire primario, consiguiendo su evaporación. De esta forma el aire primario pierde calor sensible, pero aumenta su humedad relativa.

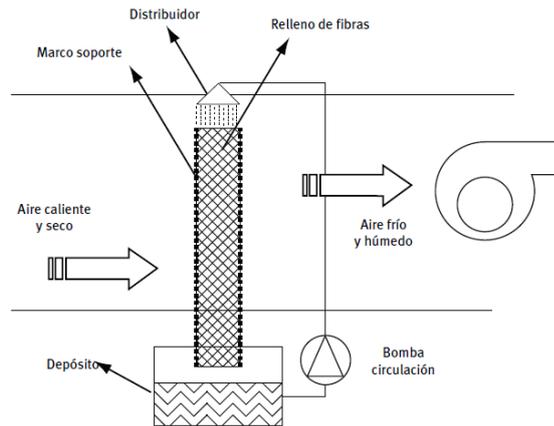


Ilustración 1 Esquema ejemplo enfriamiento evaporativo directo con paneles

- **Enfriamiento evaporativo indirecto.** Este sistema está formado por dos circuitos, el seco y el húmedo, entre los cuales se produce un intercambio de calor. En el circuito húmedo el aire está en contacto con el agua, produciéndose el efecto de enfriamiento evaporativo, seguidamente este aire absorberá a través de un intercambiador, el calor que portará el aire seco por el otro circuito. El circuito seco es el que contiene el aire de la zona que se quiere climatizar, de esta forma se evita un aumento de la humedad relativa en el ambiente.

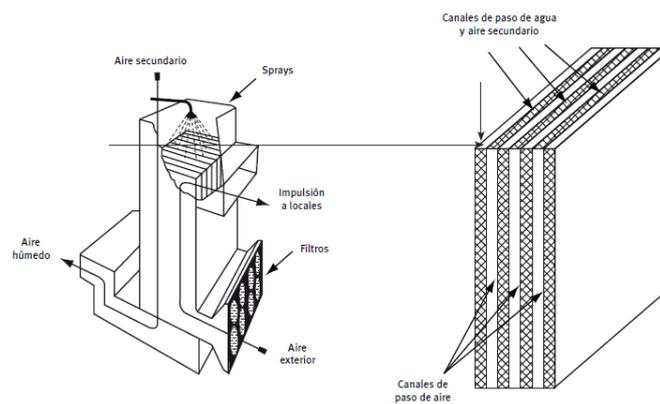
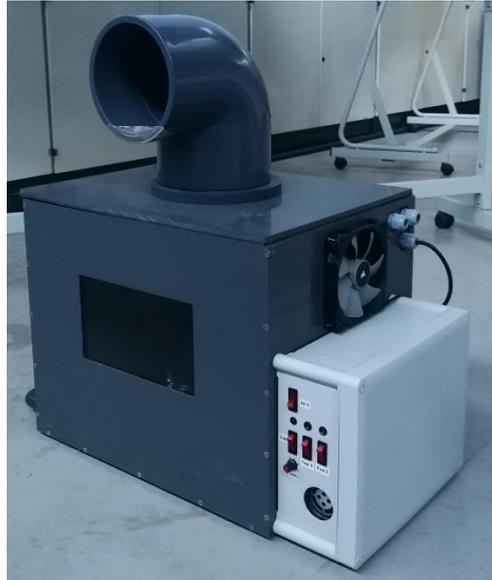


Ilustración 2 Esquema ejemplo de refrigerador evaporativo indirecto de placas

## 1.2 Antecedentes

Este proyecto es una continuación del proyecto realizado por María Paz Sánchez Vivó en el que hizo una “Caracterización experimental de las prestaciones térmicas y fluidomecánicas de un prototipo de nebulización de agua mediante ultrasonidos, para aplicaciones de enfriamiento evaporativo.” (Vivó, septiembre 2019).



*Ilustración 3 Prototipo de nebulización*

Para su caracterización se realizaron todos los ensayos en un tunel de viento, con el fin de obtener la máxima exactitud en los datos. Después de analizar los datos exhaustivamente se llegaron a las siguientes conclusiones sobre el prototipo de nebulización de agua:

- Cuanto menor es el volumen de la nube de agua nebulizada en la sección experimental, más capacidad de enfriamiento puntual posee. O lo que es lo mismo, cuanto más se expande la nube menos consigue enfriar, y por lo tanto no se aprovecha al máximo el rendimiento del prototipo.
- Mientras quede agua por evaporar, es decir, mientras se siga viendo una neblina blanca en el flujo que circula a través del túnel de viento, todavía nos queda capacidad de enfriamiento por utilizar.

- Conforme aumenta la velocidad del flujo, mayor es el aplastamiento de la nube (menor volumen) pero, a su vez, dispone de menos tiempo para evaporar el agua (no desaparece toda la neblina). Por lo tanto, es necesario regular tanto la velocidad del flujo de agua nebulizada (Eje Y), como la velocidad del aire en el túnel (Eje X).

Partiendo de todo lo desarrollado en la introducción y en los antecedentes se llega a la idea principal de este proyecto. Buscando un mejor aprovechamiento energético en los equipos de climatización, se plantea mejorar la eficiencia de una máquina de frío utilizada para climatización de aire. Esto se consigue disminuyendo la potencia del compresor mediante el preenfriamiento del aire que atraviesa el condensador. Para el preenfriamiento se utiliza un caudal de agua nebulizada que produce un efecto enfriamiento evaporativo en la corriente de aire. Con este fin se caracteriza un prototipo de nebulización de agua por ultrasonidos funcionando en conjunto con el ciclo de refrigeración, estudiando el comportamiento de ambos y todos los parámetros que influyen en su funcionamiento y rendimiento: configuración espacial del nebulizador con respecto al equipo, canalización del agua nebulizada, enfriamiento evaporativo producido en el condensador, porcentaje de agua nebulizada absorbida por el ambiente, eficiencia de saturación y la influencia de todos estos parámetros en la potencia consumida por el compresor.



*Ilustración 4 Prototipo del estudio*

### 1.3 Objetivo

El objetivo final que se pretende conseguir con este estudio es mejorar la eficiencia del ciclo de refrigeración usando la aportación de agua nebulizada en el condensador del ciclo de refrigeración.

En otras palabras, con este estudio se trata de mejorar el COP de la máquina frigorífica doméstica. El COP relaciona la capacidad de refrigeración del ciclo ( $Q_{evap}$ ), con respecto a la potencia consumida por el compresor ( $W_{comp}$ ). Por lo tanto, una disminución en la potencia del compresor ( $W_{comp}$ ) aumentaría el COP del aparato de aire acondicionado.

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}}$$

Esta disminución de potencia en el compresor se consigue disminuyendo la presión de condensación del refrigerante que circula por el condensador. Esto se puede conseguir disminuyendo la temperatura del aire que pasa por el condensador. Por lo tanto, la presencia de agua nebulizada disminuirá la temperatura de dicho aire, debido al proceso evaporativo que sufren las microgotas del agua nebulizada en el propio ambiente.

A partir de esta base se define el siguiente objetivo, que será el principal a desarrollar en profundidad a lo largo de este estudio:

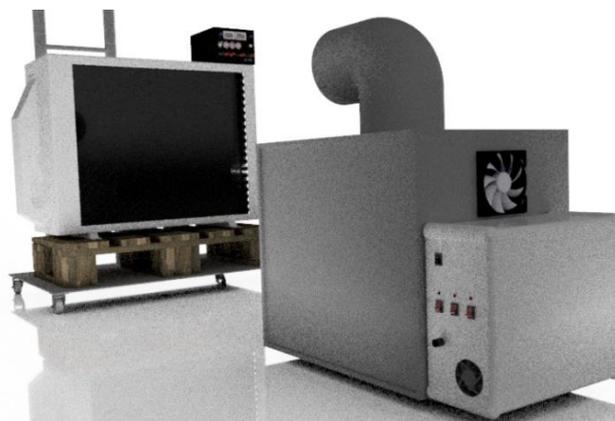
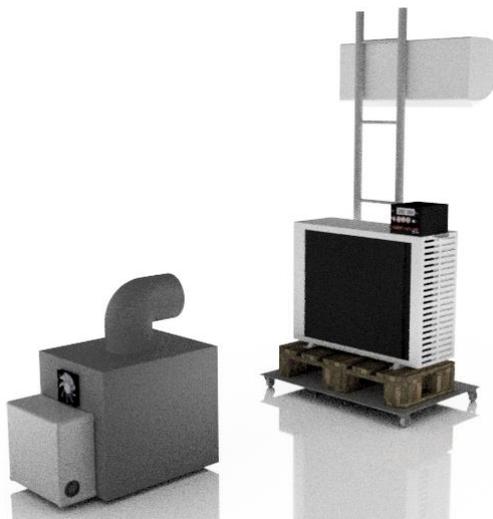
*“La caracterización experimental del comportamiento térmico de un nebulizador por ultrasonidos aplicado al preenfriamiento de un aerocondensador.”*

Se parte de un estudio ya realizado por (Vivó, septiembre 2019) en el que se estudia un prototipo de nebulización de agua por ultrasonidos, y sus características térmicas y fluidomecánicas con el objetivo de aplicación al enfriamiento evaporativo, pero desde un punto de vista más aplicado a un sistema real de climatización. En este estudio se sigue la misma línea de investigación, usando el

mismo prototipo. Sin embargo, en este proyecto se van a evaluar las prestaciones térmicas que el equipo de generación de agua nebulizada es capaz de proporcionar, cuando trabaja en conjunto con un sistema de acondicionamiento de aire por compresión de tipo split.

Estudiando el comportamiento de ambos, e intentando encontrar la disposición espacial más eficiente entre los dos prototipos, usando diferentes caudales de agua nebulizada y diferentes configuraciones en el nebulizador, intentando así su caracterización.

Por lo tanto, en este estudio científico se verá si se consigue o no la canalización de agua nebulizada por el condensador, y si es así, la disminución de consumo de potencia en el compresor.



## 2 Estado del arte

En este apartado se ha hecho un repaso del estado científico del uso de agua nebulizada en un proceso de refrigeración evaporativo. Además, se han revisado varias publicaciones de revistas científicas que abordan la nebulización en otros campos.

Se ha encontrado un artículo científico (Kang, 2011), donde se estudia la nebulización y sus efectos, concretamente la distribución espacial de los iones negativos producidos con un nebulizador.

Según el estudio, la densidad de iones negativos producidos por el nebulizador es de  $1,5 \times 10^4$  ions/cm<sup>3</sup>, la cual es mucho mayor que el valor de la densidad del aire, y esto es resultado del efecto Lenard. Los iones cargados en el aire se producen a causa de la electrificación por pulverización de agua. En este estudio se llega a la conclusión que el nebulizador es un buen aparato de electrificación por pulverización de agua.

También se ha estudiado el proceso desde que el agua se nebuliza al comienzo del proceso de vibración ultrasónica, sale del aparato, va fluyendo y cayendo hasta caer al suelo debido a su mayor densidad. Las microgotas se van haciendo cada vez más pequeñas, hasta que, en un máximo de 10 minutos, toda la nube se ha evaporado.

Con este estudio se llega a la conclusión que la nube de agua nebulizado pesa más que el aire, y en ciertas condiciones ambientales, sin fuertes vientos externos, tiende a caer por efecto de la gravedad.



*Ilustración 5 Distribución espacial de Iones*

Un estudio de investigación de mucho interés en este proyecto es el realizado por Ye Yao del “*Institute of refrigeration and cryogenics*”, y “*Shanghai Jiao Tong University*” (Yao, 2015). El estudio llamado “*Research and applications of ultrasound in HVAC field: A review*”.

Ye Yao expone que la tecnología de los ultrasonidos ha ido creciendo en el campo de HVAC, incluyendo aire humificador y deshumificador, regeneración desecante, purificación de aire, incremento de temperatura y reducción de incrustaciones en los intercambiadores de calor, congelación y descongelación en el evaporador de un ciclo de refrigeración. Definiendo los mecanismos de los ultrasonidos para influir en las aplicaciones citadas y en efectos como la cavitación acústica, la transmisión y la vibración.

Y se ha llegado a la conclusión de que el sistema de ultrasonidos es una nueva tecnología aplicable a HVAC, aparecen nuevos desafíos como lo son el diseño y desarrollo de sistemas ultrasónicos eficientes, capaces de operar a gran escala y de manera concreta y adaptada específicamente a cada proceso individual. Sin embargo, no se encuentra ninguna referencia al uso de los ultrasonidos para el preenfriamiento de un condensador.

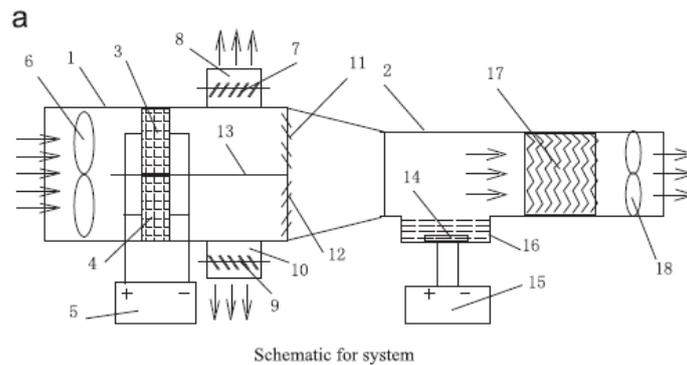
Para este estudio se va a hacer incapié en las característica y aplicaciones ultrasónicas que tengan relación con el enfriamiento evaporativo, y sus consecuencias.

La transmisión de los ultrasonidos por el medio crea varios efectos a su alrededor, cuanto mayor es la frecuencia de vibración más finas son las gotas que se nebulizan. La primera superficie del agua intenta seguir la frecuencia de vibración, las moléculas de agua empiezan a romper sus enlaces produciéndose el fenómeno de la cavitación.

Parte de la energía acústica es absorbida por el medio donde se propaga causando un aumento de temperatura en éste. Este fenómeno es conocido como “efecto térmico”

A continuación, se muestra por primera vez el uso de la tecnología de ultrasonidos para el enfriamiento evaporativo en un aparato de aire acondicionado. El diagrama desarrollado es el siguiente:

Diagrama esquemático para un sistema de aire acondicionado de enfriamiento por evaporación basado en la regeneración asistida por ultrasonido con el transductor ultrasónico longitudinal.



1. Dehumidification / regeneration chamber 2. Evaporative cooling chamber 3. Ultrasonic dehumidifier (A) 4. Ultrasonic dehumidifier (B) 5. Ultrasonic generator (A) 6. Fan (A) 7. Damper (A) 8. Exhaust air duct (A) 9. Damper (B) 10. Exhaust air duct (B) 11. Damper (C) 12. Damper (D) 13. Baffle plate 14. Ultrasonic atomizer 15. Ultrasonic generator (B) 16. Atomizer chamber 17. Weir plate 18. Fan (B) 19. Desiccant packed bed 20. Ultrasonic radiation plate 21. Ultrasonic vibration wafer 22. Thin copper sheet 23. Thin copper anode 24. Rear cover plate 25. Connecting bolt

*Ilustración 6 Diagrama AC con tecnología ultrasónica para el enfriamiento evaporativo*

En esta ilustración se muestra un sistema de aire acondicionado con aportación de enfriamiento evaporativo, está basado en la regeneración asistida por ultrasonido con un transductor ultrasónico longitudinal. El sistema incluye principalmente una cámara de deshumidificación/regeneración, una cámara de enfriamiento por evaporación y ventiladores. La cámara de deshumidificación / regeneración está dividida en dos canales separados por una placa deflectora, y en cada canal, hay un deshumidificador ultrasónico cuya estructura específica se muestra en la ilustración anterior. El transductor ultrasónico utilizado para la generación de desecante está diseñado como la plataforma y está estrechamente conectado con

el lecho lleno de desecante. Del mismo modo, los dos deshumidificadores ultrasónicos alternan el trabajo de deshumidificación del aire y el tratamiento de regeneración del desecante. El aire humedo se deshumidifica primero en la cámara de deshumidificación / regeneración y luego entra en la cámara de enfriamiento por evaporación, donde el aire se enfría a través de la evaporación de agua usando la frecuencia de vibración de las placas de ultrasonidos.

Los resultados de todos los usos de los ultrasonidos expuestos en este proyecto son en general muy prometedores, sin embargo, la mayoría tratan de estudios a una escala de laboratorio. Es decir, que se representa la teoría en un laboratorio intentando favorecer al máximo los buenos resultados, no deja de ser un prototipo. Por lo que nivel industrial aún no se ha investigado nada a fondo. Los problemas principales están relacionados con la eficiencia del generador y el transductor ultrasónicos, y la adaptación de la impedancia entre el transductor ultrasónico y el medio ambiente.

Se encuentra otro estudio realizado por los investigadores Jinzhe Nie, y Shu Yuan, e impulsada por la “China Association of Building Energy Efficiency” y la “China Academy of Building Research. Es interesante y tiene relación con este proyecto ya que se estudia el enfriamiento evaporativo, ya como especifica el título, “Experimental study on an innovative enthalpy recovery technology based on indirect flash evaporative”.

La tecnología propuesta se basa en el enfriamiento evaporativo instantáneo indirecto para mejorar la eficiencia total de recuperación de calor, a través de la evaporación y condensación de humedad en cada lado de un intercambiador de calor de placas. El diseño de la tecnología consiste en agregar un atomizador ultrasónico en el lado del aire de escape interior antes de que ingrese al intercambiador de calor de placas. El atomizador ultrasónico nebuliza el agua, formando una nube de microgotas de fácil evaporación y humedece adiabáticamente el aire de escape interior. Debido a la evaporación del agua nebulizada, el aire de escape interior se enfría a su temperatura de bulbo húmedo y se satura. Este aire de escape interior enfriado absorbe el calor del aire exterior

entrante, disminuyendo así su temperatura, logrando el efecto de aire frío para la climatización de un foco.

Dentro del intercambiador de calor, las microgotas de la nube se evaporarán instantáneamente cuando absorban el calor transferido desde el aire de suministro exterior y hagan que el aire de escape interior alcance puntos de temperatura de bulbo húmedo. El aire de escape interior enfriado hace que la temperatura de la superficie de las láminas sea inferior a la temperatura del punto de rocío del aire de suministro exterior y, por lo tanto, condensa. La deshumidificación se produce en el canal de aire de suministro exterior.

Se desarrolló una unidad prototipo del sistema propuesto, y se llevaron a cabo mediciones experimentales para investigar el rendimiento del sistema en condiciones climáticas cálidas y húmedas al aire libre. Es la siguiente:

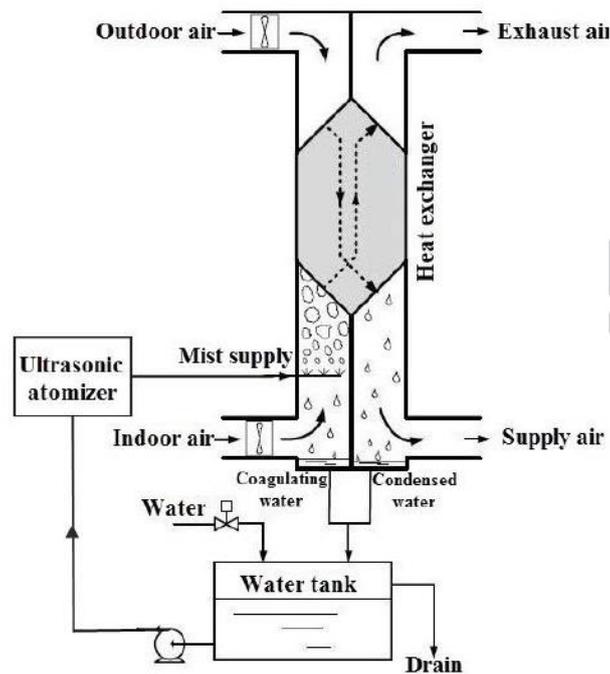


Ilustración 7 Unidad de recuperación de calor total propuesta

La conclusión se da en base a los resultados del experimento. Con la unidad de recuperación de calor total propuesta, las eficiencias de recuperación de temperatura podrían alcanzar 102% - 146%, y las eficiencias de recuperación de calor latente estaban en el rango de 42% a 56%.

Las eficiencias totales de recuperación de calor del intercambiador de calor de enfriamiento evaporativo instantáneo indirecto propuesto estaban en el rango de 61% a 71%. Estos datos en concreto son interesantes con relación al proyecto que se está desarrollando.

Más del 50% del calor total recuperado fue aportado por la condensación de humedad en el aire de suministro exterior.

Las resistencias totales de transferencia de calor del intercambiador de calor propuesto estaban en el rango de 4.020C / kW a 8.510C / kW en las condiciones de operación diseñadas.

Debido a la alta eficiencia de recuperación de la entalpía, que era comparable a la de la membrana de polímero o la propiedad de transferencia rotatoria de adsorción y de transferencia no contaminante, la tecnología de recuperación de calor total por enfriamiento evaporativo indirecto propuesto podría ser una opción competitiva para la ventilación del edificio.

También hay estudios que sirven para relacionar conceptos parecidos, pero que no son propiamente estudios del nebulizador. Este es el caso de la investigación realizada por Radoslaw W. Maruda (Maruda) sobre la generación de humo de emulsión en las condiciones de mínima lubricación en el refrigerador.

En contraposición del caso anterior, se ha encontrado una patente que viene mucho a cuento con este estudio. Es el caso de la patente desarrollada en Estados Unidos por Bradley Brodie, "Refrigeración de baterías por humo evaporativo y condensación" (Brodie, 2011)

Con el desarrollo de los coches eléctricos se solucionan problemas de emisión de gases, pero aparecen otros en la viabilidad, y rendimiento del coche. El calentamiento del coche y su refrigeración es un desarrollo que ya se ha estudiado en los coches de combustión, sin embargo, la aparición de las baterías como fuente de alimentación en los coches es parecido, pero completamente nuevo. Pues las baterías bajan considerablemente su rendimiento y su vida útil con su calentamiento, por lo tanto, Brodie y su equipo han patentado una posible solución.

Se trata de un ciclo de refrigeración donde el evaporador está repartido por la separación de las propias baterías, para que éstas estén en máximo contacto con el evaporador. Es en la entrada del evaporador donde entra el proceso de nebulización, pulverizando o creando una nube del refrigerante antes de entrar al evaporador, justo después del proceso de expansión. Teniendo en cuenta que el enfriamiento de este proceso es evaporativo, cuanto más pequeñas sean las microgotas que salen de la válvula de expansión y posteriormente del nebulizador, antes se evaporarán cogiendo más energía calorífica del ambiente que se quiere refrigerar.

En resumidas cuentas, esta patente tiene mucho que ver con nuestro estudio. Se utiliza una nebulización para mejorar el rendimiento de un ciclo refrigerador, pero con aplicación en otro proceso. Mientras nosotros queremos utilizarlo nebulizando agua para posteriormente canalizarlo externamente por el condensador y así enfriar y condensar con más eficacia en refrigerante, la patente de la que hablamos lo hace en el interior del ciclo, nebulizando el propio refrigerante a la entrada del evaporador.

A continuación, se muestran dos ilustraciones con el esquema de la patente y su posición interna en el coche. En el esquema se diferencian el número 32 como las baterías a refrigerar, que pueden estar conectadas en serie o en paralelo, depende de la potencia requerida, y el número 72, como las separaciones entre las baterías, por donde se refrigeran. Se encuentra el 64 como la pulverización o nebulización del refrigerante, canalizadas a las baterías por medio del ventilador 28.

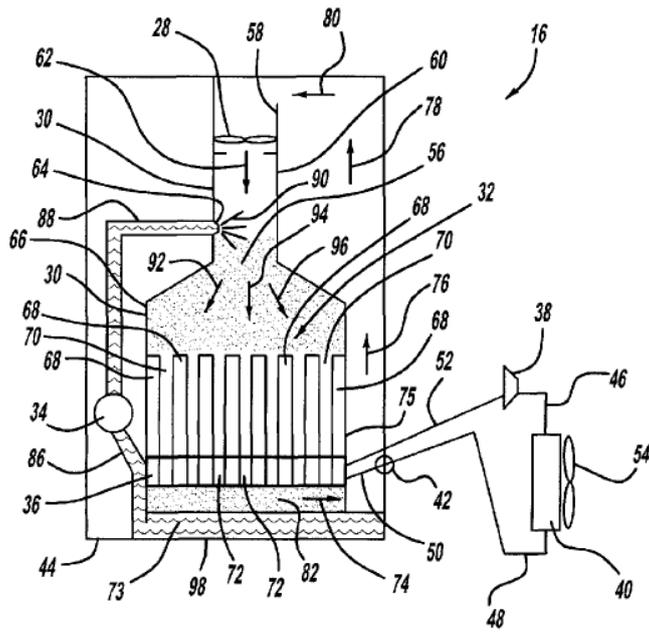


Ilustración 8 Refrigeración de baterías

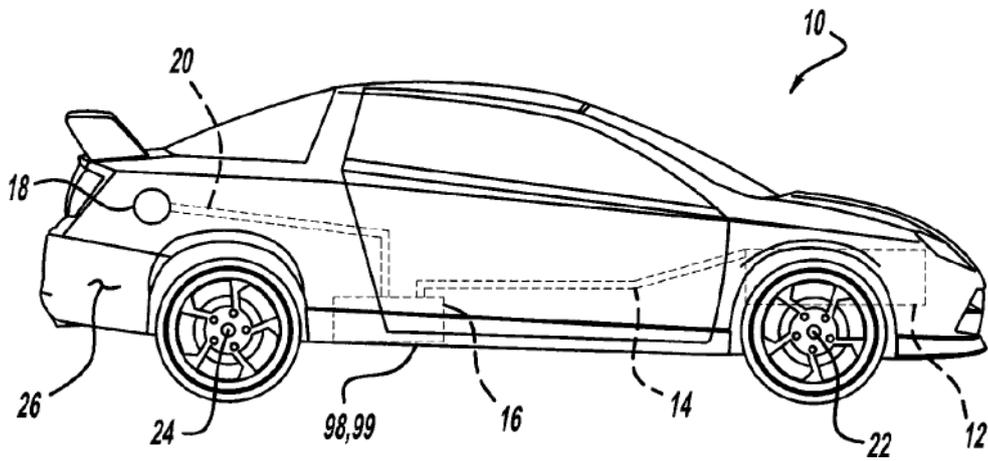
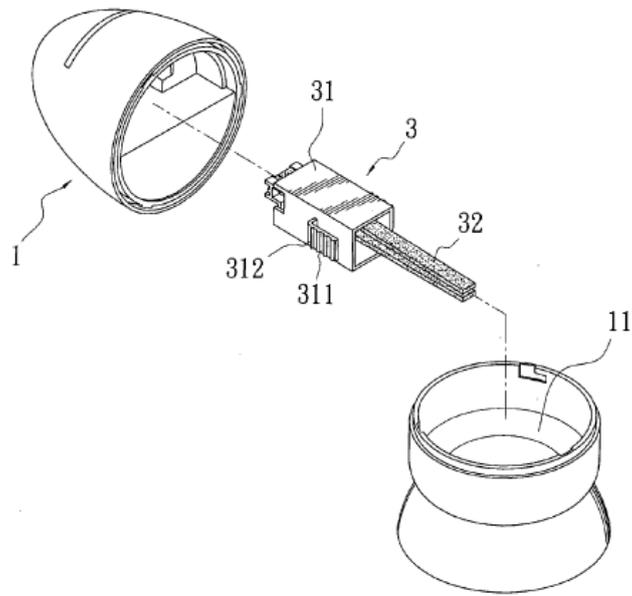


Ilustración 9 Posición cooling y motor

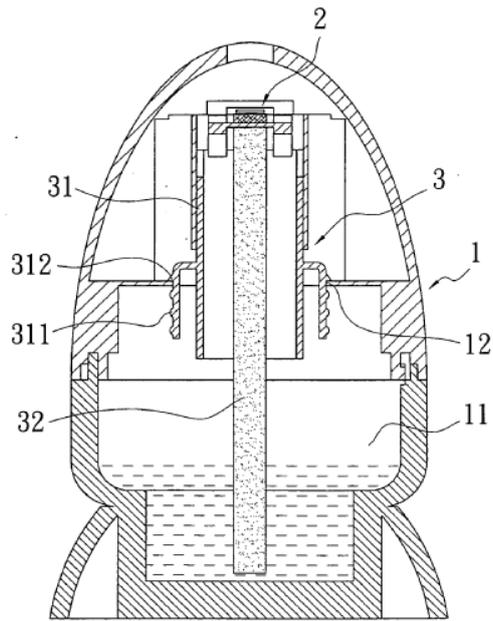
Dentro del mundo de las patentes encontramos otra desarrollada en los Estados Unidos por Charlie Huang (Huang, 2009), “Montaje de un dispositivo de nebulización de agua” donde también se le da un uso a la vibración ultrasónica para la creación de una nube de agua nebulizada. En este caso sería una sustitución de los aerosoles, es decir, cualquier pulverizador de uso doméstico como puede ser un desodorante o ambientador.

Para la explicación del funcionamiento de esta patente se van a utilizar las dos siguientes ilustraciones, en la primera de ellas se muestran un despiece del dispositivo y en la siguiente aparece una vista seccionada, en ambas aparece una numeración para ver los componentes más relevantes.

El agua que va a ser nebulizada reposa en un depósito cerrado 11, el aparato mantiene la estanqueidad por la carcasa 1. En la parte superior del dispositivo se encuentra la rendija por la que se va a expulsar el agua nebulizada, además en esa parte superior está la placa de vibración ultrasónica 2. Esta placa está conectada al depósito de agua 11, por medio de una fibra con una propiedad de absorción óptima para conseguir salvar la energía potencial que separa el depósito de las placas de vibración. Esta fibra es comprimida por un conjunto de componentes mecánicos que se activan con la pulsación, para mejorar el proceso de conducción del agua. El agua que está en la parte superior de la fibra entra en contacto con la placa de vibración, y al no poder seguir las altas frecuencias de vibración, las moléculas de agua se separan creando una nube de agua nebulizada.



*Ilustración 10 Huang's Patent 1*



*Ilustración 11 Huang's patent 2*

Lejos del desarrollo de patentes y posibles usos del nebulizador como instrumento, aparece un estudio muy interesante por parte de un equipo de científicos encabezado por *Stejan Kooij*, en el que estudian la distribución y el tamaño de las gotas producidas por diferentes nebulizadores ultrasónicos. Este artículo publicado en la revista científica llamada “*Scientific Reports*” tiene el nombre de “Size distributions of droplets produced by ultrasonic nebulizers” (Kooij, 2019) .

El estudio realizado hasta ahora sobre el tamaño de gota y su distribución por parte del nebulizador es bastante escaso, debido a que la dinámica de trabajo del nebulizador es complicada y de cortos periodos de tiempo. Este equipo ha realizado el primer estudio sistemático de las gotas y su distribución en tres nebulizadores diferentes, donde se destaca en el primer contacto con los ensayos, que la longitud de onda de la vibración ultrasónica influye directamente en estos dos factores, sin embargo, se va a estudiar la posibilidad de que influyan otros parámetros. Todo esto es importante, porque como se ha visto en artículos anteriores, el tamaño de gota es importante para determinados usos. Por ejemplo, en la distribución de fármacos por vía oral, el tamaño de gota tiene que ser lo suficientemente pequeñas para llegar al tracto pulmonar.

La formación de ondas capilares estacionarias en la superficie de un fluido por la vibración de un cuerpo sólido fue descrita por Faraday en 1831, hasta que seguidamente fue Kelvin quien, a partir de la relación de los siguientes parámetros, formuló la siguiente expresión. Densidad  $\rho$ , tensión superficial  $\sigma$ , longitud de onda  $\lambda$ , frecuencia  $f$ , profundidad del fluido  $h$ .

$$\lambda \left[ \tanh \left( \frac{2\pi h}{\lambda} \right) \right]^{-1/3} = \left( \frac{2\pi\sigma}{\rho f^2} \right)^{1/3}$$

*Ilustración 12 Fórmula Longitud de onda.*

Cada uno de los nebulizadores cuenta con una longitud de onda de trabajo diferente, a parte de una rugosidad de la pieza de vibración también diferente.

Estos parámetros influyen directamente en el tamaño de gota y su distribución. Los tres tipos de nebulizadores son los siguientes:

- a) SWAN chip con soporte
- b) Chip nebulizador
- c) Nebulizador

### **SWAN chip con soporte**

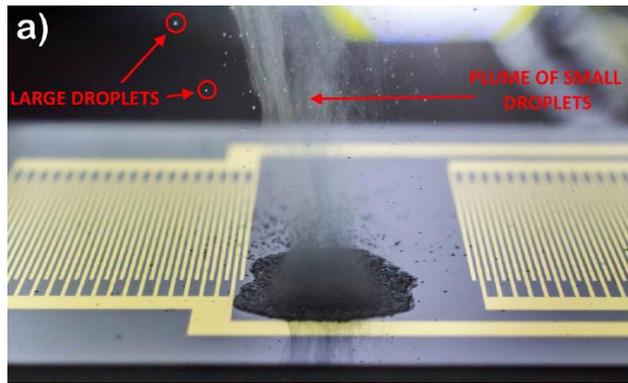
El nebulizador de onda acústica de superficie (SWAN) consta de dos transductores interdigitales (IDT), entre ellos hay espacio para que se deposite el líquido, y es aquí donde se nebuliza. Trabaja a una frecuencia de resonancia de 9,6MHz. La distancia entre los dos electrodos metálicos del IDT establece la longitud de onda acústica en  $\lambda=0,36\text{mm}$ .

La aplicación más importante que se le da a este nebulizador es a la espectrometría de masas. Las moléculas de agua se ionizan después de esta nebulización.



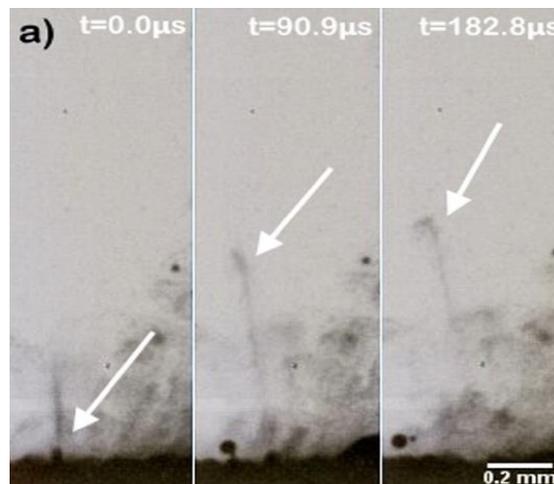
*Ilustración 13 SWAP chip with holder*

Después de una operación prolongada se toma una temperatura de gota de hasta 70°C. Con respecto al tamaño de la gota se registran tamaños microscópicos, se puede observar en la siguiente imagen con la denominación “*plume of small droplets*”. Sin embargo, debido a la interacción directa de las ondas acústicas de la superficie del chip con las gotas, se observan unas gotas más grandes de unas 50µm, en la imagen se pueden observar como “*large droplets*”



*Ilustración 14 SWAP chip with holder's droplets*

Haciendo un estudio más minucioso con un microscopio de alta velocidad se estudia el desarrollo y creación de las gotas en este nebulizador, la superposición de la longitud de onda del nebulizador sobre las ondas capilares superficiales producen unas pequeñas gotas superficiales que se desprenden del conjunto sin crear a penas ligamentos (prolongación de la superficie líquida antes de crear la gota). Ésto se produce porque las tensiones superficiales del agua no aguantan las altas frecuencias del nebulizador, separándose como gotas del conjunto de forma casi instantanea.



*Ilustración 15 High-speed microscopic a)*

## Chip Nebulizador

También conocido como *Atomizador de agua tipo "Grove" de Seeed Technology* es un aparato de nebulización con baja frecuencia de trabajo ( $105 \pm 5$  kHz) y baja potencia de consumo (2W). Se trata de un aparato de pequeñas dimensiones, el transductor tiene forma de moneda y cuenta con un aislamiento de caucho a parte de contar con un pequeño depósito de agua para su nebulización, el agua se filtra por debajo hasta llegar al depósito y seguidamente se nebuliza. Se utiliza en pequeñas superficies de agua. El modelo utilizado en los ensayos es el siguiente:

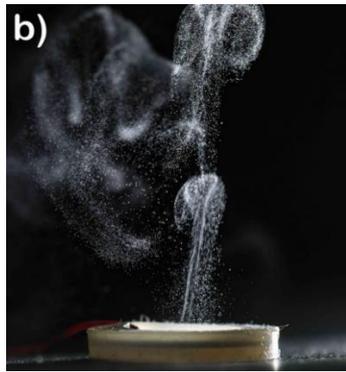


Ilustración 16 Chip Nebulizador

En el estudio con el microscopio de alta velocidad se observa que antes de formarse las gotas por la vibración, se crean unos filamentos, es decir unas pequeñas prolongaciones de la gota con respecto a la superficie del agua antes de que la gota se separe. Esto ocurre a diferencia del ensayo anterior, donde a penas se crea filamento, esto se debe a la considerable diferencia en la frecuencia de trabajo de los respectivos nebulizadores.

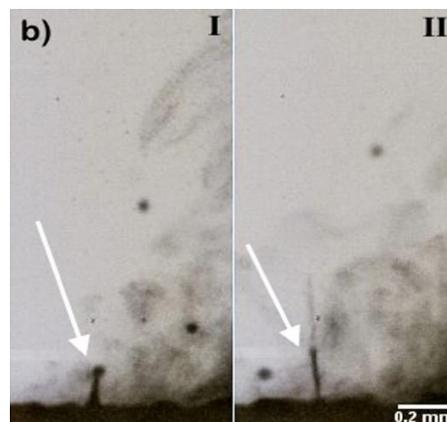
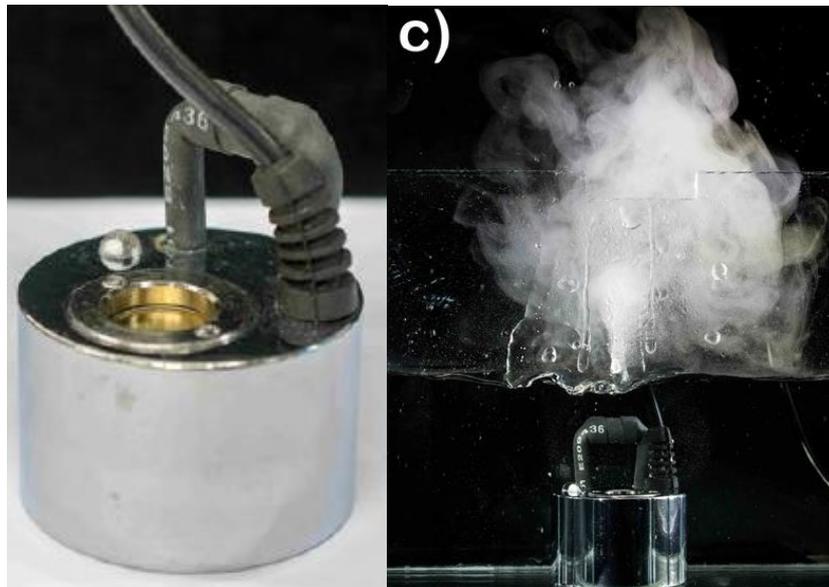


Ilustración 17 High-speed microscopic b)

## Mist Maker

Este es el nebulizador más utilizado en el mercado, ya que se usa bastante, tanto en decoración, como en la humificación de terrazas. Además, este tipo es el utilizado en este trabajo de investigación. A diferencia de los otros tipos, éste trabaja completamente sumergido. La frecuencia de trabajo es de  $1700 \pm 50 \text{ kHz}$  con una potencia de consumo de  $30 \text{ W}$ . Es importante sumergirlo a la profundidad indicada por el fabricante, para evitar que salpique, ya que el objetivo es crear una nube de microgotas de fácil evaporación. La longitud de onda a la que trabaja la placa es demasiado alta para que las partículas de agua puedan seguirla, por lo tanto, la vibración se extiende hasta la vibración y en ese punto se produce la segmentación en microgotas.



*Ilustración 18 Mist Maker y su funcionamiento*

Finalmente se muestran los resultados de los parámetros  $D_{50}$  que es el tamaño medio del diámetro de las gotas medidas en los ensayos, medido en micras. Además, también se registra el parámetro  $D_{50}/\lambda$ , donde relaciona de forma inversamente proporcional la longitud de onda  $\lambda$  con el tamaño medio de la gota.

Los resultados los vemos en la siguiente tabla.

<b>Device</b>	<b>Frequency</b>	<b><math>D_{50}</math> (<math>\mu m</math>)</b>	<b><math>D_{50}/\lambda</math></b>
SAWN small droplets	9.6 MHz	1.1	0.39
Nebulizer chip	$105 \pm 5$ kHz	9.5	0.17
Mist maker	$1700 \pm 50$ kHz	5.6	0.65
<b>Device</b>	<b>Frequency</b>	<b><math>D_{50}</math> (<math>\mu m</math>)</b>	<b><math>D_{50}/\ell</math></b>
SAWN big droplets	—	56	0.16

*Ilustración 19 Tabla de tamaños de gota*

Después de haber hecho una exhaustiva búsqueda de artículos científicos en Scopus, Research Gate y Google Scholar, sobre el uso de la nebulización para mejorar la eficiencia de una máquina de climatización, se ha llegado a la conclusión de que no hay ninguna investigación como la que se está desarrollando en este trabajo. Se han encontrado artículos parecidos, algunos con información muy útil, como el desarrollado anteriormente, que da información sobre el tamaño de gota en la nebulización. Otros donde el objetivo final es el mismo, pero utilizando la nebulización en otro proceso. Por lo tanto, se sigue con este estudio científico con la certeza de que no hay otro igual en el campo de investigación.

### 3 Estudio termodinámico de un refrigerador

En este apartado se va a exponer los fundamentos termodinámicos en los que está basado el funcionamiento de un ciclo de refrigeración por compresión. Para esto se ha cogido de referencia varias fuentes, de las que destacan las siguientes:

(Moran, 1996) y (Lizán Martos, 2020).

#### **Segunda Ley de la Termodinámica**

Las leyes de la termodinámica siempre han estado ahí, solamente se han descubierto estudiando los procesos y todo lo que conlleva. La segunda ley parte de la imposibilidad de procesos que sí cumplieran la primera ley “Principio de conservación de la energía”. Por ejemplo, una taza de café caliente en una habitación de  $T_{amb}$  inferior, tiende a ceder calor hasta que la temperatura de la taza es la misma que la del ambiente. Es decir, la primera ley se cumple en el orden que se produce ese proceso, ahora bien, también se cumpliría en el orden inverso, lo cual es imposible. Después de esa cesión de calor al ambiente, el ambiente no puede devolver a la taza el calor cedido, ésto se define como un proceso irreversible.

Por lo tanto, con la segunda ley de la termodinámica define un concepto llamado entropía, que se define como una energía de “baja calidad”, es la magnitud termodinámica que mide la cantidad de energía de un cuerpo que no es útil para realizar un trabajo.

Hay muchas definiciones de la segunda ley, pero se va a globalizar en “La cantidad de entropía del universo tiende a incrementarse en el tiempo”

## Aplicación de la segunda ley en un ciclo de refrigeración y bomba de calor

El segundo principio pone límites a las prestaciones del ciclo de refrigeración. En la siguiente ilustración, se muestra un ciclo intercambiando calor con dos focos. La transferencia de energía es positiva en la dirección que indican las flechas con la denominación  $Q_H$  y  $Q_L$ . El ciclo descarga una  $Q_H$  como transferencia de calor al foco caliente, que es equivalente al calor absorbido  $Q_L$  del foco frío más el trabajo realizado por el compresor  $W_{cn}$ . Se podría reinvertir el proceso, de esta manera sería una bomba de calor.

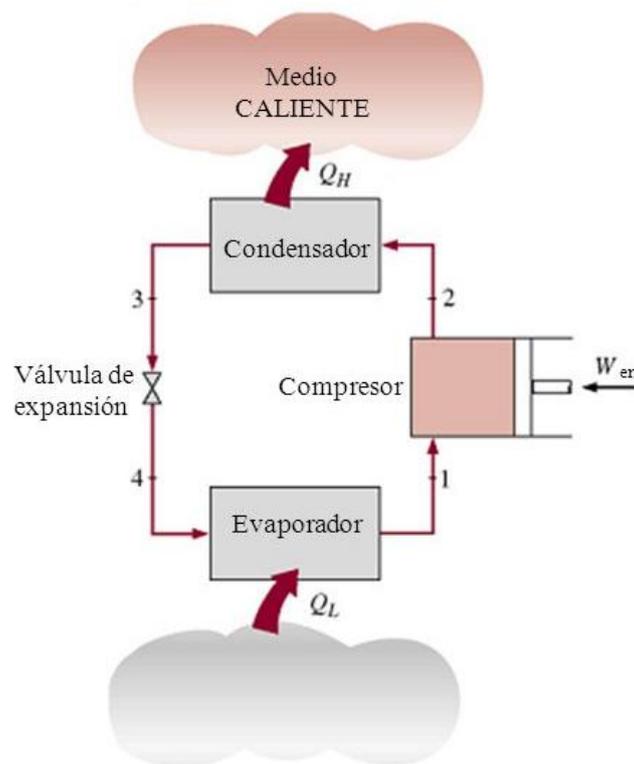


Ilustración 20 Esquema T-s para ciclo ideal de refrigeración por compresión

- Coeficiente de operación de un ciclo de refrigeración.  $COP_{MF}$ .

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

- Coeficiente de operación de una bomba de calor.  $COP_{BC}$ .

$$\gamma = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

Ambos coeficientes pueden ser mayores que uno.  $COP_{BC} = COP_{MF} + 1$

Teniendo en cuenta la expresión anterior y que los valores de  $Q_L$  y  $Q_H$  son constantes, se llega a la conclusión que  $COP_{BC} > 1$  ya que  $COP_{MF}$  siempre será positivo, debido a que la bomba de calor funcionará en el peor de los casos como un calentador de resistencia.

### **Cálculo de las transferencias de trabajo y calor más relevantes de un ciclo de refrigeración.**

En el ciclo de refrigeración por compresión de vapor mostrado en la ilustración anterior, quedan señalizadas las transferencias de calor y energía más importantes. Este sistema se asume como estacionario y se desprecia la energía cinética y potencial. A continuación, se muestran las transferencias más importantes.

- Calor transferido desde el foco frío al refrigerante que fluye por el evaporador, produciendo así la evaporación de éste. Y enfriando el ambiente.

$$Q_L = \dot{m} \times (h_1 - h_4)$$

$\dot{m}$  = Flujo másico de refrigerante.

$Q_L$  = Capacidad de refrigeración, calor específico.

$h_1$  y  $h_2$  = Entalpías de los estados 1 y 2.

- El refrigerante sale del evaporador, y es comprimido por el compresor, aumentando así la presión del refrigerante. Suponiendo que opera adiabática e isoentrópicamente, obtenemos de los balances de masa y energía la siguiente expresión.

$$W = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

$W$  = Potencia consumida por el compresor por unidad de tiempo.

- Después de ser comprimido, el refrigerante transfiere calor al foco caliente a través del condensador, y se condensa

$$Q_H = \dot{m} \times (h_2 - h_3)$$

$Q_H$  = Calor transferido al foco caliente por unidad de tiempo.

- Finalmente, el refrigerante pasa por un proceso de expansión adiabática irreversible, y va acompañada de un aumento de la entropía específica. El refrigerante se expande disminuyendo su presión y temperatura, este proceso es isoentálpico, por lo que:

$$h_3 = h_4$$

Utilizando todas las expresiones calculadas anteriormente, el coeficiente de operación del ciclo de refrigeración por compresión se puede expresar de la siguiente forma:  $COP_{MF} = \beta$

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

### **Comportamiento del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.**

En el estudio del ciclo de refrigeración se hacen varias suposiciones, como no tener en cuenta las irreversibilidades dentro del evaporador y el condensador, y que el refrigerante fluye a presión constante por ambos intercambiadores. Si finalmente se desprecian las irreversibilidades en el compresor y las pérdidas de temperatura, se puede suponer un proceso isoentrópico en la compresión del refrigerante, proceso 1-2, se puede observar en el diagrama T-s de la siguiente ilustración.

En el siguiente diagrama se pueden distinguir los siguientes procesos:

- **Proceso 1-2s:** Compresión isoentrópica del refrigerante en vapor saturado desde el estado 1 hasta la presión del condensador en el estado 2, vapor sobrecalentado.
- **Proceso 2s-3:** Transferencia de calor desde el refrigerante al foco caliente, este proceso se da a presión constante. Finaliza en el estado tres como líquido saturado.
- **Proceso 3-4:** Proceso de expansión, donde el líquido se expande, donde el refrigerante sufre una disminución de presión y temperatura, pasando al estado 4 como mezcla bifásica líquido vapor.
- **Proceso 4-1:** En este proceso el refrigerante absorbe el calor del foco frío, disminuyendo así la temperatura del ambiente, éste fluye a través del evaporador a temperatura y presión constante hasta ser vapor saturado en el estado 1.

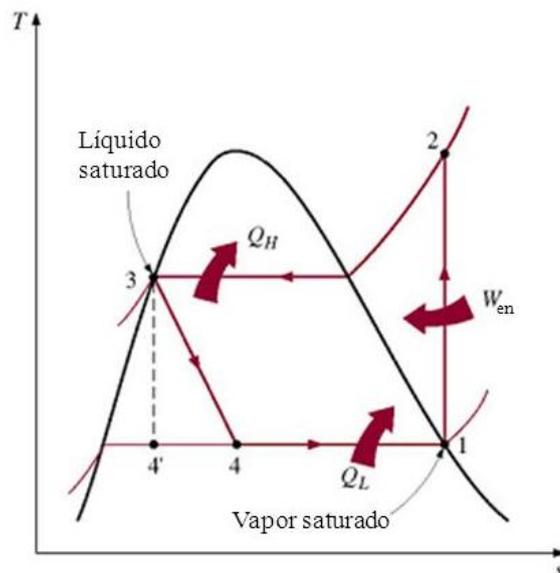


Ilustración 21 Diagrama T-s para ciclo ideal de refrigeración por compresión

## 4 EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN

En este apartado del proyecto se va a realizar una minuciosa descripción de todos los componentes que forman parte de la instalación, así como de las partes que lo forman. Además de nombrar de la instrumentación usada para la medición y recopilación de los datos en cada uno de los ensayos.

### 4.1 Descripción de la instalación

#### ➤ SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

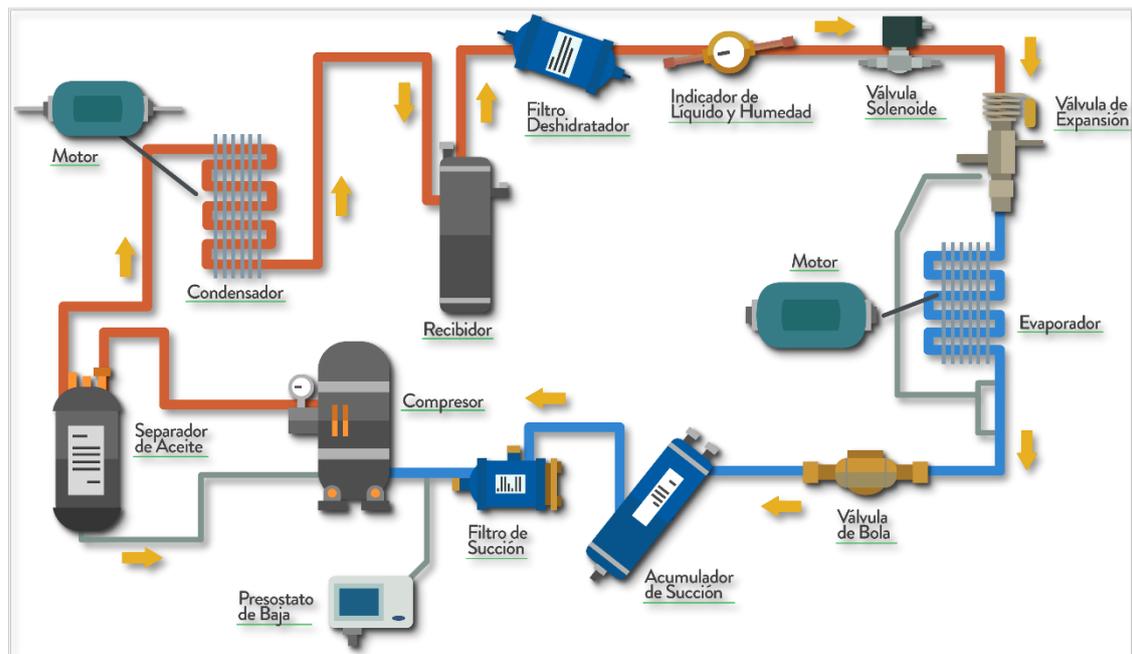
##### **FUNCIONAMIENTO GENERAL**

La descripción que se va a realizar a continuación es de un sistema de refrigeración genérico, es decir, que tanto el esquema como las imágenes de los componentes son ilustraciones para que exista una claridad y sencillez en el desglose. Seguidamente, una vez acabado este primer enfoque, se mostrarán las imágenes del sistema de refrigeración usado en los ensayos.

La función principal de un sistema de refrigeración no es otra que el intercambio de energía en forma de calor entre dos focos que se encuentran a diferente temperatura. En este caso se busca enfriar un foco usando un intercambio de calor a través de un refrigerante, dentro de un circuito cerrado que cuenta con dos niveles claramente diferenciables, uno de alta presión y otro de baja presión.

Un sistema de refrigeración está formado por diferentes componentes, cada uno con una función específica. Se pueden observar estos componentes en la siguiente ilustración, y más adelante la explicación de su funcionamiento.

(Intensity, s.f.)



*Ilustración 22 Sistema de refrigeración por compresión*

De este esque destacamos los siguientes componentes:

**Condensador** Es el aparato que facilita el intercambio de energía del refrigerante al medio exterior. Condensando así el refrigerante, de estado gaseoso a líquido. Por lo tanto, el rendimiento del sistema de refrigeración será mayor cuanto más frío esté el medio en contacto con el condensador.

**Válvula de expansión** Genera la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador. Donde se produce el fenómeno de expansión directa, produciendo la evaporación de una parte del refrigerante absorbiendo el calor latente necesario para este cambio de fase. Este calor absorbido hace enfriar la mezcla bifase del refrigerante que entra en el evaporador y enfría el foco deseado.

**Evaporador** Es el dispositivo que está en contacto con el foco que se quiere enfriar. El refrigerante entra en mezcla bifase después de haber sido expandido, a una baja presión y temperatura, y sale de éste en estado vapor normalmente, con la misma presión que a la entrada. Este proceso se lleva a cabo debido a que el evaporador absorbe el calor sensible del ambiente que se quiere refrigerar, y éste se transforma en el calor latente que necesita el refrigerante para su evaporación.

**Compresor** Tiene dos funciones diferentes en un ciclo de refrigeración por compresión:

- La primera tiene parte en la zona que precede al compresor, actúa como succionador del refrigerante, de esta forma reduce la presión en el evaporador, así se consigue mantener la temperatura deseada en el foco que se quiere refrigerar.
- La segunda función del compresor es aumentar la presión del refrigerante que pasa por el condensador, con el objetivo de aumentar la temperatura de saturación por encima de la temperatura ambiente del foco que va a enfriar el condensador, y así conseguir la condensación del refrigerante.

Para hacer más rápido y eficiente este estudio se ha reducido el esquema del ciclo de refrigeración por compresión, tal y como se desarrolló por primera vez, es decir, con los componentes que forman el ciclo *ideal* de refrigeración por compresión.

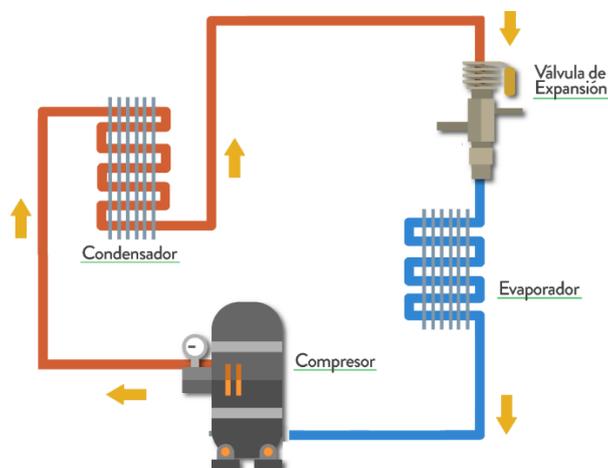


Ilustración 23 Esquema Ciclo de refrigeración por compresión reducido

## CICLO DE REFRIGERACIÓN REAL

En este apartado se describe y se muestra la máquina que tiene a disposición la Universidad Miguel Hernandez para el estudio de este campo en el laboratorio de Máquinas y Motores Térmicos.

El ciclo de refrigeración es de la marca Kaysun, con refrigerante R407C. A partir del documento técnico proporcionado por el fabricante se han obtenido las medidas exactas de los elementos del ciclo de refrigeración.

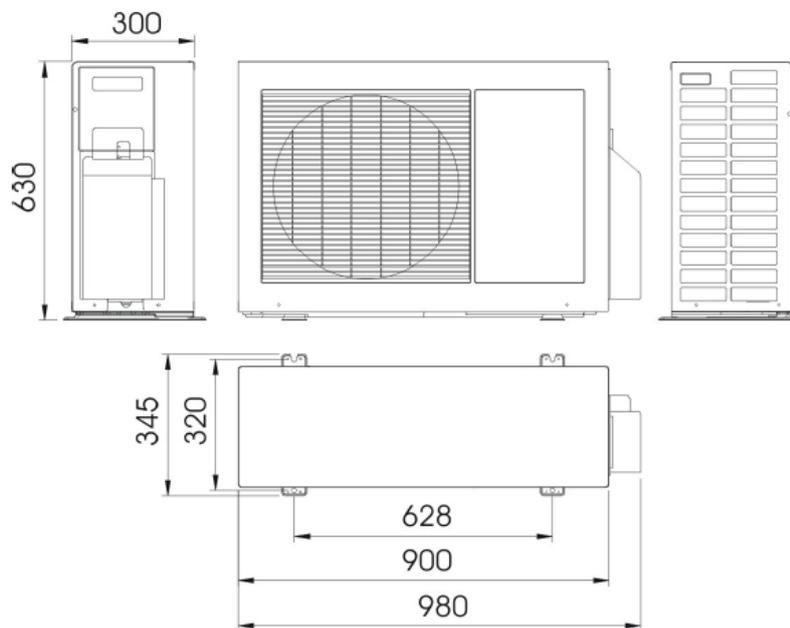


Ilustración 24 Medidas Condensador-Ventilador

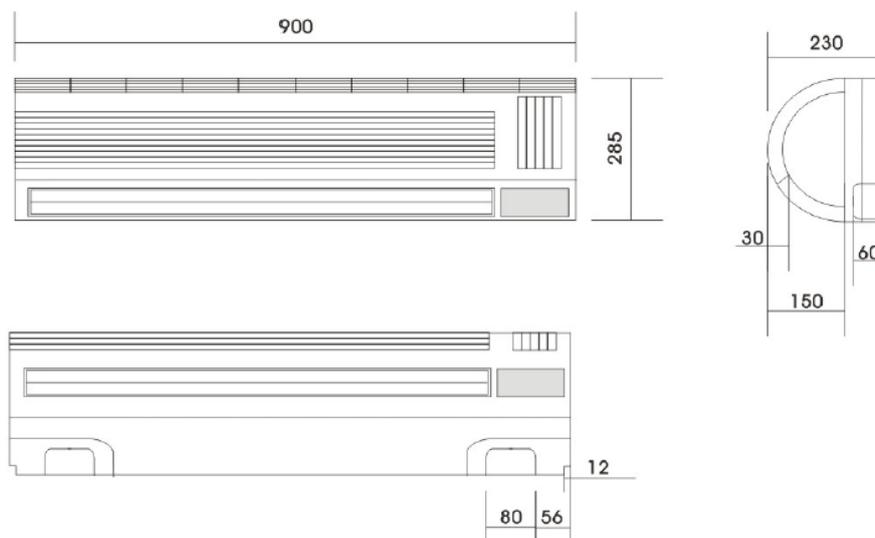


Ilustración 25 Medidas Evaporador

El equipo utilizado en el laboratorio está formado por más componentes que se van a mostrar a lo largo de este apartado. Además, está diseñado exclusivamente para el uso en laboratorio, por eso está sujeto a una estructura móvil con cuatro ruedas. Este accesorio da la posibilidad de mover el equipo con libertad por todo el laboratorio, estableciéndolo y/o encarándolo donde mejor convenga.

En las dos siguientes ilustraciones se puede observar la máquina de aire acondicionado por ambas partes, pudiendo diferenciar con claridad el condensador en la ilustración de la izquierda, y a su vez el evaporador en la ilustración de la derecha. Esta máquina de aire acondicionado cuenta con todos los dispositivos explicados previamente, pero como se puede comprobar en la imagen, son difíciles de indentificar, puesto que muchos de ellos están en el interior de la propia caja que contiene el condensador.



*Ilustración 27 Ciclo Refrigerador Real Cara Condensador*



*Ilustración 26 Ciclo Refrigerador Real Cara del Evaporador*

Usando las medidas del documento técnico del fabricante, y medidas tomadas en el laboratorio de la estructura móvil, se ha hecho una modelización en 3D del equipo, para ello se ha utilizado el software Autodesk Inventor. La finalidad de esta modelización es poder hacer una presentación más clara de las posiciones del ciclo de refrigeración y el nebulizador en su conjunto. La modelización se muestra a continuación:



*Ilustración 28 Vistas de las modelizaciones 3D del ciclo de refrigeración*

### ➤ FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Uno de los dispositivos que forma parte de nuestro sistema de ensayos real es la fuente de alimentación. Este dispositivo se encarga de transformar la corriente eléctrica comercial que llega al laboratorio y a los domicilios en alterna (trifásica) a una corriente continua (monofásica), para el consumo del aparato de refrigeración.

Esta reducción se completa después de que la corriente alterna sea sometida dentro de la fuente de alimentación a varios procesos de notaria importancia, éstos son los siguientes:

- Transformación, en este proceso se consigue la reducción de la tensión, de 230V en trifásica a 24V en monofásica, para ello se utiliza un transformador de bobina.
- Rectificación, en este proceso se asegura que no se produzcan oscilaciones de voltaje en el tiempo, para ello se usa un rectificador o puente Graetz, esto permite que el voltaje no baje de 0, y se mantenga siempre por encima de esa cifra.
- Filtrado, en esta fase se aplanan lo máximo la señal usando varios condensadores, estos retienen la corriente y la dejan pasar lentamente, logrando el efecto deseado.
- Estabilización, una vez se realizan todos los procesos anteriores, finalmente se estabiliza

En la siguiente ilustración se puede observar que se han usado dos cables conectados a presión pisando los bornes con dos ruedas giratorias. Ambos cables van conectados al ciclo de refrigeración, son los que alimentan el sistema con corriente continua. El cable marron conectado en el lado positivo es la fase, y el cable azul conectado en el negativo es el neutro.



*Ilustración 29 Fuente de Alimentación*

## ➤ NEBULIZADOR

En este apartado se va a describir en profundidad el Nebulizador, tanto su funcionamiento general, como el dispositivo utilizado en los ensayos del laboratorio. Para ello se ha usado la información recopilada en un estudio anterior realizado en este mismo laboratorio. Se trata del TFG presentado por María Paz Sánchez Vivó en septiembre de 2019, donde estudia en profundidad el mismo prototipo de nebulización que se ha usado en este estudio.

(Vivó, septiembre 2019)



*Ilustración 30 Nebulizador*

El objetivo principal de este dispositivo es crear e impulsar un caudal controlado de agua nebulizada, que no es otra cosa que microgotas de agua. Además de poder canalizarlo en cierta medida por un sistema de tubos curvados que le dan una dirección concreta, la velocidad de avance será proporcionada por un sistema de ventilación que hará de propulsor.

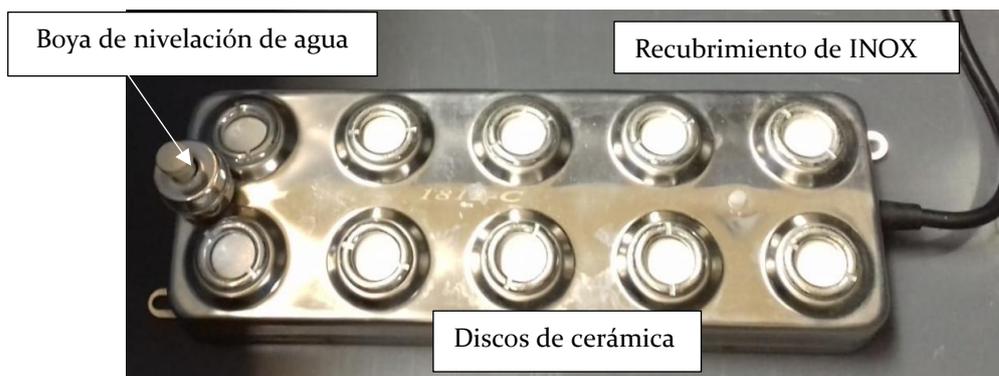
La intervención del nebulizador en este proyecto es el corazón de la investigación. Con él empieza la innovación de encontrar un ahorro y una mejora en el rendimiento de este equipo.

El Nebulizador consta de las siguientes partes:

- Placa de ultrasonidos
- Ventilador
- Depósito de agua
- Tuberías de PVC
- Sistema de activación y control

### Placas de Ultrasonidos

El ultrasonido son ondas acústicas cuya frecuencia está por encima de la capacidad auditiva del ser humano, la cual tiene un máximo cercano a 20kHz. A continuación, se muestra la placa de ultrasonidos usada en este estudio, la cuál ha sido la encargada de crear la frecuencia de ultrasonidos necesaria para la nebulización de agua.



*Ilustración 31 Placa de ultrasonidos*

Esta placa va a estar en contacto constante con el agua, por esta razón está fabricada exclusivamente en acero inoxidable, exceptuando los 8 discos cerámicos, que son los encargados de producir la vibración a alta frecuencia que hemos explicado como ultrasonidos.

Esta vibración será transmitida al agua, sin embargo, el agua líquida no puede seguir el movimiento a esa frecuencia por su inercia, por lo tanto, las moléculas de  $H_2O$  empiezan a desprenderse agrupándose en cantidades cercanas a las 8-9 micras, lo que conocemos como microgotas. Estas microgotas en su conjunto tienen una densidad menor a la del agua líquida  $1Kg/m^3$ , ésto hace que el aire sea capaz de transmitir las.

Debido a que el uso es exclusivo cuando la placa está sumergida, consta de una boya de nivelización de agua, la cual activa el funcionamiento de la placa una vez haya alcanzado el nivel de agua estipulado, ésto asegura un uso correcto de la placa, alargando su vida útil.

A parte del uso que se le ha dado en este estudio a esta placa, es común el uso para la limpieza acuosa, desengrasado, galvanoplastia, tecnología médica, limpieza de moldes, óptica, electrónica, etc.

### **Ventilador**

Será el encargado de propulsar el agua nebulizada, es decir, el conjunto de microgotas producido anteriormente. Es un ventilador de tipo axial, de la marca Corsair, la alimentación es por corriente continua de 12V, como los utilizados en las torres de ordenador.

Para la aplicación del nebulizar en su conjunto, se necesitaba que se pudiese expulsar el agua nebulizada a diferentes velocidades, para ello se dosifica la cantidad de energía consumida por el ventilador, y así controlar la velocidad de giro del ventilador. Ésto se realiza mediante PWM (del inglés: Pulse-Width Modulation), es decir, mediante la modulación por ancho de pulsos. Dicha modulación de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo).

Este ventilador consta de 4 cables diferentes.

- 2 cables de alimentación. (Positivo y Negativo)
- 1 cable para monitorizar la señal.
- 1 cable PWM.
- 



*Ilustración 32 Ventilador de Impulsión*

Para realizar la modulación de la fuente de energía, se utiliza la programación en Arduino de una placa. Este funciona con C++, sin embargo, no existen comandos que gestionen los registros que gobiernan el PMW. Para ello se ha buscado dicha información en la Data Sheet del propio chip del Arduino. A partir de aquí se ha podido hacer una regulación de la velocidad de giro del ventilador. El rango de velocidades esta comprendido entre 400 y 2000 r.p.m. con saltos de 400 r.p.m.

Las velocidades son controladas por una ruleta que puede marcar 5 velocidades diferentes, que son:

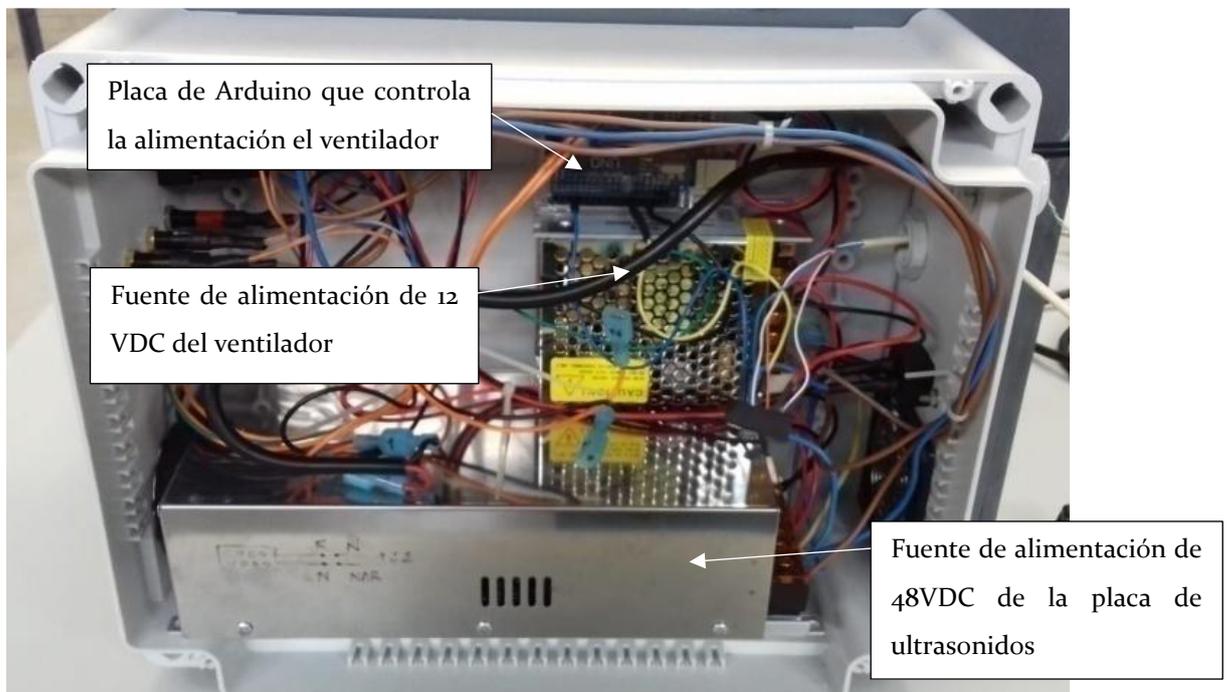
- Velocidad 1 : 400 r.p.m.
- Velocidad 2 : 800 r.p.m.
- Velocidad 3 : 1200 r.p.m.
- Velocidad 4 : 1600 r.p.m.
- Velocidad 5 : 2000 r.p.m.



*Ilustración 33 Sistema de activación del Nebulizador y regulación de su velocidad.*

## Sistema de activación y control

Está compuesta por todos los componentes eléctricos que hacen funcionar el ventilador y la placa de ultrasonidos. Al ser una parte sensible a los impactos y demás agentes externos, se sitúa protegida en el interior de la caja blanca lateral del nebulizador. Se pueden observar los diferentes dispositivos en la siguiente ilustración.



*Ilustración 34 Interior del Sistema de activación y control*

## Depósito de Agua

En el fondo de este depósito va a estar la placa de ultrasonidos fija, para así poder sumergirla en su totalidad de agua. Cuando el nebulizador está en funcionamiento, el nivel de agua va descendiendo, ya que una parte de esta agua es expulsada como agua nebulizada. Por lo tanto, el depósito tiene en su interior instalado una válvula de boya conectada a la tubería de llenado. Esta válvula se encarga de mantener el nivel adecuado de agua, cerrando y abriendo el paso de agua cuando corresponda. Este tipo de boya es el utilizado en las cisternas de uso común.



*Ilustración 35 Válvula de Boya*

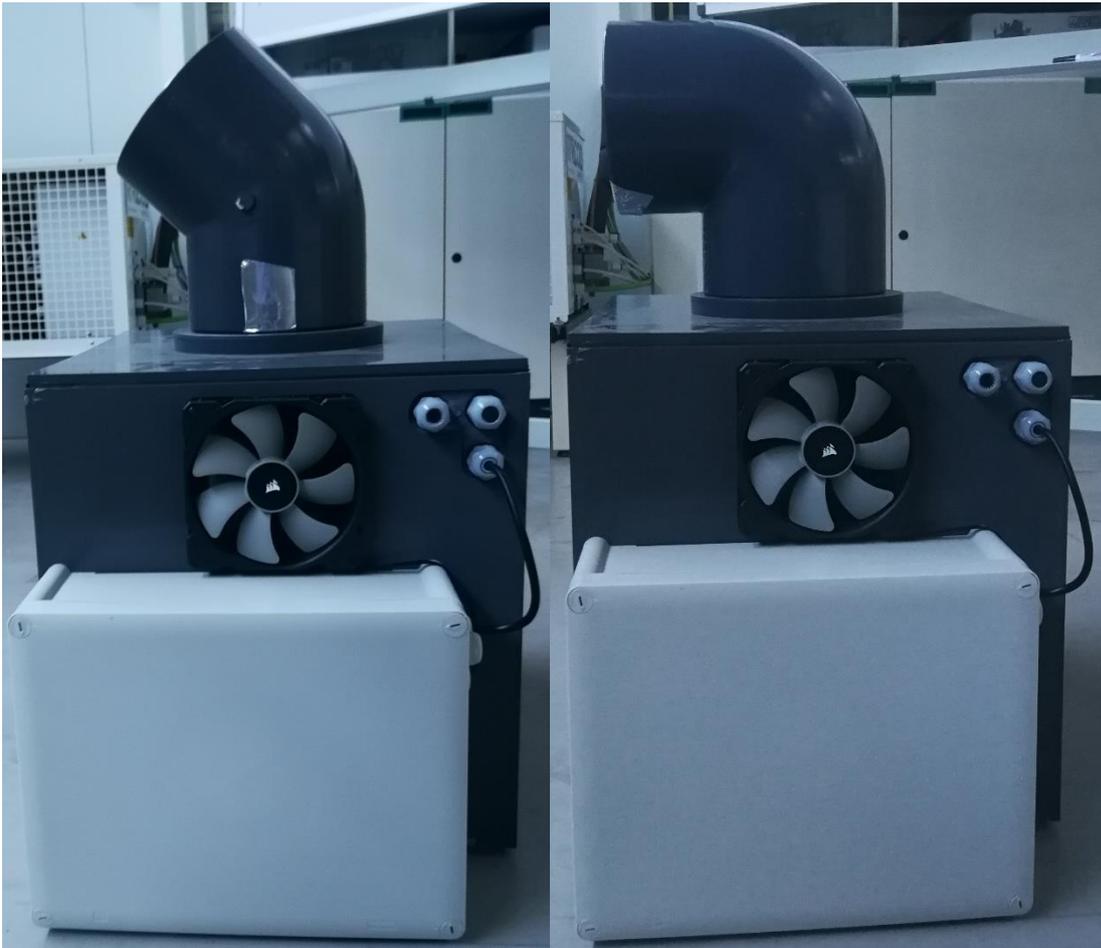
Además, el depósito cuenta con una tubería de desagüe con llave de paso en la parte inferior, por el cual se conecta una manguera para así poder vaciarlo sin necesidad de mover el nebulizador.



*Ilustración 36 Desagüe Nebulizador*

## Tuberías de PVC

Se han utilizado dos opciones de tuberías diferentes en los ensayos. De esta forma se puede variar más en los ensayos, ya que se consigue expulsar la nube con diferente ángulo, ya sea recto a 90 o inclinado a 135°.



*Ilustración 37 Tubo 90° y 135°*

## **FUNCIONALIDAD**

El objetivo final del dispositivo es canalizar toda el agua nebulizada posible a través del condensador del ciclo de refrigeración, con la finalidad de bajar la temperatura ambiente que está en contacto con los tubos del condensador. De esta manera se conseguirá disminuir la temperatura del refrigerante previamente comprimido, cuanto más calor se consiga eliminar mejor será la eficiencia del ciclo.

Las microgotas formadas tienen una densidad en su conjunto menor que el agua en estado líquido, por esta razón se consigue que la nube se sustente en el aire el tiempo suficiente para ser impulsado en una dirección concreta. A su vez, estas microgotas se evaporan con mayor facilidad en el ambiente, por ello se consigue el fenómeno de enfriamiento, puesto que las microgotas absorben el calor sensible necesario para este cambio de fase del propio ambiente, bajando la temperatura de éste como resultado.

## 4.2 Descripción de la instrumentación

Después de haber terminado con el montaje y puesta a punto de toda la instalación, se ha añadido una amplia variedad de instrumentación de medida. Teniendo como finalidad poder registrar todos los parámetros posibles para un correcto estudio del prototipo. Esta instalación cuenta con un registro total de 28 parámetros, en los que se encuentran diferentes campos de medida, como temperatura, velocidad, presión...

Estos son los instrumentos de medida que se han necesitado en este equipo:

- 8 Termopares de temperatura tipo k.
- 6 RTD pt100 de 4 hilos.
- 3 Termohigrómetro
- 2 Transmisores de presión.
- 1 Anemómetro de hilo caliente.
- 2 Resistencias Shunt.

### ➤ TERMOPAR

Su funcionamiento está basado en el principio termoeléctrico, el cuál explica la aparición de tensión cuando un conductor es sometido a un gradiente térmico. El termopar utiliza dos conductores diferentes y enlazados entre si. Ambos son sometidos al mismo gradiente de temperatura, lo que crea en ellos dos tensiones diferentes, de esta forma se puede medir la diferencia de potencial que existe entre ellos.

Están disponibles en diferentes combinaciones de metales para abarcar todos los rangos posibles de funcionamiento. Los tres más comunes son K, T y J. Existen calibraciones de alta temperatura que llegan a cubrir los 2320°C, éstos están hechos de metales preciosos (platino/ rodio y tungsteno/ renio), y son relativamente caros.

Termopar tipo K: éste tiene un conductor positivo de Ni-Cr y otro negativo Ni-Al. Es el más común debido a su calidad-precio, con una sensibilidad de  $41\text{V}/\text{C}$  y un rango de temperaturas que abarca  $-200^{\circ}\text{C}$  hasta  $1350^{\circ}\text{C}$ . Está dentro de la familia de termopares magnéticos debido al Ni, lo que conlleva una desviación en la salida cuando el material alcanza su punto de Curie, este fenómeno aparece a partir de los  $350^{\circ}\text{C}$ .

En esta instalación se han colocado 8 de este tipo. El primero se usa para medir la temperatura del agua del nebulizador y se localiza dentro de su depósito (TP\_AGUA). El segundo se usa para medir la temperatura de la nube de agua nebulizada, y se ha colocado donde mejor se haya podido medir ésta (TP\_MIST).

Los otros 6 están colocados en el interior del ciclo de refrigeración, en los puntos claves del circuito donde las propiedades físicas del refrigerante son alteradas por los diferentes componentes que forman el ciclo. Las posiciones son las siguientes:

- TP 1, en la salida del evaporador.
- TP 2, en la entrada del compresor.
- TP 3, en la salida del compresor.
- TP 4, en la entrada del evaporador.
- TP 5, en la salida del evaporador.
- TP 6, en la salida de la válvula de expansión.



*Ilustración 38 TermoPar tipo k*

## ➤ TERMOHIGRÓMETRO

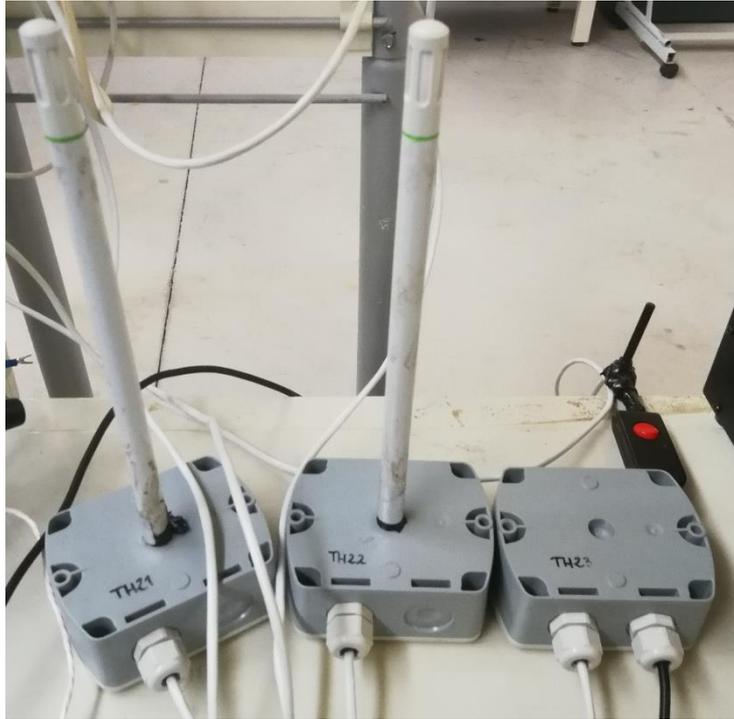
Este instrumento de medición tiene la función de registrar la temperatura y la humedad ambiental simultáneamente. De aquí su nombre:

- Termómetro: mide la temperatura.
- Higrómetro: mide la humedad ambiente.

Estas características son idóneas para determinar el confort de un habitáculo, y saber en que condiciones ambientales se actuar para el uso que se le quiera dar. Por lo tanto, es clave en el campo de calefacción y refrigeración, lo que abarca un abanico bastante amplio, ya sea una tienda, polideportivo o una cámara frigorífica.

En este estudio se ha utilizado la sonda modelo EE210, un modelo óptimo para los ensayos que se desean realizar por su elevada exactitud de medida, además de contar con una carcasa de protección de alta dureza. El sensor de temperatura está disponible con salida analógica o digital; para la salida analógica es configurable entre una salida de corriente o una de voltaje; mientras que la salida digital usa una interfaz del tipo RS285.

En este estudio hemos utilizado 3 unidades de este tipo. El primero se ha utilizado para registrar datos del ambiente (TH\_21T, TH\_21HR). El segundo se ha colocado a la entrada del condensador (TH\_22T, TH\_22HR). Y el tercero se ha colocado a su salida (TH\_23T, TH\_23HR), éste último contaba con una prolongación en el sensor de medición como se aprecia en las siguientes ilustraciones.



*Ilustración 39 Termo-higrómetro*



*Ilustración 40 Termo-higrómetro 23*

➤ RTD (Resistance Temperature Detector)

Se trata de un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura, la variación es lineal con coeficiente de temperatura positivo.

La variación de la resistencia puede ser expresada de manera polinómica como sigue a continuación. Por lo general, la variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R = R_0 \times (1 + \alpha \times \Delta T)$$

$R_0$  es la resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$ .

$\Delta T$  es la desviación de la temperatura respecto a  $T_0$ .

$\alpha$  es el coeficiente de temperatura del conductor que se esté usando a  $0^\circ\text{C}$ . Lo más conveniente es que sea un valor elevado y constante con la temperatura.

Para la puesta en marcha de este sensor, es necesario una alimentación que haga pasar una corriente eléctrica por el sensor, por lo tanto, se produce el fenómeno del efecto Joule. Este efecto es coloquialmente conocido como calefacción, por lo que se debe tener en cuenta al usar este tipo de sensor. El paso de electrones por el conductor choca bruscamente con los núcleos de los átomos del conductor, elevando así su temperatura, si esto no se tiene en cuenta dentro de sus límites, la medición puede dar un dato falseado.

$$E = V \times I \times t \rightarrow \frac{1}{t} \rightarrow P = I^2 \times R$$

Los materiales empleados para la construcción de estos sensores varían dependiendo de las características que se deseen, los materiales más utilizados son los siguientes; cobre, níquel, molibdeno o platino. Sin embargo, el más utilizado es el platino ya que cuenta con las mejores prestaciones, sus características principales son:

- Alta resistividad, comparado con los otros materiales, para un mismo valor óhmico, la masa del sensor es mucho menor, por lo que la respuesta es más rápida. ( $10.6 \mu\Omega\text{cm}$ )
- Ofrece un margen de temperatura mayor.
- Alta linealidad
- Alta sensibilidad debido al bajo valor de  $\alpha=0.00385 (\Omega / \Omega/^{\circ}\text{C})$ .

El sensor más común que cuenta con platino y que además ha sido el utilizado en estos ensayos es el **Pt100**, es decir,  $R_0=100\Omega$  cuando  $T_0=0^{\circ}\text{C}$ . En los ensayos se han usado 6 RTD como los de la ilustración de abajo. Todos ellos están situados en el interior del ciclo de refrigeración, compartiendo posición con los termopares en puntos clave de la instalación. Esto nos permite hacer una comparación entre la medición del Termopar y el RTD. La designación que se le ha dado a estos sensores es la siguiente:

- RTD 1, en la salida del evaporador.
- RTD 2, en la entrada del compresor.
- RTD 3, en la salida del compresor.
- RTD 4, en la entrada del evaporador.
- RTD 5, en la salida del evaporador.
- RTD 6, en la salida de la válvula de expansión.



*Ilustración 41 RTD Pt100 de los ensayos*

## ➤ ANENÓMETRO

Se trata de un elemento electromecánico que se encarga de medir la velocidad del viento que incide sobre él. El campo de trabajo de este instrumento de medición es muy amplio. Destaca la predicción meteorológica con el uso del anemómetro tipo molinete o la conducción de aeronaves donde se suele usar el anemómetro de tipo de filamento caliente. Por lo tanto, se puede hacer una clasificación de los tipos de anemómetro.

- Anemómetro de rotación, de hélice o molinete.
- Anemómetro de empuje.
- Anemómetro sónico.
- Anemómetro de hilo caliente.
- Anemómetro de presión hidrodinámica.
- Anemómetro láser.

En el equipo utilizado en los ensayos se ha utilizado un anemómetro de hilo caliente (EE65-C), colocarlo dentro de la caja que contiene al condensador, a partir de él se podrá medir la velocidad con la que el ventilador atrae la nube de agua nebulizada a través del condensador. El principio físico de funcionamiento de los anemómetros de hilo caliente está basado en la transferencia de calor por convección entre el hilo calentado y el flujo pasando a su alrededor. En estos sensores, una pequeña estructura es calentada y expuesta al flujo para medir el intercambio térmico que se produce. La relación entre la velocidad del flujo y la tensión de salida es deducida sobre la base de las ecuaciones de transferencia de calor, tomando por referencia la potencia generada por la corriente eléctrica que pasa por el hilo. El sensor es calentado por una corriente eléctrica  $I_y$  enfriado proporcionalmente, de acuerdo al componente de la velocidad del aire que incide perpendicular al elemento sensible.



Ilustración 42 Modelo usado en los ensayos

### ➤ RESISTENCIAS SHUNT

Es importante nombrar otros dispositivos de importancia en el equipo de trabajo, como las resistencias “shunt”, de las cuales se han usado 3 de ellas, cada una asociada a un componente de la máquina de frío diferente, ventilador, condensador y compresor. Es una carga resistiva a través de la cual se deriva una corriente eléctrica. Esta resistencia es conocida con exactitud, cuando pasa la intensidad por ella, se produce una caída de tensión que el equipo va a registrar. Sabiendo la caída de tensión, el valor de la resistencia y usando lógicamente el fundamento de la ley de Ohm, se obtendrá el valor de esa intensidad que alimenta el equipo. A diferencia de la mayoría del resto de componentes, éste es específico de este equipo de trabajo, su finalidad es saber la diferencia de potencial que hay en aparato al que está conectado.

**Derivador, HOBUT, SHR100MA75, Placa, 100 mA,  
75mV,  $\pm 1,5\%$**

Código RS 257-329  
Fabricante HOBUT  
N° ref. fabric. SHR100MA75



Ilustración 43 Resistencia Shunt

## ➤ TRANSMISOR DE PRESIÓN

Se trata de un instrumento que necesita la aportación de un sensor que capte el valor de la presión, o la variación de ésta. Seguidamente el transmisor convierte el valor de presión a una señal eléctrica, se logra mediante el fenómeno de la deformación física del diafragma de la presión, que produce un cambio de resistencia eléctrica proporcional a la presión.

En el equipo se utilizan dos transmisores de presión, antes y después del compresor. Identificando así dos partes claras dentro del ciclo de refrigeración, la zona de alta presión, donde se encuentra el condensador, y la zona de baja presión, donde está el evaporador.

### **Transmisor de baja “Danfoss MBS 3000”**



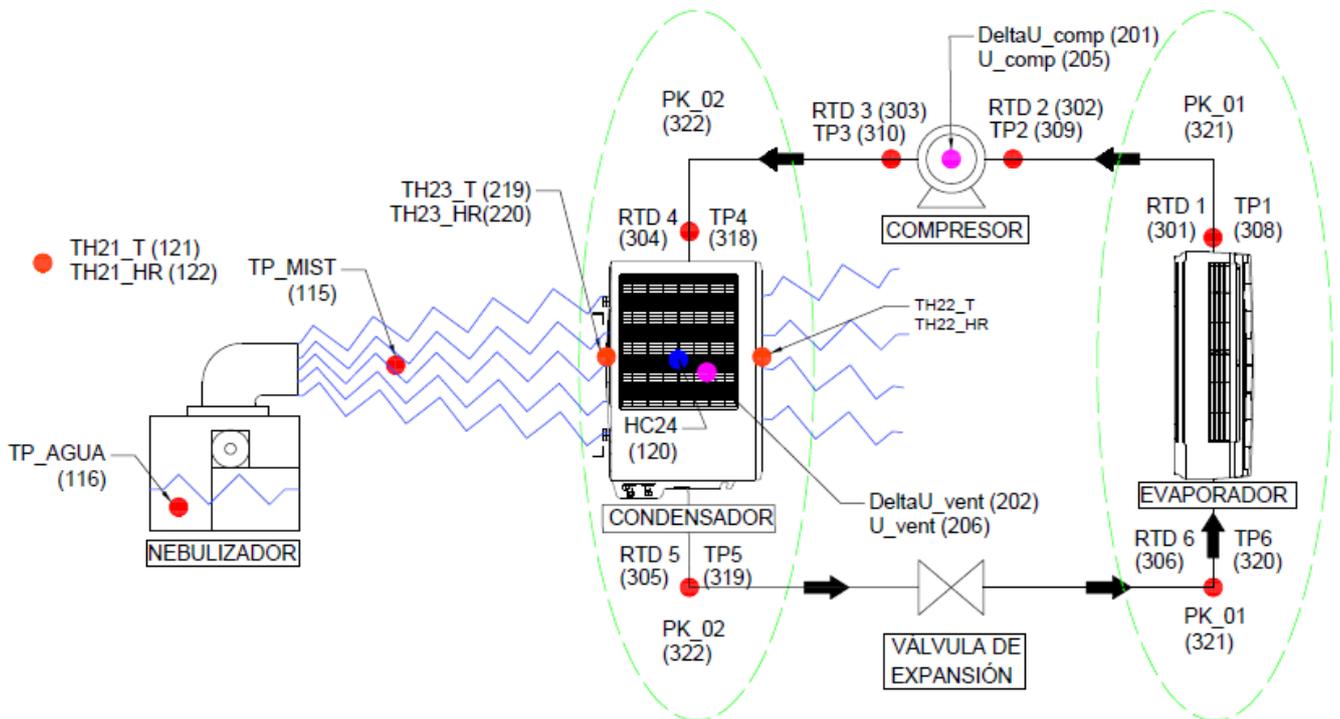
*Ilustración 44 Transmisor de presión Danfoss MBS 3000*

### **Transmisor de alta “Wika tipo A-10”**



*Ilustración 45 Transmisor de presión Wika*

En la siguiente ilustración se puede observar un esquema donde se muestran los componentes más importantes de la instalación, además de todos y cada uno de los instrumentos de medida que se han usado. Se ha hecho para conocer la localización de los instrumentos de medida, además de la designación que se le ha dado en el DataLogger a cada uno de ellos, con su número de medida en las tarjetas.



- Indicadores de temperatura  
Termopar y RTD
- Indicadores de temperatura y humedad  
Termo-higrómetro
- Indicadores de presión  
Manómetro
- Indicadores de caída de Tensión  
Voltímetro
- Indicadores de velocidad del aire  
Anemómetro

### 4.3 Sistema de adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos, conocido como “DataLogger”, es un dispositivo electrónico que registra datos en un periodo controlado de tiempo por medio de una serie de sensores e instrumentos de medición. Por lo general están equipados con un microprocesador y memoria interna para el almacenamiento de datos. Además de contar con conexión a un ordenador particular para mostrar todos los registros a través de un software específico.

El DataLogger utilizado en estos ensayos es el modelo *Agilent 34970A*. Para que éste funcione se ha conectado a una fuente de alimentación que admite un suministro comprendido entre 12V y 36V, en los ensayos se ha fijado en un valor constante de tensión de 24V.

#### ➤ DataLogger Agilent 34970

- ✓ Mainframe de 3 ranuras con multímetro digital que presenta 6 1/2 dígitos, 22 bits, de resolución incorporados, cuenta con una Exactitud de DCV básica de 0,004%. Todas estas características se combinan con una velocidad de barrido en la lectura de 250 canales por segundo. Todo esto proporciona una velocidad y Exactitud en la medida y registro necesaria y óptima para estos ensayos.
- ✓ Mide y convierte hasta 11 señales de entrada distintas.
- ✓ Conectividad con el PC. Uso de interfaces GPIB, RS-232, LAN o USB, USB2.0. Por lo que puede conectarse a un PC moderno sin tener que adquirir tarjetas GPIB, cables o convertidores. Además, la conexión LAN estándar ofrece la ventaja adicional de una interfaz gráfica web que facilita la configuración de las medidas y la monitorización de los resultados.
- ✓ La unidad también presenta un puerto de memoria USB.
- ✓ Incluye un software llamado BenchLink Data Logger para configurar y controlar pruebas, mostrar resultados y recopilar datos para su posterior análisis. Este software será explicado minuciosamente a lo largo de este estudio.



- Hasta 96 puntos de cruce de matriz o 120 canales single-ended.
- Ocho módulos conectables de conmutación y de control a elegir.
- Agilent BenchLink Data Logger 3, drivers IVI-CC, IVI-COM y drivers para Agilent VEE y NI LabView

Ilustración 46 DataLogger Agilent 34970 Pantalla  
34970A

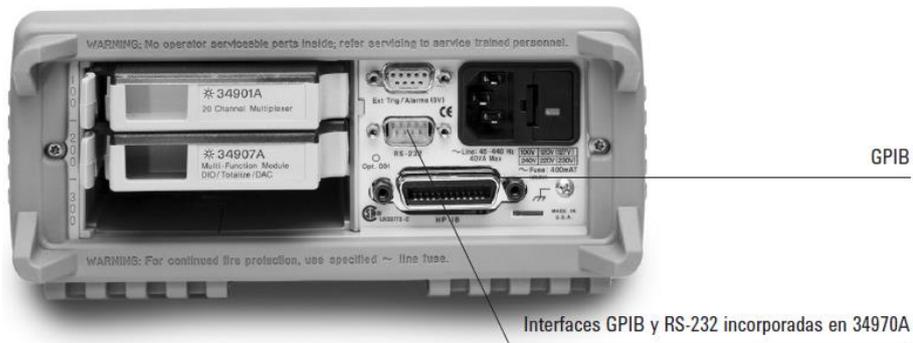


Ilustración 47 DataLogger Agilent 34970 back



Ilustración 48 DataLogger Agilent 34970 de los ensayos

## Monitorización y caracterización del DataLogger

La unidad 34970A de Agilent resulta familiar a la hora de su uso en multitud de aplicaciones de registro de datos y monitorización, ya sea con un ordenador o de forma independiente. El diseño de este modelo ofrece la posibilidad de utilizar una franja de canales comprendida entre 20 y 120, pudiendo agregarse canales de actuador, I/O digitales y salida analógica para simplificar el control.

La unidad 34970A mide y convierte 11 señales de entrada distintas:

- Temperatura con termopares, RTD y termistores
- Tension DC y AC
- Resistencia a 2 y 4 hilos
- Frecuencia y periodo
- Corriente DC y AC

Los canales se configuran de forma independiente. Esto significa que se puede configurar el canal 1 para un termopar tipo k, el canal 2 para DVC, y los canales 3 y 13 para RTD a 4 hilos, todo en el mismo módulo y en un único barrido. Para conversiones lineales personalizadas, utilice la función de escalado  $Mx + B$  en cualquier canal. Incluso puede visualizarse una etiqueta personalizada de 3 caracteres, como RPM o PSI, para identificar sus unidades de medida.

Las alarmas también están disponibles por cada canal. Introduzca un límite alto, un límite bajo o ambos.

Un modo de visualización especial monitoriza un canal de entrada seleccionado, actualizando continuamente la pantalla con nuevas lecturas, incluso durante un barrido.

## **Lista de características del registro de datos**

- De 1 a 120 canales de entrada analógica
- Medidas de tensiones DC y AC, de temperatura con termopar, RTD y termistor, resistencia a 2 y 4 hilos, corriente DC y AC, frecuencia y periodo
- 6½ dígitos (22 bits) de resolución con Exactitud de DCV básica a un año del 0,004 %
- 50 000 lecturas de memoria no volátil, incluido registro en función del tiempo
- Escala y alarmas disponibles en cada canal
- Panel frontal con todas las funciones para una configuración independiente, solución de problemas y visualización de datos
- Almacenamiento no volátil para 5 estados de instrumentos completos
- Interfaces LAN o USB incorporadas para dar soporte a las aplicaciones de registro de datos remoto (solo 34972A)
- Software BenchLink Data Logger 3 para configuración y análisis de datos

## **Software BenchLink Data Logger 3**

Esta aplicación ha sido la utilizada en los ensayos de este estudio, está basada en Windows. Su finalidad es recopilar y analizar medidas en el ordenador particular. Se puede utilizar para configurar las pruebas, adquirir y archivar datos de medida, y realizar visualizaciones y análisis en tiempo real de las medidas entrantes.

Una interfaz familiar de hojas de cálculo facilita la configuración y control de los ensayos realizados. Y un amplio conjunto de gráficos de cada señal ayuda a ordenar y analizar los datos registrados, para ello el software cuenta con herramientas para cambiar el color y las referencias de escalas de estos gráficos.

Además, *Software BenchLink Data Logger 3* cuenta con la posibilidad de guardar y exportar todos los datos registrados a otros programas, para facilitar así el estudio. Esto se ha realizado exportando los datos en formato .csv para luego poder trabajar en Excel.

## MULTIPLEXOR 34901A

También conocido como tarjeta de recopilación de datos analógico, o módulos, la unidad utilizada cuenta como se ha explicado anteriormente con 3 ranuras para localizar 3 diferentes *MULTIPLEXOR 34901A*.

Las características son las siguientes:

Multiplexor para uso general de 20 canales

- Barrido de 60 canales/s
- Barrido a 2 y 4 hilos
- Unión de referencia de termopar incorporada
- Conmutación de 300 V

El multiplexor 34901A de Agilent es el aparato más versátil para barridos generales. Combina una densa conmutación multifunción con velocidades de barrido de 60 canales/segundo para responder a una amplia gama de aplicaciones de adquisición de datos.

En el mismo módulo pueden mezclarse canales a 2 y 4 hilos. Dos entradas con fusible adicionales (22 canales en total) enrutan hasta 1 A de corriente hacia el multímetro digital interno, permitiendo corrientes AC y DC sin tener que usar resistencias shunt externas.

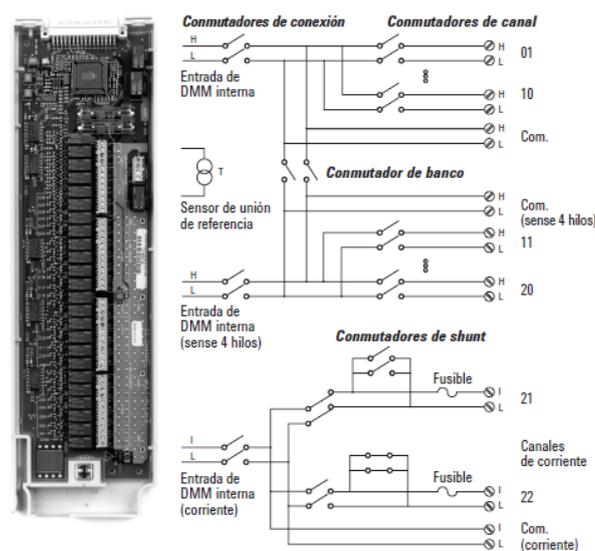


Ilustración 49 Multiplexor 34901A

En este tipo de módulos solo se dispone de dos canales para el registro de la intensidad. En el caso de que se necesite la medición de una tercera intensidad, es posible modificar un canal de registro de tensión con una resistencia tipo shunt, de esta manera, conociendo el valor de la resistencia y de la tensión medida, por medio de la ley de Ohm se podrá conocer la intensidad.

### **Errores en la medida**

Se deben tener en cuenta los posibles errores en la medición de los datos, las posibilidades de errores más frecuentes son las siguientes:

#### ➤ Errores debidos al cableado

Debido a un uso indebido de la instrumentación, o simplemente el paso del tiempo, pueden producirse una ineficacia en el cableado por estar en mal estado.

También hay que tener en cuenta factores externos al equipo que pueden influir al correcto funcionamiento del equipo. Uno de estos factores pueden ser la interferencias por radiofrecuencia. El equipo puede mostrar lecturas falseadas por la presencia de señales de aparatos de radio o de teléfonos móviles. Además hay que intentar prevenir realizar mediciones cerca de campos magnéticos, ya que pueden causar tensiones inducidas y si es así la lectura será errónea.

#### ➤ Errores debidos a la medición de tensión en CC

Muchos de los instrumentos que funcionan con CC cuentan con un transformador de energía, el cual sufre capacitancias residuales que pueden producir pequeñas corrientes que hagan falsear la lectura original.

Errores de carga debidos a la resistencia de entrada. Estos errores se producen cuando la resistencia del dispositivo al medir, es un porcentaje alto de la resistencia del propio instrumento.

Errores debidos a la polarización de los dispositivos semiconductores del equipo. La polarización en estos dispositivos son pérdidas que aumentan de valor con el incremento de temperatura. Esta es la razón por la que hay que evitar que el *DataLogger* se caliente.

➤ Errores debidos a la medición de tensión en CA

Errores del factor de cresta, la medida deja de ser precisa debido a que la señal no sea senoidal.

Errores producidos por el coeficiente de temperatura y sobrecarga.

Errores debidos a una señal de corriente alterna de menos de 100mV.

➤ Errores debidos a la medición de corriente

Errores tanto en la medición de CC y CA, se puede producir un error debido a la tensión de carga en los dos tipos de corriente. Esto se produce al conectar la tarjeta de adquisición de datos en serie con un circuito para medir la intensidad que pasa por él en los dos tipos de corriente.

➤ Errores debidos a la medición de resistencia

Errores producidos por la aparición de tensiones en el cableado, esto produce una inexactitud en la lectura de los datos.

➤ Errores debidos a la medición de frecuencia y periodo

Errores que aparecen al medir bajas frecuencias y tensiones, debido al ruido interno y externo que llega al sistema de adquisición de datos. En el caso del error producido en la frecuencia, es inversamente proporcional a ella.

## 4.4 Listado de sondas de medidas y canales

En este apartado se van a mostrar dos tablas de forma consecutiva. En la primera tabla, mostrada a continuación, se va a detallar la instrumentación utilizada de una manera más exacta. Indicando sus características principales, sensor y nominación, marca y modelo concreto, rangos de medida, exactitud de medida, y el rango de salida que tienen estos sensores.

Tabla 1 Características principales de la instrumentación

Sensor y Nominación	Marca	Variable a medir	Rango de medida	Exactitud	Rango de salida
Termo-higrómetro 21	E+E Elektronik (EE210)	T[°C] HR[%]	-40...80°C 0...100%	±0,3°C ±02%	4 : 20 mA
Termo-higrómetro 22	E+E Elektronik (EE210)	T[°C] HR[%]	-40...80°C 0...100%	±0,3°C ±02%	0 : 10 V
RTD pt100	TC R100-A-RS67	T[°C]	-50...200°C	±0,5°C	Directa por el Agilent
Termopar TP	RS-PRO Type K Class1	T[°C]	-75...250°C	±1,5°C	Directa por el Agilent
Anenómetro de hilo caliente HC24	E+E Elektronik	V(m/s)	0...20 m/s	4 : 20 mA 0 : 10 V	4 : 20 mA 0 : 10 V
Transductor presión de baja PK_01	Danfoss 060G1133 MBS-3000	bar	0 ÷ 16 bar	±1 %	4 : 20 mA
Transductor presión de alta PK_02	Wica Tipo A-10	bar	0 ÷ 40 bar	<±1 %	4 : 20 mA
U_comp	Shunt	Volt(V)	0 ÷ 300 V	-	Directa por el Agilent
DeltaU_comp	Shunt	Volt(V)	0 ÷ 100 mV	-	Directa por el Agilent
U_vent	Shunt	Volt(V)	0 ÷ 300V	-	Directa por el Agilent
DeltaU_vent	Shunt	Volt(V)	0 ÷ 1V	-	Directa por el Agilent

En la segunda tabla se muestra la configuración que se ha hecho en el software “Software BenchLink Data Logger 3” de la instrumentación conectada a las tarjetas de adquisición de datos.

Una vez hecha la conexión de la instrumentación en las tarjetas de adquisición de datos, el Data Logger reconoce las señales emitidas y aparecen en el software. Sin embargo, hay que ajustar los parámetros de ganancia (gain) y desfase (offset) de cada uno de los instrumentos que se registran, los datos necesarios para este proceso son proporcionados por el fabricante.

Se parte de conocer el comportamiento de medición de los sensores, que es lineal ( $y=mx+n$ ). Se usan los datos de la tabla anterior, el “Rango de medida” y el “Rango de salida” que representan los valores máximos de esa instrumentación en concreto. Seguidamente relacionando estos valores mediante ecuaciones equivalentes se obtienen los valores de la pendiente (*Gain, m*) y el valor donde la recta corta el eje de ordenadas (*offset, n*).

Con todo esto se consigue una relación entre las unidades del SI y la intensidad que ha circulado por la instrumentación utilizada, es decir, los instrumentos conectados en los canales de medición destinados al paso de corriente. Sin embargo, este proceso de ajuste de los parámetros de gain y offset también se ha aplicado a aquellos canales de la tarjeta destinados al registro de voltajes, para ello se han usado las resistencias “shunt”.

A continuación, se va a mostrar el ejemplo del procedimiento de obtención del Gain y Offset. Se ha realizado con la humedad relativa. El resto de las sondas se calculará exactamente igual, solo habrá que sustituir los datos de ‘rango de medida y salida. Seguidamente aparece la segunda tabla nombrada anteriormente con todos los gans y offsets.

<b><i>Humedad Relativa</i></b>	<b><i>Salida</i></b>
0%	4mA
100%	20mA

$$\frac{100\% - 0\%}{20\text{mA} - 4\text{mA}} = \frac{y - 0\%}{x - 4\text{mA}}$$

$$y = (6250x - 25)$$

Tabla 2 Rangos de salida y medida de la Humedad Relativa.

Tabla 3 Configuración de la instrumentación

Nombre	Canal	Tipo de señal a medir	Rango	Gain	Offset	Variable a medir
INTERRUPTOR	102	Two-Wire Ohms	Auto	1	0	OHM
TP_MIST	115	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
TP_AGUA	116	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
HC24	120	DC Voltage	+/- 10 V	1	0	m/s
TH21_T	121	DC Current	100 mA	6250	-25	T[°C]
TH21_HR	122	DC Current	100 mA	6250	-25	HR[%]
DeltaU_comp	201	AC Voltage	100 mV	1	0	VAC
DeltaU_vent	202	AC Voltage	1 V	1	0	VAC
U_comp	205	AC Voltage	300 V	1	0	VAC
U_vent	206	AC Voltage	300 V	1	0	VAC
TH23_T	219	DC Voltage	+/- 1 V	125,136825	-25	T[°C]
TH23_HR	220	DC Voltage	+/- 1 V	125,03461	-25	HR[%]
TH22_T	221	DC Current	100 mA	6250	-25	T[°C]
TH22_HR	222	DC Current	100 mA	6250	-25	HR[%]
RTD1	301	Temp 4-Wire RTD	None	1	0	T[°C]
RTD2	302	Temp 4-Wire RTD	None	1	0	T[°C]

RTD3	303	Temp 4-Wire RTD	None	1	0	T[°C]
RTD4	304	Temp 4-Wire RTD	None	1	0	T[°C]
RTD5	305	Temp 4-Wire RTD	None	1	0	T[°C]
RTD6	306	Temp 4-Wire RTD	None	1	0	T[°C]
TP1	308	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
TP2	309	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
TP3	310	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
TP4	318	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
TP5	319	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
TP6	320	Temp (Type K)	None	1	0	T[°C]
P0_01	321	DC Current	100 mA	1000	-4	BAR
PK_02	322	DC Current	100 mA	2500	-10	BAR

## 5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 5.1 Introducción de los ensayos

Los ensayos se han realizado en el laboratorio de “Máquinas y Motores Térmicos” del edificio Altet, dentro de la Universidad Miguel Hernandez. Todos los ensayos fueron realizados durante el mes de octubre del 2019.

El principal objetivo de este estudio es mejorar la eficiencia de una máquina frigorífica, más concretamente, de un aparato de aire acondicionado común, a través de la caracterización de un prototipo de nebulización de agua por ultrasonidos. Por lo tanto, era conveniente realizar los ensayos en unas condiciones concretas, con las mínimas variaciones posibles de temperatura. Las condiciones ambientales más restrictivas han sido mantener una temperatura ambiental lo más alta posible, por ello los ensayos fueron la primera parte del estudio ya que se empezó a finales de septiembre del 2019. La otra condición ha sido mantener un ambiente tranquilo sin brisas ni vientos, ya que el agua nebulizada podía verse alterada en dirección con cualquier movimiento cercano a él.

## 5.2 Puesta a punto del sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos es el encargado de registrar todos los valores capturados por la instrumentación expuesta anteriormente, éstos aparecen en el software “*Software BenchLink Data Logger 3*”.

Esta instrumentación está conectada a las tarjetas modulares, y estas a su vez conectadas al rack del propio Data Logger. En este Data Logger hay más sondas conectadas que las utilizadas en este estudio, ya que es un equipo que se ha utilizado en otros estudios. Se han aprovechado las conexiones ya realizadas, que son más que suficientes. La conexión del Data Logger al ordenador es mediante un cable RS-232.

Hay que realizar una serie de ajustes concretos en la configuración del programa, para que se ajuste a las necesidades del proyecto en concreto. Estos cambios se hacen la primera vez, y se quedan registrado para el resto de los ensayos.

Primero se utiliza “Add Instrument” para encontrar en Data Logger que está conectado al ordenador, una vez encontrado, se guarda con el nombre del proyecto, y en ese de registrarán todos los ensayos.

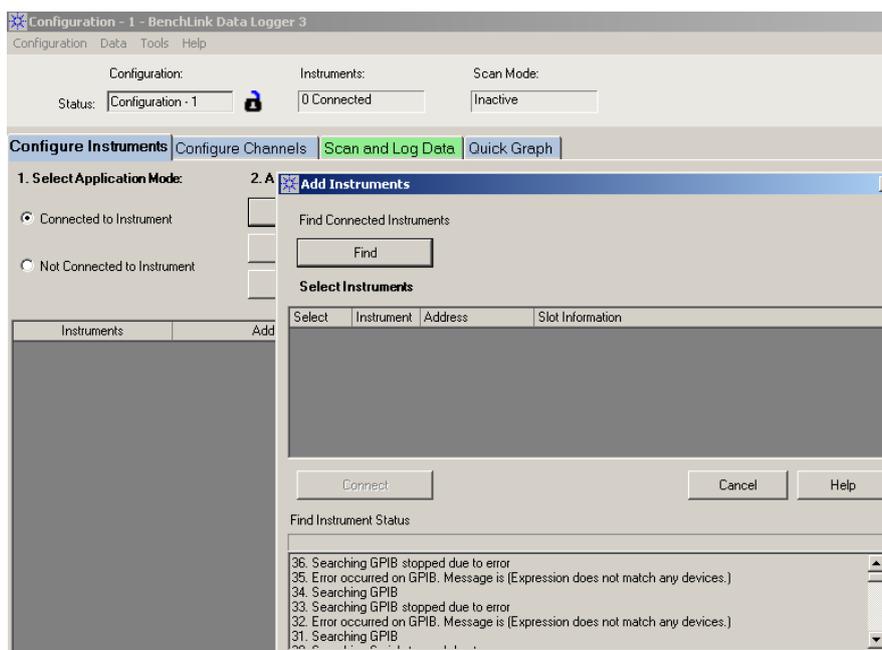


Ilustración 50 Add Instrument

Seguidamente hay que proceder a la activación de los canales a los que las sondas están conectadas. En las dos siguientes ilustraciones aparecen todos los canales registrados en el Data Logger utilizado y a su vez los canales marcados son los utilizados en este estudio.

Configuration: Instruments: Scan Mode:  
 Status: Copy of JAVIER\_KAY'S 1 Connected Inactive Experience BenchLi

Configure Instruments Configure Channels Scan and Log Data Quick Graph

Channels	Enable Channel	Measurement						Scaling (Mx + B)			Alarm Limits				
		Scan	Name	Function	Range	Res	More	Scale	Gain (M)	Offset(B)	Label	Test	Low	High	HWAlarm
1. ASRL1::INSTR															
34901A															
101	<input type="checkbox"/>	DTENCIOMETR	Two-Wire Ohms	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	OHM	Off	0	1	Alarm 1	
102	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR	Two-Wire Ohms	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	OHM	Off	0	1	Alarm 1	
103	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
104	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
105	<input type="checkbox"/>	ANEM_100mm	DC Voltage	+/- 1 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	18.69378	-3.625	M_S	Off	0	1	Alarm 1	
106	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
107	<input type="checkbox"/>	PD_TUNEL	DC Voltage	+/- 10 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15.5425	-15.5425	PA	Off	0	1	Alarm 1	
108	<input type="checkbox"/>	RTD9	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1	
109	<input type="checkbox"/>	RTD8	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1	
110	<input type="checkbox"/>	Q_TUNEL	DC Voltage	+/- 1 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	1.25545	-0.25	M3H	Off	0	1	Alarm 1	
111	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
112	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
113	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
114	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
115	<input checked="" type="checkbox"/>	TP_MIST	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1	
116	<input checked="" type="checkbox"/>	TP_AGUA	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1	
117	<input type="checkbox"/>	PD25	DC Voltage	+/- 1 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	1557.058	-310.75	PA	Off	0	1	Alarm 1	
118	<input type="checkbox"/>	RTD9	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1	
119	<input type="checkbox"/>	RTD8	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1	
120	<input checked="" type="checkbox"/>	HC24	DC Voltage	+/- 10 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	M_S	Off	0	1	Alarm 1	
121	<input checked="" type="checkbox"/>	TH21_T	DC Current	100 mA	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	6250	-25	C	Off	0	1	Alarm 1	
122	<input checked="" type="checkbox"/>	TH21_HR	DC Current	100 mA	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	6250	-25	HR	Off	0	1	Alarm 1	
34901A															
201	<input checked="" type="checkbox"/>	DeltaU_comp	AC Voltage	100 mV	6.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VAC	Off	0	1	Alarm 1	
202	<input checked="" type="checkbox"/>	DeltaU_vent	AC Voltage	1 V	6.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VAC	Off	0	1	Alarm 1	
203	<input type="checkbox"/>	DeltaU_bomb	AC Voltage	1 V	6.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VAC	Off	0	1	Alarm 1	
204	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	
205	<input checked="" type="checkbox"/>	U_comp	AC Voltage	300 V	6.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VAC	Off	0	1	Alarm 1	
206	<input checked="" type="checkbox"/>	U_vent	AC Voltage	300 V	6.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VAC	Off	0	1	Alarm 1	
207	<input type="checkbox"/>	U_bomb	AC Voltage	300 V	6.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VAC	Off	0	1	Alarm 1	
208	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1	

Ilustración 51 Configure Channel 1

Configuration: Instruments: Scan Mode:  
 Status: Copy of JAVIER\_KAY'S 1 Connected Inactive Experience BenchLi

Configure Instruments Configure Channels Scan and Log Data Quick Graph

Channels	Enable Channel	Measurement						Scaling (Mx + B)			Alarm Limits			
		Scan	Name	Function	Range	Res	More	Scale	Gain (M)	Offset(B)	Label	Test	Low	High
215	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1
216	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1
217	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1
218	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	Off	0	1	Alarm 1
219	<input checked="" type="checkbox"/>	TH23_T	DC Voltage	+/- 1 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	125.1368	-25	C	Off	0	1	Alarm 1
220	<input checked="" type="checkbox"/>	TH23_HR	DC Voltage	+/- 1 V	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	125.0346	-25	HR	Off	0	1	Alarm 1
221	<input checked="" type="checkbox"/>	TH22_T	DC Current	100 mA	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	6250	-25	C	Off	0	1	Alarm 1
222	<input checked="" type="checkbox"/>	TH22_HR	DC Current	100 mA	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	6250	-25	HR	Off	0	1	Alarm 1
34901A														
301	<input checked="" type="checkbox"/>	RTD1	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
302	<input checked="" type="checkbox"/>	RTD2	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
303	<input checked="" type="checkbox"/>	RTD3	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
304	<input checked="" type="checkbox"/>	RTD4	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
305	<input checked="" type="checkbox"/>	RTD5	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
306	<input checked="" type="checkbox"/>	RTD6	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
307	<input type="checkbox"/>	RTD7	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
308	<input checked="" type="checkbox"/>	TP1	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
309	<input checked="" type="checkbox"/>	TP2	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
310	<input checked="" type="checkbox"/>	TP3	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
311	<input type="checkbox"/>	RTD1	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
312	<input type="checkbox"/>	RTD2	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
313	<input type="checkbox"/>	RTD3	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
314	<input type="checkbox"/>	RTD4	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
315	<input type="checkbox"/>	RTD5	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
316	<input type="checkbox"/>	RTD6	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
317	<input type="checkbox"/>	RTD7	Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
318	<input checked="" type="checkbox"/>	TP4	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
319	<input checked="" type="checkbox"/>	TP5	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
320	<input checked="" type="checkbox"/>	TP6	Temp (Type K)	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	Off	0	1	Alarm 1
321	<input checked="" type="checkbox"/>	PD_01	DC Current	100 mA	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	1000	-4	BAR	Off	0	1	Alarm 1
322	<input checked="" type="checkbox"/>	PK_02	DC Current	100 mA	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	2500	-10	BAR	Off	0	1	Alarm 1

Ilustración 52 Configure Channel 2

Los canales tienen una serie de conceptos que se pueden editar o que dan información del registro, son los siguientes:

➤ Channel

⇒ **ID:** Caracteriza la medida con 3 dígitos. El primero hace referencia al número de la tarjeta, ya que en el Data Logger hay 3 racks de conexión, para 3 módulos diferentes.

Ej: 108. Módulo N°1 Canal 8.

⇒ **Scan:** Se marcan los canales que se quieren escanear, ya que en el Data Logger utilizado hay más de sensores registrados que los utilizados en este proyecto.

⇒ **Name:** Se le especifica en nombre que se quiera.

➤ Measurement

⇒ **Function:** Indica la señal que se va a recibir de la sonda conectada, tensión, corriente...

⇒ **Range:** Se configura la escala de la medida.

⇒ **Resolution:** Se indica la exactitud de la medida recibida, indicando los dígitos deseados.

⇒ **Advance:** Permite modificar con más profundidad los marametros de medida.

➤ Scaling (mx+n)

⇒ **Scal:** Permite activar o desactivar la ganancia (gain) y desfase(offset) de la señal.

⇒ **Gain y offset:** Son los valores de m y n respectivamente. Definen la ecuación de la recta en la que está basada el comportamiento de la señal recopilada.

⇒ **Label:** Con esta opción se ajustan los valores límite de la alarma, para que el programe avise cuando una de las sondas registre un valor determinante. En este estudio no se ha hecho uso de la opción "Alarma Limits".

Después de toda esta configuración, le damos a la opción “RUN” para activar el escaneo de datos, y nos colocamos en la pestaña superior de “Quick Graph”. En la pantalla de esta pestaña aparece la gráfica donde podemos observar el comportamiento de los datos. Los escaneos se producen cada 5 segundos, y van apareciendo en el eje x los datos de forma progresiva.



Ilustración 53 Quick Graph

En la ilustración anterior se puede observar un cuadro de configuración de canales en la parte inferior. En él aparecen todos los canales, y se pueden configurar los valores de referencia en los ejes x e y, para cuadrar los datos aparezcan en la gráfica, es decir, que se escalan los datos para poder visualizar varios sensores en la gráfica de manera simultánea. Además, se pueden configurar los canales que se desean visualizar durante el escaneo en la gráfica, este detalle se ve en la ilustración de continuación. Es importante aclarar que, aunque no se marquen los canales en la opción descrita anterior, se va a hacer el registro de los canales igualmente. Esta ventana es una forma de ver y analizar los datos en vivo.

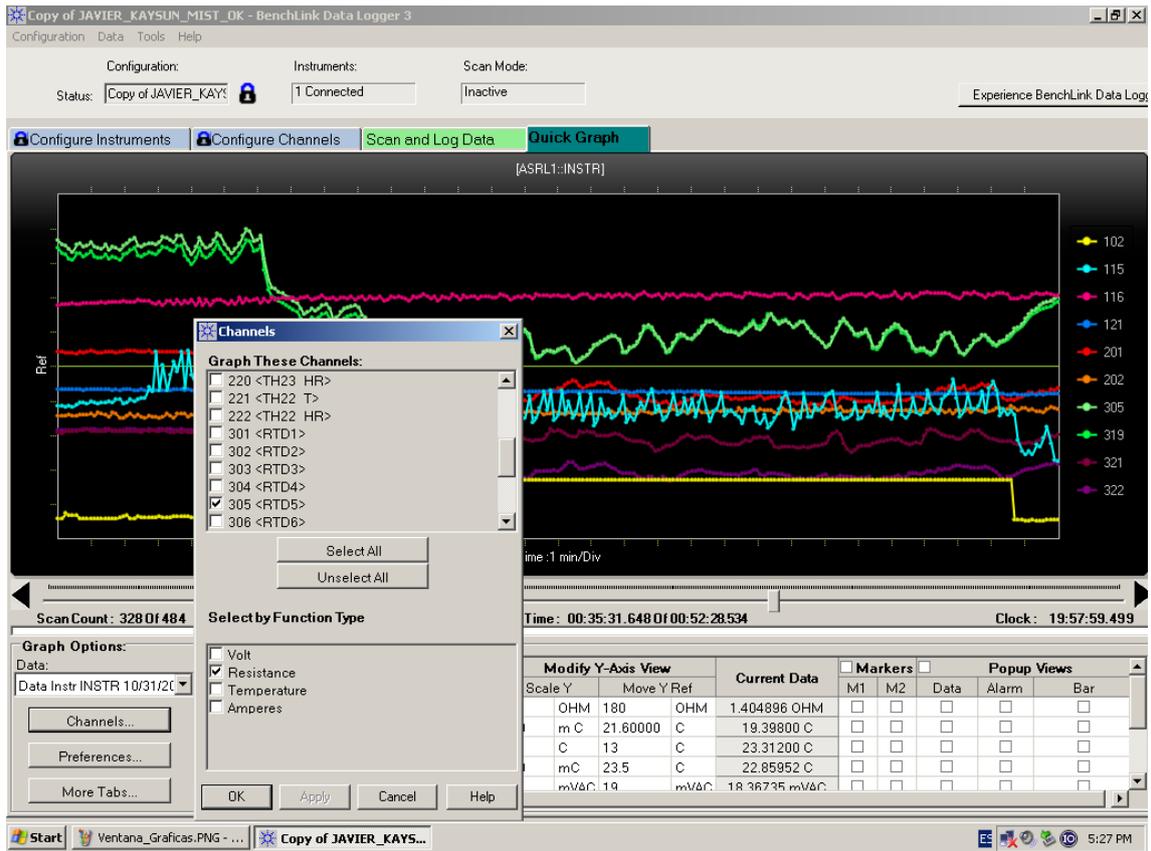


Ilustración 54 Quick Graph Channels

## 5.3 Tratamiento de datos

Una vez registrados todos los datos necesarios de las sondas e instrumentación en el “*Software BenchLink Data Logger 3*” se para el escaneo “*stop scan*”. Seguidamente aparece una ventana por la cual se pueden exportar todos los datos registrados, pero antes hay que asegurarse que se exportan los registros de los canales deseados para este proyecto. En la parte derecha “*Select by Channel*” aparecen seleccionados los canales que anteriormente se marcaron como relevantes en “*Configuración Channels*”, sin embargo, nunca está de más revisarlo.

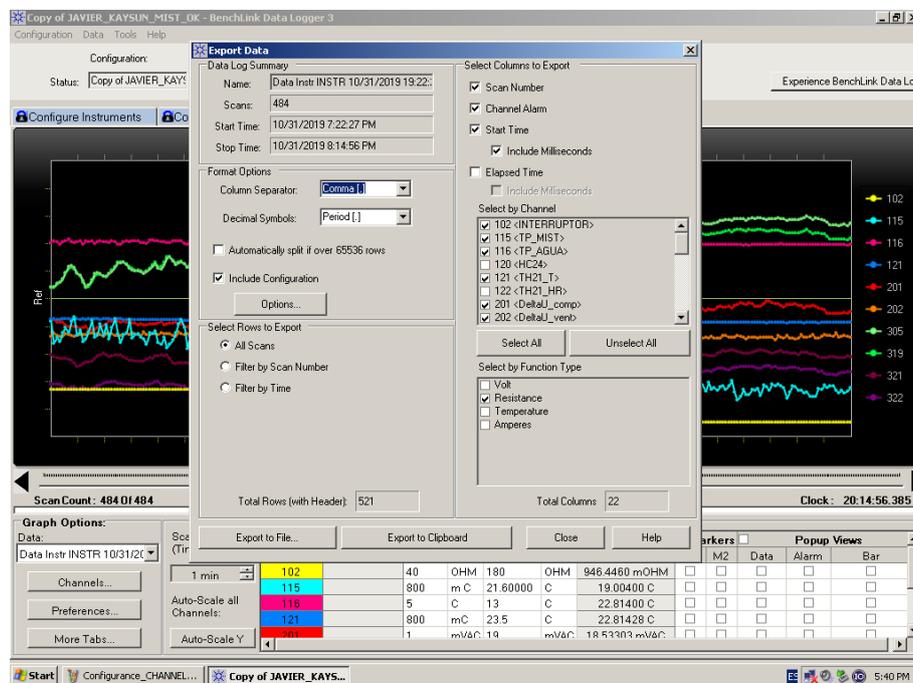


Ilustración 55 Export Data

Los datos se exportan en .csv, formato de hoja de cálculo para abrir y ser posteriormente procesados por Excel. Antes de trabajar con estos datos en las tablas de cálculo, una vez abierto el archivo .csv, hay que realizar una serie de cambios en el formato global.

Ésto se debe a que “*Software BenchLink Data Logger 3*” y “*Excel*” no utilizan de la misma forma los signos de puntuación ( , ; . etc). Por lo tanto, se va a hacer esta

modificación dentro de Excel. Sí es cierto que estos cambios también se pueden hacer en la configuración de *BenchLink*, justo antes de exportar los datos, pero bueno, ambos caminos llevan a Roma.

Nada más abrir el archivo .csv exportado, aparecen todos los datos simplemente separados por filas, no por columnas, podemos observar ésto en la siguiente ilustración.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Name:,Data	Instr INSTR 10/29/2019 19:10:30								
2	Owner:,laboMMT									
3	Comments:,									
4	Acquisition Date:,10/29/2019 7:10:31 PM									
5	&Instrument:,34970A,Address:,ASRL1::INSTR,Modules:,3,Slot1:,34901A,Slot2:,34901A									
6	Total Channels:,28									
7	Channel,Name,Function,Range,Resolution,AdvSettings,Scale,Gain,Offset,Label,Test,Low,High,HWAAlarm									
8	102,INTERRUPTOR,Two-Wire Ohms,Auto,5.5,Two-Wire Ohms#1#0.016#Auto#0.001#false,1,0,OHM,Off,0,1,Alarm 1									
9	115,TP_MIST,Temp (Type K),None,C,Temp (Type K)#1#0.016#Auto#0.001#C#Internal#0#false,1,0,C,Off,0,1,Alarm 1									
10	116,TP_AGUA,Temp (Type K),None,C,Temp (Type K)#1#0.016#Auto#0.001#C#Internal#0#false,1,0,C,Off,0,1,Alarm 1									
11	120,HC24,DC Voltage,+/- 10 V,5.5,DC Voltage#10M#1#0.016#Auto#0.001,True,1,0,M_S,Off,0,1,Alarm 1									
12	121,TH21_T,DC Current,100 mA,5.5,DC Current#1#0.016#Auto#0.001,True,6250,-25,C,Off,0,1,Alarm 1									
13	122,TH21_HR,DC Current,100 mA,5.5,DC Current#1#0.016#Auto#0.001,True,6250,-25,HR,Off,0,1,Alarm 1									
14	201,DeltaU_comp,AC Voltage,100 mV,6.5,AC Voltage#20#Auto#1,False,1,0,VAC,Off,0,1,Alarm 1									
15	202,DeltaU_vent,AC Voltage,1 V,6.5,AC Voltage#20#Auto#1,False,1,0,VAC,Off,0,1,Alarm 1									
16	205,U_comp,AC Voltage,300 V,6.5,AC Voltage#20#Auto#1,False,1,0,VAC,Off,0,1,Alarm 1									
17	206,U_vent,AC Voltage,300 V,6.5,AC Voltage#20#Auto#1,False,1,0,VAC,Off,0,1,Alarm 1									
18	219,TH23_T,DC Voltage,+/- 1 V,5.5,DC Voltage#10M#1#0.016#Auto#0.001,True,125.136824604,-25,C,Off,0,1,Alarm 1									
19	220,TH23_HR,DC Voltage,+/- 1 V,5.5,DC Voltage#10M#1#0.016#Auto#0.001,True,125.03461,-25,HR,Off,0,1,Alarm 1									
20	221,TH22_T,DC Current,100 mA,5.5,DC Current#1#0.016#Auto#0.001,True,6250,-25,C,Off,0,1,Alarm 1									
21	222,TH22_HR,DC Current,100 mA,5.5,DC Current#1#0.016#Auto#0.001,True,6250,-25,HR,Off,0,1,Alarm 1									
22	301,RTD1,Temp 4-Wire RTD,None,C,Temp 4-Wire RTD#1#0.016#Auto#0.001#C#0.00385 (DIN)#100,False,1,0,C,Off,0,1,Alarm 1									
23	302,RTD2,Temp 4-Wire RTD,None,C,Temp 4-Wire RTD#1#0.016#Auto#0.001#C#0.00385 (DIN)#100,False,1,0,C,Off,0,1,Alarm 1									

Ilustración 56 Datos exportados a una columna

Sin embargo, cada una de las filas tiene una separación en “comas ,” que en *BenchLink* hace referencia a las columnas. Además, otro detalle importante en las diferencias de estos dos programas a la hora de utilizar los signos de puntuación es que Excel utiliza la “comas ,” como separación en números decimales, mientras que *BenchLink* utiliza el “punto .”. Entonces se va a hacer una doble sustitución de signos usando el comando “*ctrl B*”, a la vez que está toda la columna A seleccionada. El orden de sustitución es el siguiente:

1. Cambio de las “ , ” por “ ; ” La finalidad es que haya un signo claro separando las columnas, y al mismo tiempo que no haya interferencias con los decimales en excel.
2. Cambio de los “ . ” por “ , ” La finalidad es que Excel reconozca los números decimales de los datos.

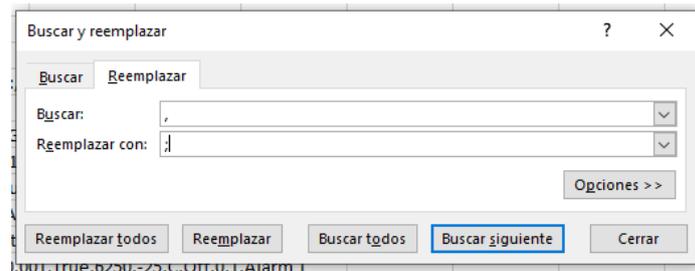


Ilustración 57 1º Cambio con ctrl B

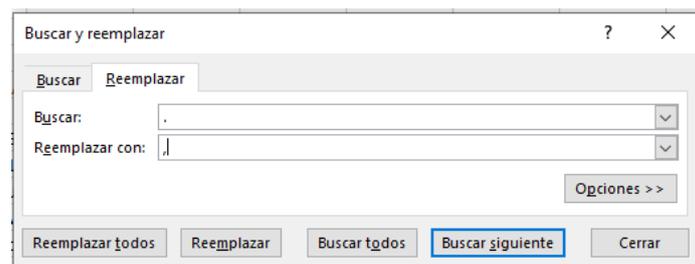


Ilustración 58 2º Cambio con ctrl B

Una vez tenemos la separación correcta, con la columna A seleccionada, se va a la pestaña de herramientas superior de “Datos” y seguidamente “Texto en columnas”. Posteriormente van a aparecer 3 ventanas consecutivas, en la primera se activa “Delimitados”, en la segunda se activa en el apartado de separadores “tabulación” y “punto y coma”, en la tercera directamente se finaliza el proceso. Se pueden observar estos pasos en las siguientes ilustraciones.

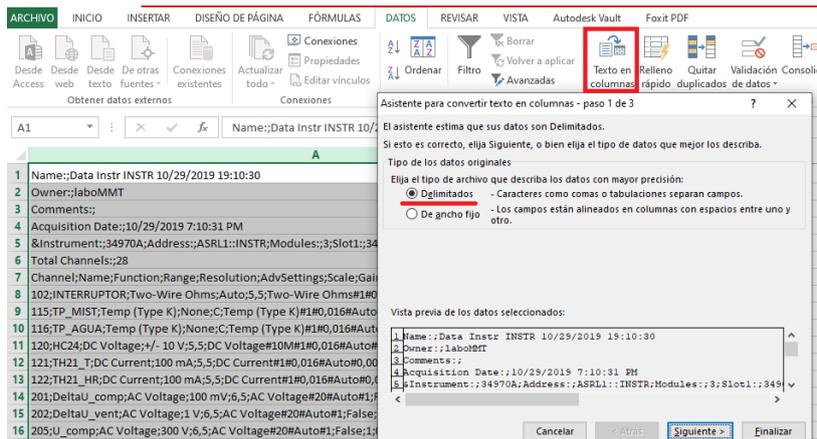


Ilustración 59 Texto en columnas 1

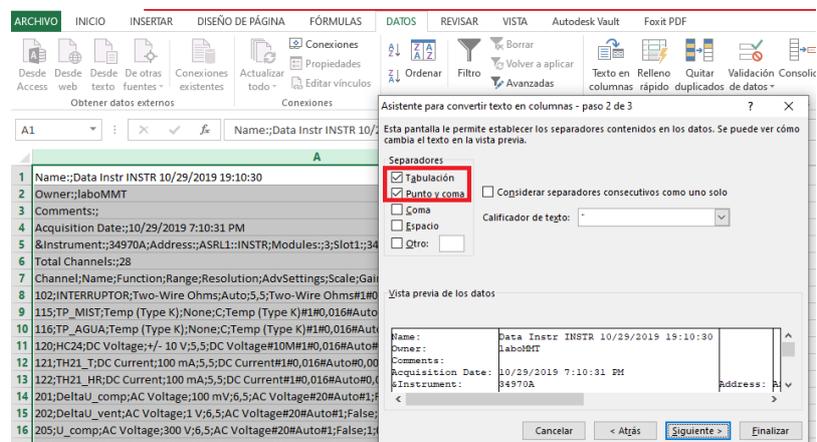


Ilustración 60 Texto en columnas 2

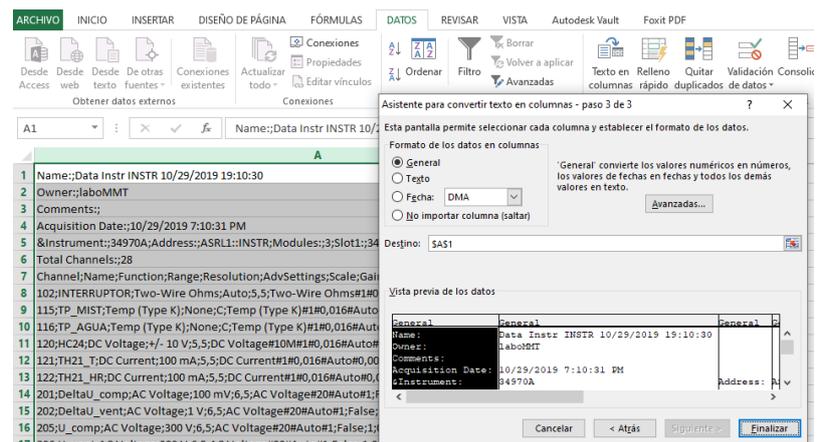


Ilustración 61 Texto en columnas 3

Después de esto, los datos aparecen separados como se pretendía, solo queda borrar las columnas de alarmas, de más datos que no son relevantes en el estudio.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
4	Acquisition Date:	10/29/2019 7:10:31 PM												
5	&Instrument:	34970A	Address:	ASRL1::INSTf	Modules:	3 Slot1:	34901A	Slot2:	34901A	Slot3:	34901A			
6	Total Channels:	28												
7	Channel	Name	Function	Range	Resolution	AdvSettings	Scale	Gain	Offset	Label	Test	Low	High	HWAlarm
8		102 INTERRUPTO	Two-Wire Of Auto		5,5	Two-Wire Of False		1	0	OHM	Off	0	0	1 Alarm 1
9		115 TP_MIST	Temp (Type None	C		Temp (Type False		1	0	C	Off	0	0	1 Alarm 1
10		116 TP_AGUA	Temp (Type None	C		Temp (Type False		1	0	C	Off	0	0	1 Alarm 1
11		120 HC24	DC Voltage	+/- 10 V		5,5 DC Voltage#	True	1	0	M_S	Off	0	0	1 Alarm 1
12		121 TH21_T	DC Current	100 mA		5,5 DC Current#	True	6250	-25	C	Off	0	0	1 Alarm 1
13		122 TH21_HR	DC Current	100 mA		5,5 DC Current#	True	6250	-25	HR	Off	0	0	1 Alarm 1

Ilustración 62 Columnas sin ordenar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Scan	Time	102 <INTERRUPTO> [OHM]	115 <TP_MIST> [C]	116 <TP_AGUA> [C]	120 <HC24> [M_S]	121 <TH21_T> [C]	122 <TH21_HR> [HR]	201 <DeltaU_comp> [VAC]	202 <DeltaU_ven>
2	1	10/29/2019 1	2,111513	21,857	21,62	1,9215525	22,156931	71,223387		0,019048166
3	2	10/29/2019 1	1,913672	21,519	21,682	1,9010998	22,156963	71,220731		0,019059098
4	3	10/29/2019 1	1,835316	21,587	21,669	1,8909007	22,156963	71,2194		0,019022653
5	4	10/29/2019 1	1,751223	21,927	21,634	1,8705349	22,144987	71,520119		0,019071844
6	5	10/29/2019 1	1,896506	21,573	21,68	1,8706001	22,148656	71,500156		0,01906957
7	6	10/29/2019 1	1,856853	21,598	21,542	1,8808536	22,153975	71,538769		0,019037192
8	7	10/29/2019 1	1,859558	21,525	21,685	1,9113751	22,137006	71,209094		0,01904211
9	8	10/29/2019 1	1,868974	21,941	21,658	1,8706001	22,151644	71,320525		0,019062377
10	9	10/29/2019 1	1,785748	21,962	21,712	1,9113642	22,158294	71,458906		0,01906546
11	10	10/29/2019 1	1,850359	21,576	21,699	1,8399701	22,14765	71,576		0,019082688

Ilustración 63 Columnas tratadas

## 5.4 Cálculo del error de cero de los sensores

El error de cero consiste en realizar una calibración por comparación entre diferentes sensores de un mismo tipo, para encontrar la desviación que existe entre los valores medidos por diferentes sensores, por lo tanto, se encuentran poniéndolos a medir las mismas condiciones. Seguidamente se escoge uno de los sensores como referencia y se calcula la diferencia del resto de sensores con el de referencia. En este estudio se ha escogido el termohigrómetro 21 como referencia.

$$\text{ERROR DE CERO} = \text{TH}_{21\_ref} - \text{TH}_x$$

Para el error de cero se ha querido utilizar datos específicos del mismo día que se ha producido cada ensayo. Antes de realizar cualquiera de los ensayos, el ciclo de refrigeración ha estado trabajando hasta establecer sus valores característicos durante unos 20 minutos aproximadamente. Seguidamente se ha activado el Datta Logger registrando durante 10 minutos los datos de funcionamiento internos y los parámetros externos sin la presencia del nebulizador.

Los errores calculados de esta manera se pueden apreciar en la siguiente tabla en color verde. Sin embargo, el termohigrómetro 22, que mide la temperatura a la salida del condensador y el termopar TP\_Agua, que mide la temperatura dentro del depósito de agua, no estaban midiendo la temperatura ambiente en la situación descrita anteriormente. El error de cero de estos sensores se ha obtenido de ensayos anteriores, éstos los podemos observar en la siguiente tabla en color rojo claro. Finalmente podemos observar en la siguiente tabla las medias de los valores medidos como error de cero en cada uno de los ensayos. Se puede observar que en este estudio se han corregido las temperaturas y las humedades relativas.

ERROR DE CERO							
Temperatura ambiente		Temperatura entrada condensador		Temperatura salida condensador		TP_Agua	TP_Mist
TH21_T	TH21_HR	TH23_T	TH23_HR	TH22_T	TH22_HR		
0	0	-0,34037986	1,57246184	-0,26936	0,71322	0,641299	0,49489977

Tabla 4 Error de cero

## 6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 6.1 Procedimiento de los ensayos

Los análisis de los ensayos van a tener diferentes clasificaciones, dependiendo de la posición del nebulizador con respecto al equipo de refrigeración, y el caudal de agua nebulizada emitido, además del tipo de conducto utilizado en el nebulizador. Por ello se va a enumerar primero las posiciones del equipo, y dentro de éstas se enumerarán los ensayos.

Por lo tanto, cada una de las posiciones, tiene 3 ensayos, una a la velocidad 1(400r.p.m.), 3(1200r.p.m.) y 5(2000r.p.m.). Sin embargo, esta clasificación también se puede hacer en la cantidad de caudal másico de agua nebulizada generado por dichas velocidades del ventilador en el propio Nebulizador.

Los valores de los caudales másicos promedios fueron estimados en el TFG ya nombrado anteriormente de María Paz. (Vivó, septiembre 2019)

Velocidad 1 :  $0.11 + 0.008$

Velocidad 3 :  $0.37 + 0.007$

Velocidad 5 :  $0.52 + 0.01$

La adquisición de datos de cada posición se ha tomado de seguido, sin interrumpir ninguno de los procesos necesarios en la metodología seguida. Siempre se ha buscado un funcionamiento normal y seguido del ciclo de refrigeración, y del Data Logger. Es importante mantener el funcionamiento sin interrupción para poder ver los cambios en los parámetros una vez se ha conseguido la canalización de la nube por el condensador.

Se parte de los datos de funcionamiento del ciclo de refrigeración trabajado en solitario, que se le ha denominado posición cero. Por lo tanto, no pertenece a ninguna configuración.

La primera idea era realizar un total de 27 ensayos dividido entre 9 posiciones, con un caudal másico diferente para cada una de las posiciones enumeradas del 1 al 9. A su vez, estas posiciones han sido clasificadas dentro de 3 grupos grandes al los que se les ha denominado configuraciones. Estas configuraciones quedan diferenciadas por el tipo de tubo que usa el nebulizador y su posición con respecto al ciclo de refrigeración.

Todo ésto se ve con claridad en la siguiente tabla:

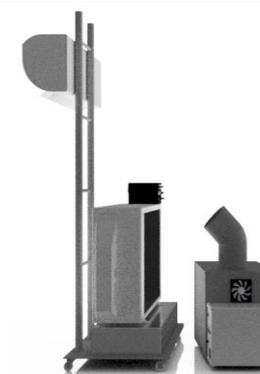
CONFIGURACIONES	POSICIONES	ENSAYOS		
<b>A</b> 	<b>A P1</b> 2 METROS	A P1 E1 Vel. 1	A P1 E2 Vel. 3	A P1 E3 Vel. 5
	<b>A P2</b> 1 METROS	A P2 E1 Vel. 1	A P2 E2 Vel. 3	A P2 E3 Vel. 5
	<b>A P3</b> 0,5 METROS	A P3 E1 Vel. 1	A P3 E2 Vel. 3	A P3 E3 Vel. 5
<b>B</b> 	<b>B P4</b> 0,5 METROS	B P4 E1 Vel. 1	B P4 E2 Vel. 3	B P4 E3 Vel. 5
	<b>B P5</b> 0,25 METROS	B P5 E1 Vel. 1	B P5 E2 Vel. 3	B P5 E3 Vel. 5
	<b>B P6</b> 0,05 METROS	B P6 E1 Vel. 1	B P6 E2 Vel. 3	B P6 E3 Vel. 5
<b>C</b> 	<b>C P7</b> 2 METROS	C P7 E1 Vel. 1	C P7 E2 Vel. 3	C P7 E3 Vel.5
	<b>C P8</b> 1 METROS	C P8 E1 Vel. 1	C P8 E2 Vel. 3	C P8 E3 Vel. 5
	<b>C P9</b> 0,5 METROS	C P9 E1 Vel. 1	C P9 E2 Vel. 3	C P9 E3 Vel. 5

Tabla 5 Clasificación de configuraciones

Sin embargo, después de realizar todos los ensayos de la configuración A, y empezar con la configuración B y C se llegó a la conclusión de que ciertos ensayos no eran necesarios de analizar, ni registrar. Una vez puesto el Nebulizador en marcha en la posición correspondiente dentro de la configuración B y C, se observa la nube de agua nebulizada y su evolución. Debido a una clara desviación de la nube, y su mala canalización por el condensador o su situación similar a otros ensayos ya realizados anteriormente, se han decretado varias posiciones como innecesarias y se han decidido anular. Se pueden observar en color rojo la en la siguiente tabla y son:

- Configuración B: Posiciones 4 y 5.
- Configuración C: Posiciones 7 y 9.

Debido a este cambio, se produce un cambio en la designación de las posiciones y ensayos de las configuraciones B y C. Se pueden observar en la tabla anterior global con color naranja las posiciones y ensayos que son correctas y se han llevado a cabo, pero que se van a cambiar la designación. El cambio se puede observar más claro en las siguientes tablas.

CONFIGURACIÓN	POSICIONES	ENSAYOS		
B 	B P6 0,05 METROS	B P6 E1 Vel. 1	B P6 E2 Vel. 3	B P6 E3 Vel. 5
C 	C P8 1 METROS	C P8 E1 Vel. 1	C P8 E2 Vel. 3	C P8 E3 Vel. 5

Tabla 6 Cambio de designación de posiciones 1



CONFIGURACIÓN	POSICIONES	ENSAYOS		
B 	B P4 0,05 METROS	B P4 E1 Vel. 1	B P4 E2 Vel. 3	B P4 E3 Vel. 5
C 	C P5 1 METRO	C P5 E1 Vel. 1	C P5 E2 Vel. 3	C P5 E3 Vel. 5

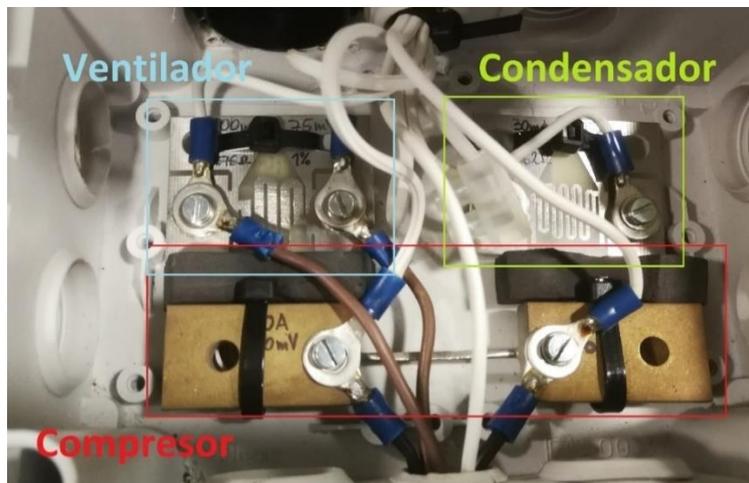
Tabla 7 Cambio de designación de posiciones 2

## ***Cálculo de potencia consumida por el compresor***

Para un correcto análisis de datos es necesario realizar una serie de cálculos. Para visualizar la obtención de los objetivos, se ha calculado la potencia consumida por el compresor con la siguiente expresión:

$$P = V \times I \times \text{COS}\phi$$

De esta ecuación, el Data logger proporciona el voltaje que alimenta al compresor, el cual es constante. Además, conocemos el valor de  $\text{cos}\phi$  que tiene un valor prácticamente constante en cualquier modo de operación de 0,7. Sin embargo, no se conoce el valor de la  $I$  que circula por el compresor. Para calcular la intensidad se utiliza la resistencia shunt a la que está conectado. Previamente se ha comprobado con un analizador de redes que la intensidad tiene una forma sinusoidal, prácticamente sin deformación o presencia de armónicos, por lo que este método de medida de la intensidad es adecuado y se obtienen resultados con una exactitud suficiente para obtener conclusiones válidas en el resto del estudio.



*Ilustración 64 Resistencia shunt*

En el Data Logger se obtiene la caída de tensión en ese shunt que es “ $\Delta U_{comp}$ ”. Con este valor y la relación caída de tensión-intensidad que nos proporciona el fabricante (10A por cada 60mV), obtenemos el valor de la Intensidad que pasa por el compresor.

$$I = \frac{\Delta U_{comp}}{R_{shunt}} = \frac{\Delta U_{comp} \times 10}{0,06}$$

## 6.2 Recopilación de datos y observaciones de ensayos

En este apartado se exponen las imágenes de todos los ensayos realizados en el laboratorio, con una representación modelizada por “Autodesk Inventor Studio” en 3D de todos los componentes y la canalización que ha tomado el agua nebulizada en cada uno de ellos. Además, se van a mostrar dos gráficas por análisis de posición, es decir, dos gráficas que agrupen los datos de 3 ensayos por posición, cada uno con un caudal diferente. Ambas gráficas enfrentan datos con respecto al número de recopilación (scan), es decir, con respecto al tiempo. Los enunciados de estas dos gráficas son las siguientes:

“Potencia del compresor con respecto al caudal nebulizado”

El desglose de este gráfico es, potencia consumida por el compresor en el eje principal de ordenadas, caudal nebulizado en el secundario de ordenadas, y el número de scan en el eje de abscisas.

“Diferencia de presiones en el ciclo con respecto la potencia del compresor”

El desglose de este gráfico es, diferencia de presiones entre las dos zonas internas del ciclo, representada en el eje principal de ordenadas, potencia consumida por el compresor en el secundario de ordenadas, y el número de scan en el eje de abscisas. De esta gráfica se mostrarán un ejemplo para ver la relación directa entre el consumo del compresor y la diferencia de presión que existe entre el evaporador y condensador. Para saber que, a menor salto de presiones, menor consumo de potencia, que es lo que conseguimos precisamente con el preenfriamiento en el condensador.

### **POSICION O**

Ciclo de refrigeración puesto en marcha sin aportación de agua Nebulizada. Con la finalidad de obtener datos base del funcionamiento del ciclo sin preenfriamiento

del aire de entrada al condensador. Estos datos servirán como referencia de comparación ante el uso del ciclo con el nebulizador o sin él.



*Ilustración 65 Posición 0*

## ***OBSERVACIONES DE LA POSICIÓN 1***

Ciclo de refrigeración y Nebulizador a 2 m de distancia, con la sonda que mide la temperatura de la nube justo a mitad de ambos aparatos, a 1 m de cada uno.

Nebulizador con el codo de 90 grados en dirección al ciclo.

### ✓ ***Ensayo 1.1:***

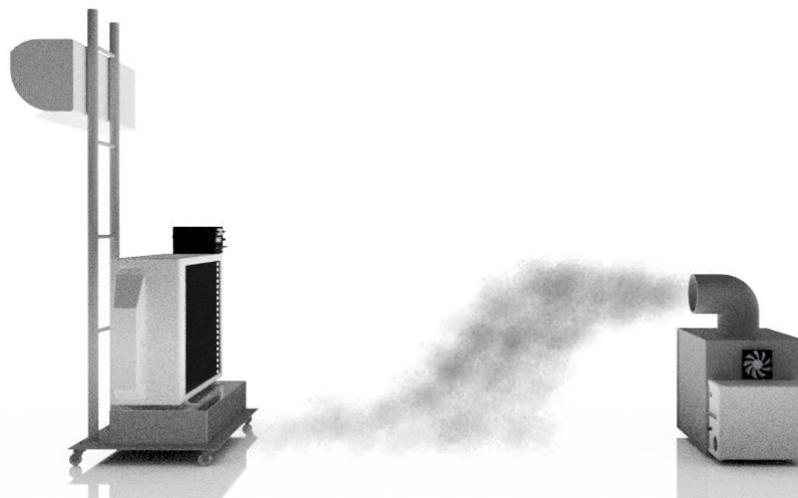
- Velocidad 1: 400 r.p.m
- Observaciones: El nebulizador se encuentra demasiado lejos del ciclo, además la nube de agua nebulizada sale con poca fuerza y cae justo delante del nebulizador, difuminándose y desviándose antes de llegar al condensador. La consecuencia es que no se llega a canalizar nada.
- Conclusión: Se recopilan los datos, pero no llega a interesar su estudio.



*Ilustración 66 Posición 1 Velocidad 1*

✓ **Ensayo 1.2**

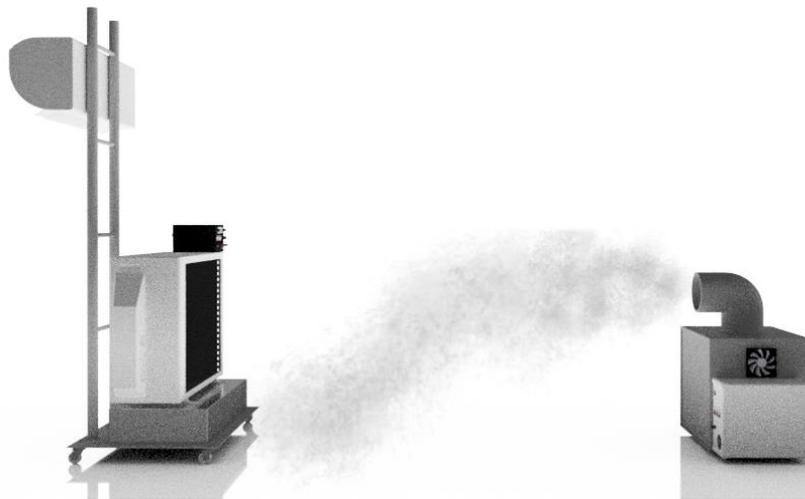
- Velocidad 3: 1200 r.p.m
- Observaciones: Al aumentar la velocidad, la nube de agua nebulizada se dispersa algo más, pierde densidad y coge más alcance, sin embargo, sigue sin llegar a canalizarse a través del condensador. Finalmente, solo llega a mitad de camino dispersándose por completo.
- Conclusión: Se recopilan los datos, pero no llega a interesar su estudio.



*Ilustración 67 Posición 1 Ensayo 2*

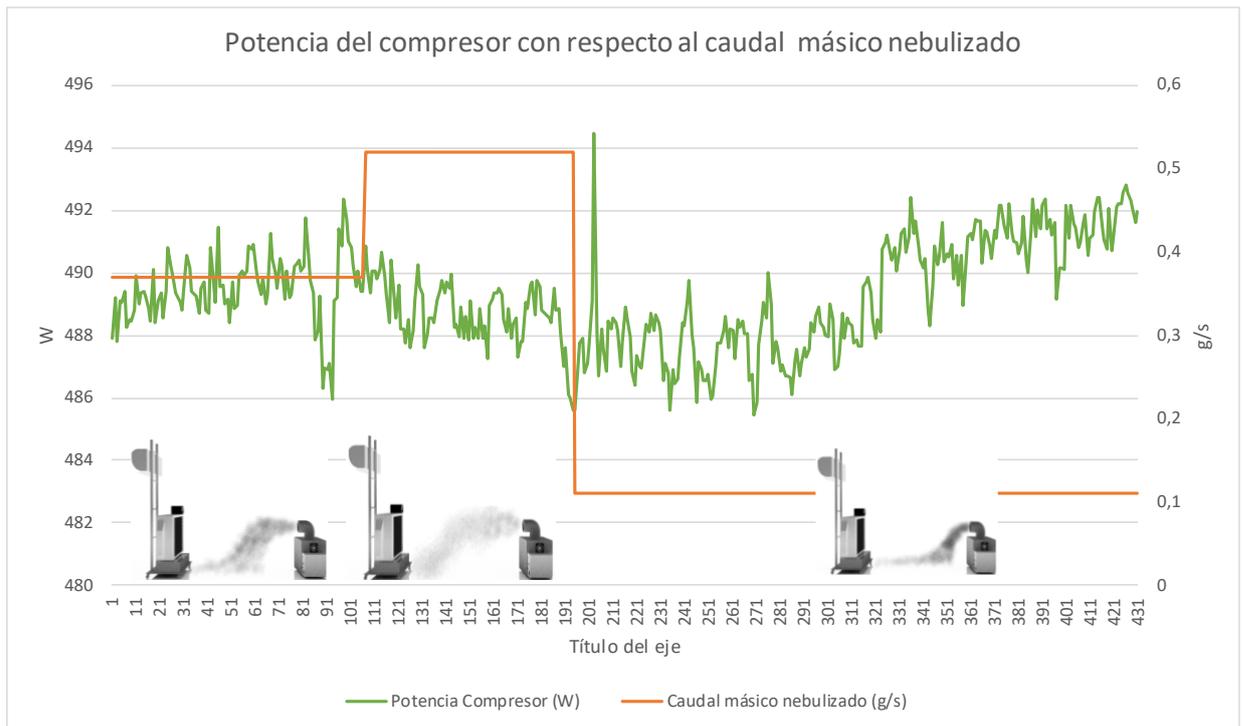
✓ **Ensayo 1.3**

- Velocidad 5: 2000 r.p.m
- Observaciones: Al poner el ventilador del nebulizador al máximo nivel, la nube de agua nebulizada coge más altura y distancia, se dispersa aún más. Llega poco caudal a los pies del condensador y se canaliza por debajo de éste de forma muy difuminada, propensa a desviarse con facilidad.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán. Podría ser que esta nube, aunque no se canalice, disminuya la temperatura del aire que el ventilador del condensador canaliza por él.



*Ilustración 68 Posición 1 Ensayo 3*

## **ANÁLISIS GRÁFICO DE LA POSICIÓN 1**

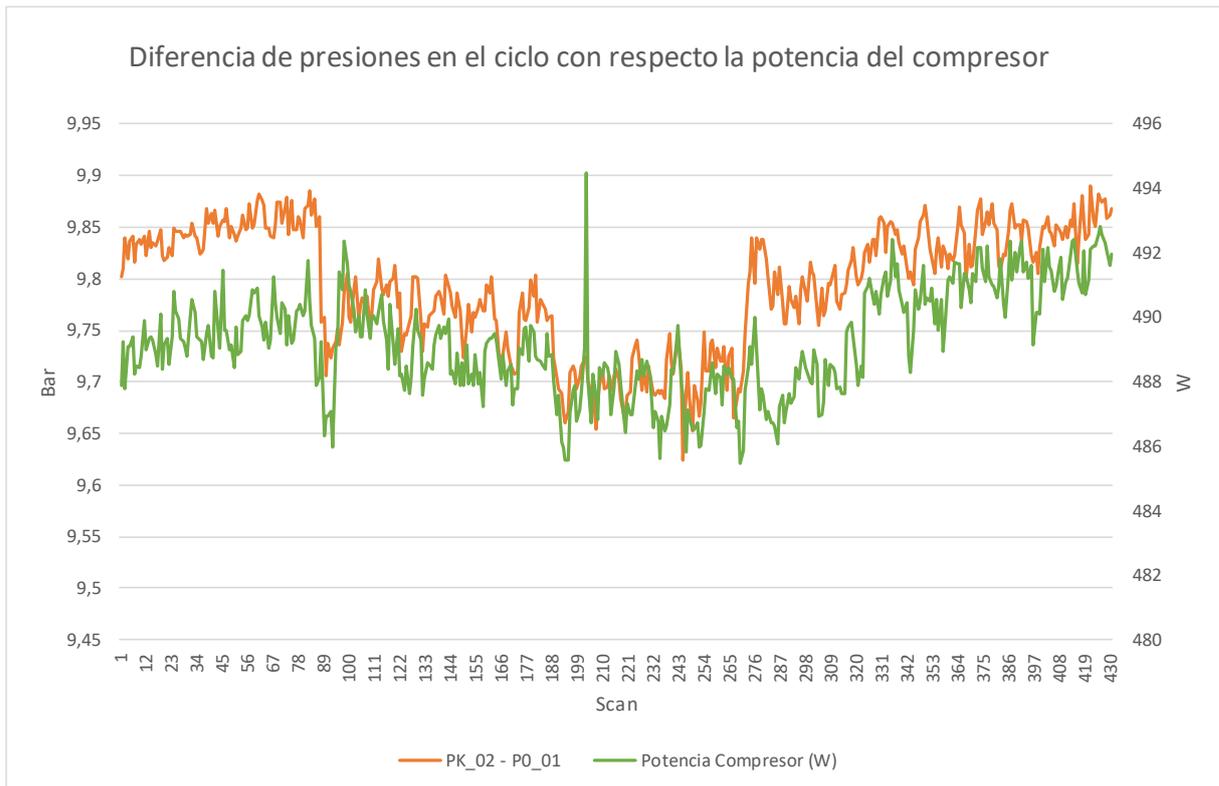


Gráfica 1 Posición 1 (W vs g/s)

Este primer análisis realizado a 2 metros de distancia con la configuración 1, no es eficiente como podemos ver en la gráfica. Por intuición de que el nebulizador a velocidad 1 no iba a alcanzar al condensador, esta recopilación de datos se empezó con la velocidad 3, la cual tampoco llegaba, y por eso no hay ninguna disminución de potencia en el compresor.

Una vez se aumenta la velocidad del nebulizador al 5, tramo medio de la gráfica, se ve una tendencia decreciente de la potencia consumida por el compresor. Ésto se debe a que la nube alcanza, aunque a duras penas la parte baja del condensador.

Con el fin de garantizar la efectividad de que se canalice el agua nebulizada por el condensador, seguidamente de utilizar el nebulizador a máxima velocidad obteniendo una disminución de la potencia del compresor, se baja al mínimo la velocidad del nebulizador. Al no llegar nada del caudal, se ve en la gráfica un pico de potencia en el compresor, y después un claro aumento del aumento de la potencia consumida.



Gráfica 2 Posición 1 (Bar vs W)

Con el fin de aportar más información a nivel global del ensayo de la posición 1, se ha añadido esta gráfica, en la cual se ve de forma directa la relación entre el consumo del compresor y la diferencia de presiones entre la zona del evaporador y la zona del condensador del ciclo de refrigeración.

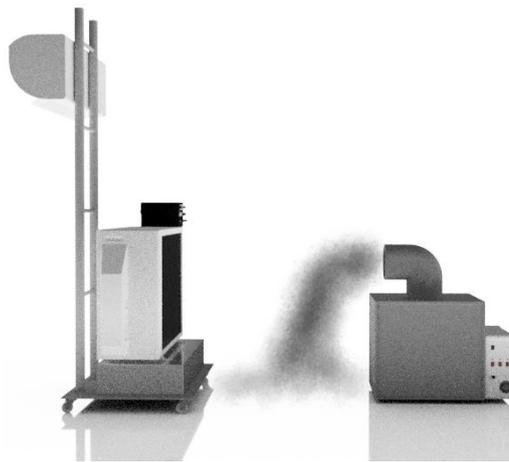
## ***OBSERVACIONES DE LA POSICIÓN 2***

Ciclo de refrigeración y Nebulizador a 1 m de distancia, con la sonda que mide la temperatura de la nube justo a mitad de ambos aparatos, a 0.5 m de cada uno.

Nebulizador con el codo de 90 grados en dirección al ciclo.

### ✓ ***Ensayo 2.1***

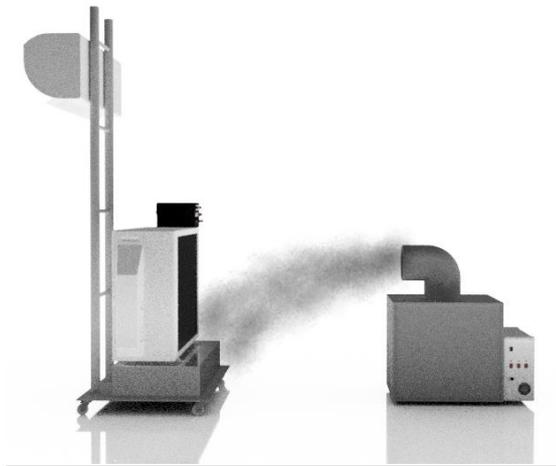
- Velocidad 1: 400 r.p.m
- Observaciones: El nebulizador expulsa la nube de agua nebulizada con poca fuerza y cae justo delante de éste, difuminándose por el suelo y desviándose antes de llegar al condensador. La consecuencia es que no se llega a canalizar prácticamente nada. Se condensa gran cantidad de la nube en el suelo.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán. Podría ser que esta nube, aunque no se canalice disminuya la temperatura del aire que el ventilador del condensador canaliza por él.



*Ilustración 69 Posición 2 Ensayo 1*

✓ **Ensayo 2.2**

- Velocidad 3: 1200 r.p.m
- Observaciones: La nube de agua nebulizada se canaliza practicamente por completo, con la excepción de una parte que pasa por bajo, la nube no es tan densa como en el ensayo 1, pero el objetivo se cumple. Se aprecia una pequeña condensación de la nube en la parte baja del condensador, además de en el suelo y a la salida del propio nebulizador.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



*Ilustración 70 Posición 2 Ensayo 2*

✓ **Ensayo 2.3**

- Velocidad 5: 2000 r.p.m
- Observaciones: La nube de agua nebulizada se canaliza por completo, la nube se dispersa debido a que se impulsa con más fuerza, pero el objetivo se cumple. Se empieza a apreciar una condensación de la nube en las aletas del condensador, en pequeña proporción comparado con la salida del nebulizador.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.

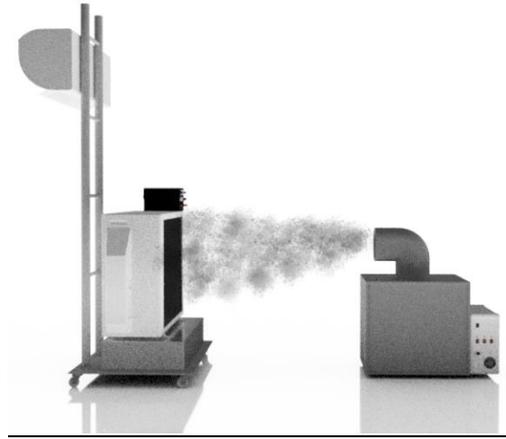
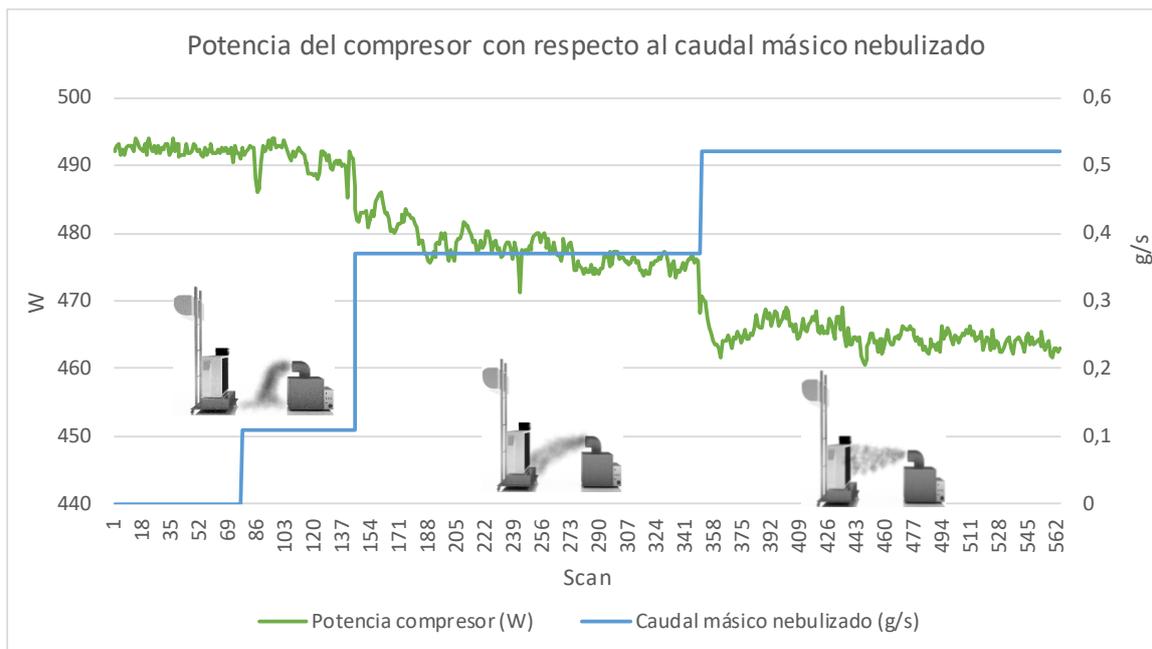


Ilustración 71 Posición 2 Ensayo 3

## ANÁLISIS GRÁFICO DE LA POSICIÓN 2



Gráfica 3 Posición 2 (W vs g/s)

En el análisis de la posición 2, se ve una progresión mucho más definida. Estando el nebulizador a 1 metro de distancia del ciclo, el caudal a velocidad 1 (la línea azul) sigue sin llegar al condensador, por esa razón el consumo del compresor sigue sin verse alterado, la línea verde de la gráfica.

Una vez se aumenta la velocidad al 3 se aprecia una clara caída de presión al conseguir que la nube de agua nebulizada alcance la parte inferior del condensador, que se traduce en una disminución del consumo de potencia. Se sabe que ha sido así porque coincide el escalón azul de la gráfica con el decrecimiento de la línea verde. Además, en la gráfica se aprecia (justo en la parte media de la gráfica) que se mantiene de manera constante la disminución en el consumo de potencia, lo cual es importante en este estudio.

En la parte final de la gráfica, se aumenta al máximo la velocidad del nebulizador, y esta vez se consigue una canalización completa por primera vez en el estudio. Como consecuencia de esto, se aprecia un pico mínimo en el consumo de potencia del compresor, justo al nivel del último escalón del caudal, que es el máximo. Seguidamente se ve como se estabiliza el consumo de potencia, pero por debajo de la media obtenida con el caudal anterior.

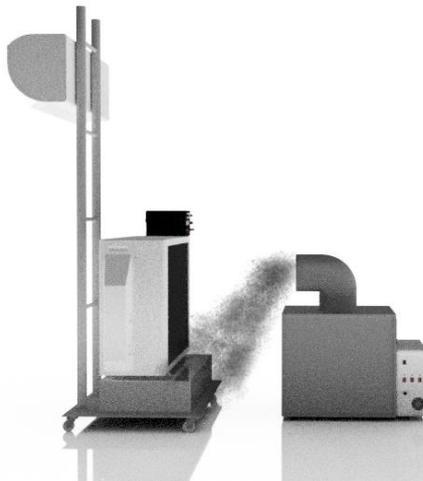
## ***OBSERVACIONES DE LA POSICIÓN 3***

Ciclo de refrigeración y Nebulizador a 500 mm de distancia, con la sonda que mide la temperatura de la nube justo a mitad de ambos aparatos, a 250 mm de cada uno.

Nebulizador con el codo de 90 grados en dirección al ciclo.

### ✓ ***Ensayo 3.1***

- Velocidad 1: 400 r.p.m
- Observación: La nube de agua nebulizada sale con poca fuerza y muy densa, cae delante del nebulizador. Sin embargo, al estar el nebulizador tan cerca del ciclo de refrigeración se consigue canalizar la mitad de la nube. Al recibir un impacto directo de la nube a la parte baja del condensador desde tan cerca, se produce una condensación de agua en las aletas del condensador de esa misma parte, quedando éstas mojadas.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



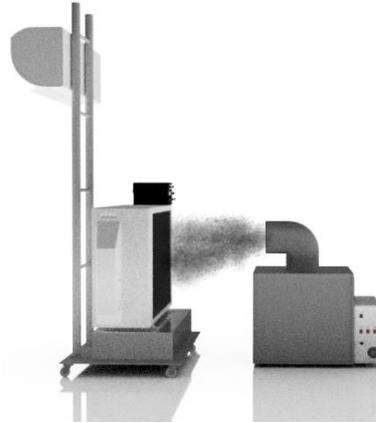
*Ilustración 72 Posición 3 Ensayo 1*

### ✓ ***Ensayo 3.2***

- Velocidad 3: 1200 r.p.m
- Observación: La nube de agua nebulizada sale con algo más de fuerza, pero menos densa. Coge más altura y alcance, finalmente se canaliza toda la nube por el condensador y se cumple el objetivo. Al recibir un impacto directo de

la nube al condensador desde tan cerca, se produce una condensación de agua en las aletas del condensador, quedando éstas mojadas.

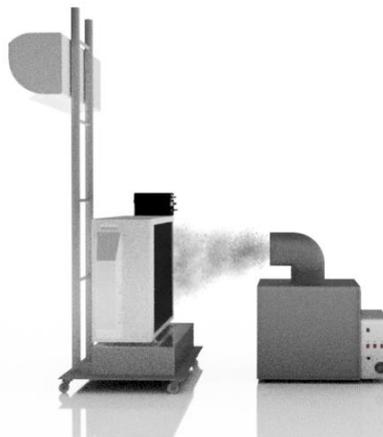
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



*Ilustración 73 Posición 3 Ensayo 2*

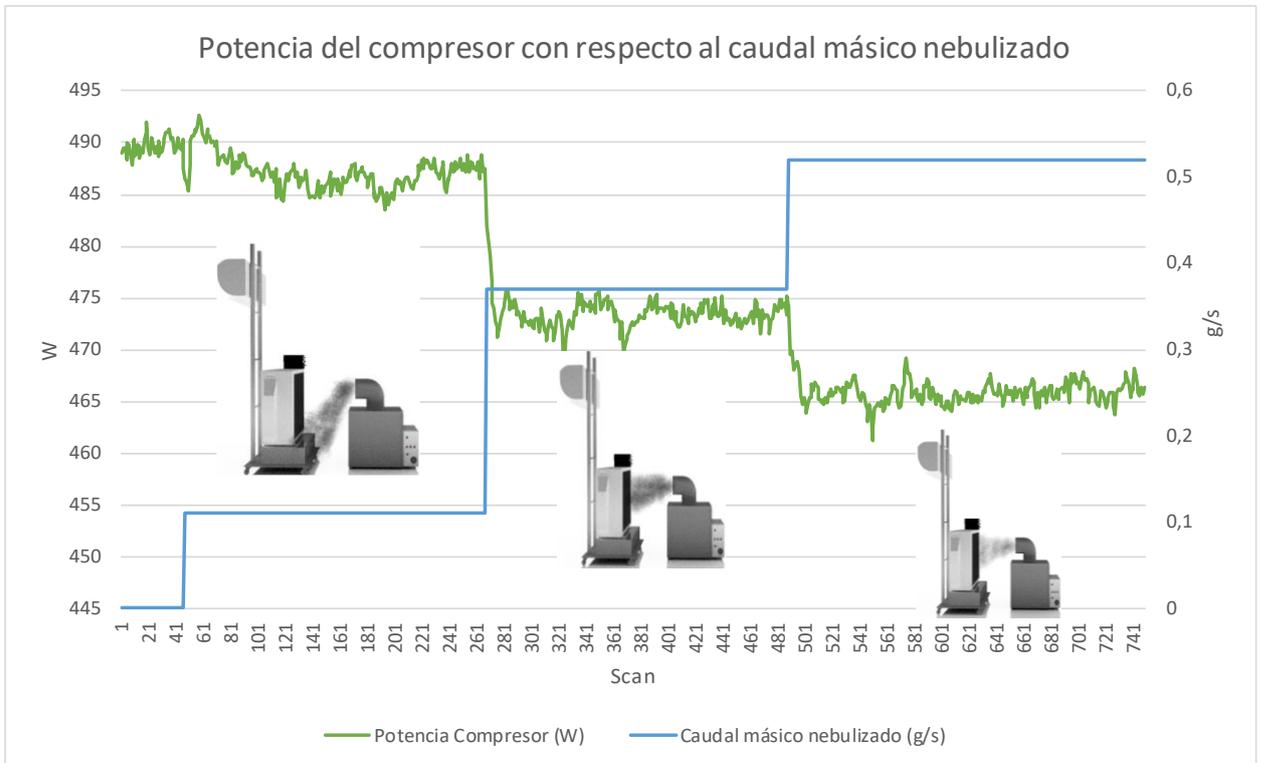
### ✓ **Ensayo 3.3**

- Velocidad 5: 2000 r.p.m
- Observación: La nube de agua nebulizada sale con más fuerza y dispersión. Se canaliza por completo, y se cumple el objetivo. Al igual que en el ensayo anterior, se produce el fenómeno de la condensación de la nube en las aletas del condensador.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



*Ilustración 74 Posición 3 Ensayo 3*

## ANÁLISIS GRÁFICO DE LA POSICIÓN 3



Gráfica 4 Posición 3 (W vs g/s)

En este ensayo se registran unos resultados muy parecidos al ensayo de la posición 2, pero con un decrecimiento más marcado. Ésto es resultado de que el nebulizador esté más cercano al condensador que en el ensayo anterior, a un metro de distancia.

Se nota con claridad como cada vez que se aumenta la velocidad del nebulizador se produce una caída en la línea verde, el consumo de potencia en el compresor, seguidamente se obtiene una estabilidad de consumo más bajo.

## ***OBSERVACIONES DE LA POSICIÓN 4***

Ciclo de refrigeración y Nebulizador a 50 mm de distancia, lo que es prácticamente pegado al ciclo de refrigeración, con la sonda de medición de temperatura de la nube en la boca del codo del nebulizador.

Nebulizador con el codo de 45 grados en dirección opuesta al ciclo.

### ✓ ***Ensayo 4.1***

- Velocidad 1: 400 r.p.m
- Observaciones: La nube sale muy densa, con elevación y en sentido contrario al condensador, sin embargo, sale con muy poca fuerza. Ésto hace que el ventilador del equipo de refrigeración consiga atraer al completo la nube, consiguiendo que se canalice al completo por en condensador. A diferencia de los casos anteriores, no se produce tanta condensación de la nube en las aletas del condensador, dado que se ve ese fenómeno en el mismo tubo del nebulizador, y en la parte superior del nebulizador.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



*Ilustración 75 Posición 4 Ensayo 1*

### ✓ ***Ensayo 4.2***

- Velocidad 3: 1200 r.p.m

- Observaciones: La nube sale menos densa, con más elevación que en el ensayo anterior y en sentido contrario al condensador, con algo más de fuerza. Sin embargo, el ventilador del equipo de aire acondicionado consigue atraerlo practicamente al completo. Se consigue canalizar una gran parte de la nube. Como en el ensayo anterior, se nota el fenómeno de condensación en el tubo del nebulizador, y en la parte superior del nebulizador. Además, se nota el termohigrómetro de la entrada al condensador húmedo, junto a las aletas.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



*Ilustración 76 Posición 4 Ensayo 2*

✓ **Ensayo 4.3**

- Velocidad 5: 2000 r.p.m
- Observaciones: Al aumentar la velocidad del ventilador del nebulizador, la nube de agua nebulizada sale con demasiada fuerza y elevación, dispersandose rápido. El ventilador del equipo de aire acondicionado no consigue atraer nada hacia al condensador. Así que no se cumple el objetivo.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán. Es interesante ver la diferencia de potencia consumida por el compresor en el cambio de del ensayo anterior a éste.

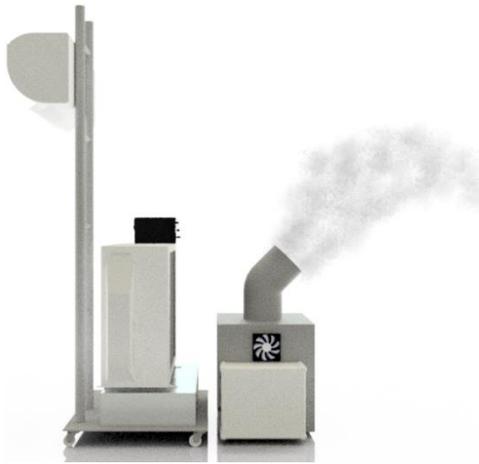
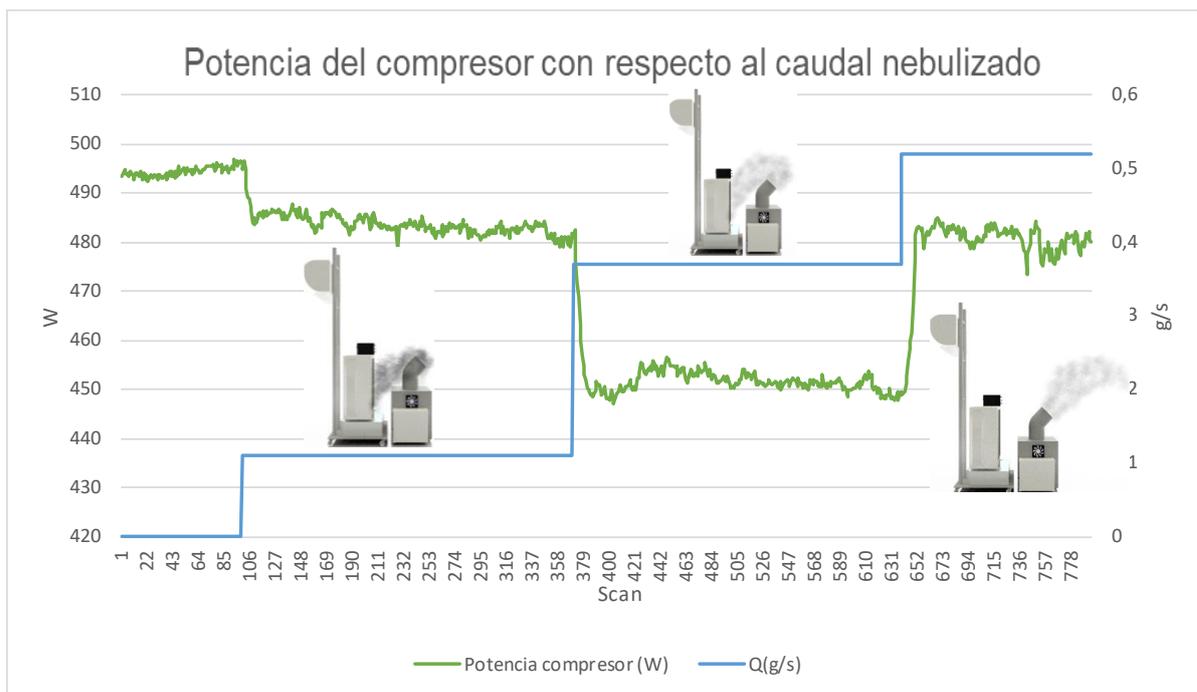


Ilustración 77 Posición 4 Ensayo 3

## ANÁLISIS GRÁFICO DE LA POSICIÓN 4



Gráfica 5 Posición 4 (W vs g/s)

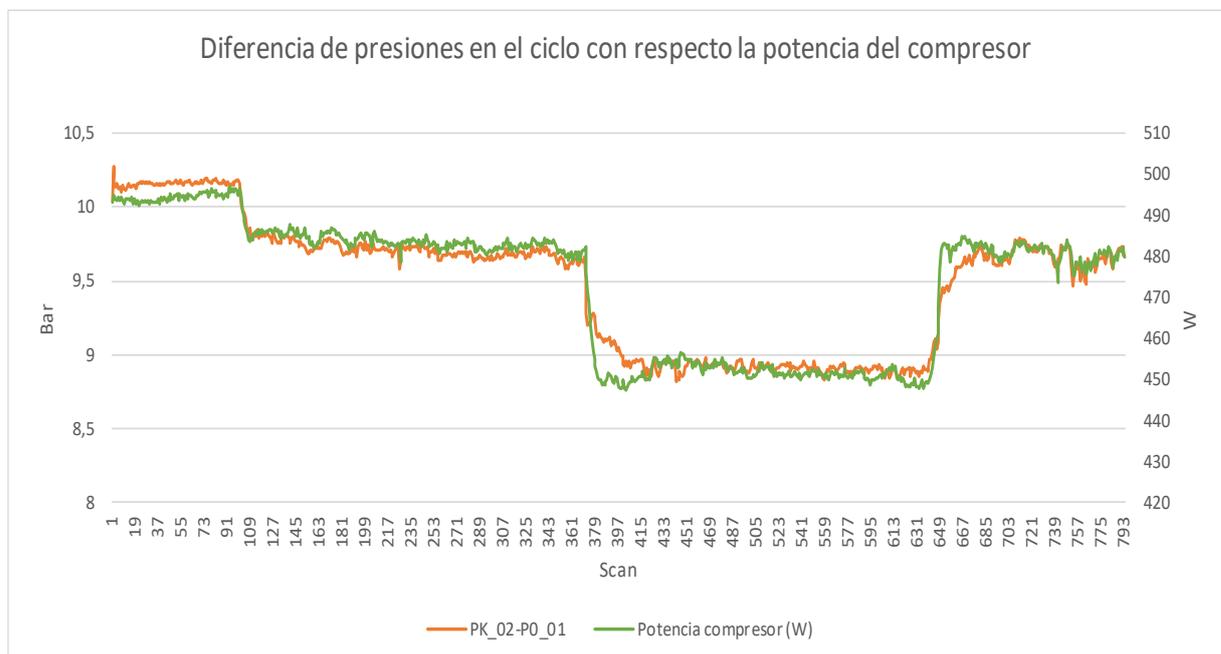
Este ensayo está dentro de la configuración B, se utiliza un codo a  $135^\circ$  opuesto al condensador, a 50mm del condensador. En el primer ensayo a velocidad 1, la nube se canaliza al completo ya que sale con poca fuerza y el ventilador la atrae hacia el condensador al completo. Se sigue viendo la tendencia de disminución en la potencia consumida con la aportación de agua nebulizada al condensador.

Seguidamente se aumenta la velocidad del nebulizador al 3, y como se observa en la imagen del centro de la gráfica, la nube coge algo más de fuerza, pero el ventilador del ciclo consigue canalizarla por el condensador al completo.

El resultado se ve en el centro de la gráfica, se consigue canalizar toda la nebulización por el condensador, la consecuencia es una importante caída en el consumo del compresor, seguido de una estabilización (línea verde).

En el último ensayo a velocidad 5, como se observa en la imagen de la derecha en la gráfica de arriba, la nube coge demasiada fuerza y se escapa a la atracción del ventilador, rompiendo de forma instantánea la completa canalización anterior.

Por lo tanto, no se canaliza nada, esto se traduce en un pico en el consumo de la potencia, seguido de una estabilidad en un consumo del mismo nivel que con el caudal 1.



Gráfica 6 Posición 4 (Bar vs W)

En esta gráfica se ven los mismos decrecimientos y crecimientos del consumo de potencia (línea verde) seguido con los mismos decrecimientos y crecimientos en la diferencia de presiones entre la zona del evaporador y en condensador del ciclo de refrigeración.

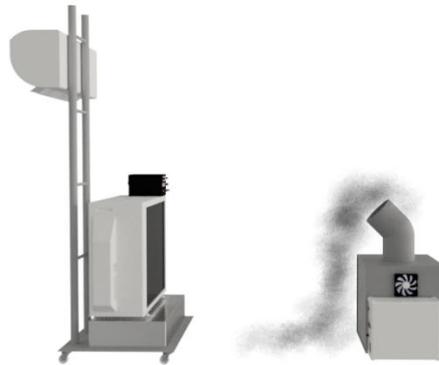
## ***OBSERVACIONES DE LA POSICIÓN 5***

Ciclo de refrigeración y Nebulizador a 1 m de distancia, con la sonda que mide la temperatura de la nube justo a mitad de ambos aparatos, a 0.5 m de cada uno.

Nebulizador con el codo de 45 grados en dirección al ciclo.

### ✓ ***Ensayo 5.1***

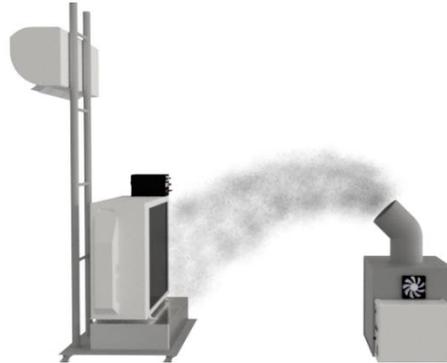
- Velocidad 1: 400 r.p.m
- Observaciones: El nebulizador expulsa la nube de agua nebulizada con poca fuerza hacia arriba y cae justo delante del nebulizador, difuminándose por el suelo y sin coger alcance. La consecuencia es que no se llega a canalizar prácticamente nada.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán. Ya que es interesante ver la progresión con respecto a los siguientes ensayos de esta posición.



*Ilustración 78 Posición 5 Ensayo 1*

✓ **Ensayo 5.2**

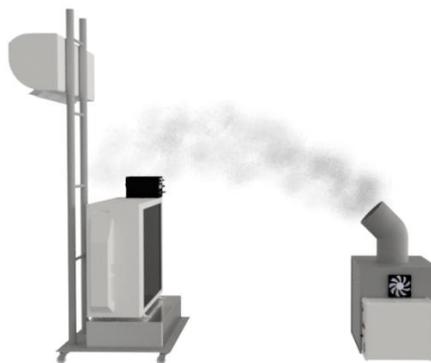
- Velocidad 3: 1200 r.p.m
- Observaciones: Al aumentar el caudal con la velocidad del ventilador, la nube coge más fuerza y altura haciendo un pequeño arco, aunque se dispersa un poco cae justo al condensador y se canaliza al completo.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán.



*Ilustración 79 Posición 5 Ensayo 2*

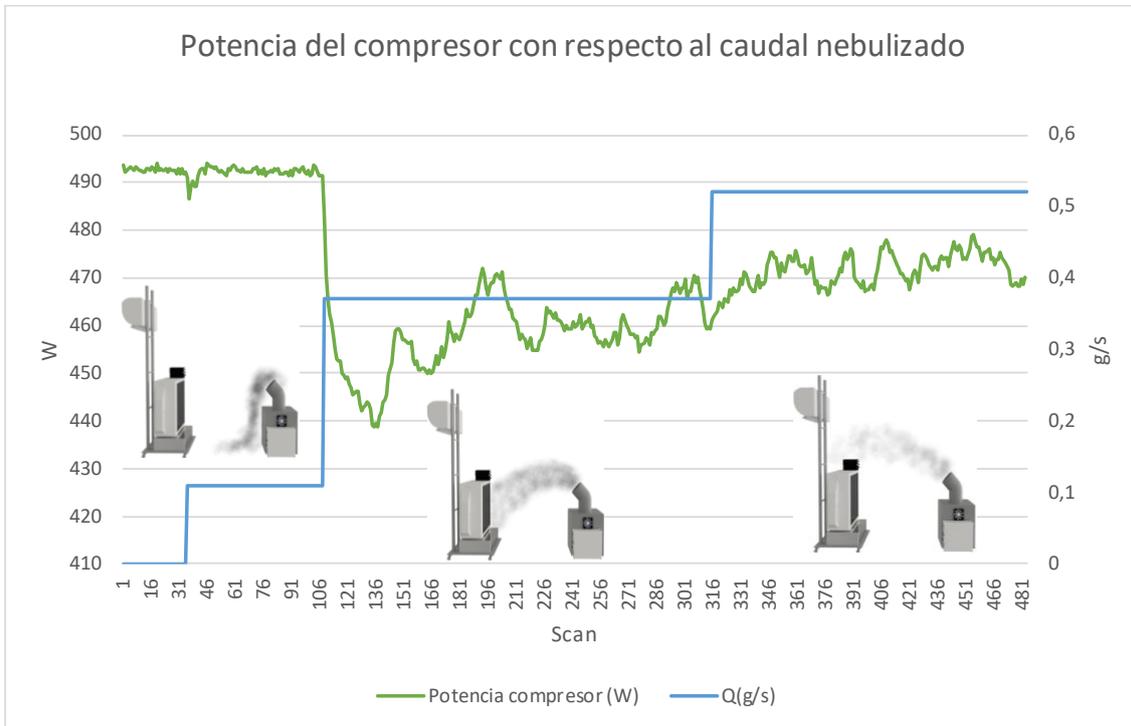
✓ **Ensayo 5.3**

- Velocidad 5: 2000 r.p.m
- Observaciones: Al aumentar la velocidad del ventilador al máximo, la nube se eleva bastante al coger fuerza y se dispersa bastante. Finalmente, la nube pasa por encima del condensador, y practicamente nada se canaliza.
- Conclusión: Se recopilan los datos y se analizarán. Puede ser interesante que al pasar la nube por encima del condensador haciendo un arco, enfríe el aire de esa zona, cayendo así por su mayor densidad y acabe canalizándose por el condensador.



*Ilustración 80 Posición 5 Ensayo 3*

## ANÁLISIS GRÁFICO DE LA POSICIÓN 5



Gráfica 7 Posición 5 (W vs g/s)

Este análisis de posición está dentro de la configuración del nebulizador C, donde el codo tiene una inclinación de  $135^\circ$  encarado al condensador, y a una distancia de 1 metro.

En el inicio del ensayo a velocidad 1, el caudal de agua nebulizada no llega al condensador, tal y como se ve en la imagen de la izquierda, el resultado es una nula variación en el consumo de potencia del compresor.

Seguidamente se aumenta la velocidad al 3, y como muestra la imagen del centro de la gráfica la nube coge más altura y alcance logrando la canalización prácticamente completa. El resultado es una caída en el consumo de potencia muy importante, seguidamente va subiendo el consumo de una forma moderada, esto se debe a la inestabilidad del caudal de agua nebulizada, que se ve muy afectada por brisas externas.

Después se aumenta la velocidad al máximo, y la nube coge aún más alcance y altura, pasando por encima del condensador. Esto deriva a un aumento del consumo de una manera más estable, se ve cierta tendencia estable en el incremento desde que se estabiliza la velocidad 3.

## **OBSERVACIÓN FINAL**

Al margen de todo lo expuesto anteriormente por cada ensayo, se aporta una observación importante. Antes de empezar los ensayos, se habían planteado unas hipótesis que podían suceder en los ensayos, sin embargo, no ha sido así.

En los casos donde la nube de agua nebulizada se ha conseguido canalizar en menor o mayor medida por el condensador, se había pensado que en aquellas posiciones donde el nebulizador y el condensador están cerca, la nube podía salir por el condensador. Siendo así, una clara indicación de que no se estaría aprovechando toda la potencia de enfriamiento evaporativo de la nube. Sin embargo, no ha sido así, en ninguno de los ensayos se ha observado part de la nube salir del condensador. A primera vista, es una indicación positiva hacia una buena eficiencia de enfriamiento.

## 6.3 Estudio avanzado de los datos

En este apartado comienza la caracterización del prototipo de agua nebulizada por ultrasonidos, funcionando en junto al ciclo de refrigeración. Se estudia el comportamiento de ambos y todos los parámetros que influyen en su funcionamiento y rendimiento.

Además, se va a mencionar el estudio científico llamado “*Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling coupled to the condenser*”. Este estudio está realizado con el mismo equipo de aire acondicionado por compresión de la marca “Kaysun”, realizado también en el laboratorio de la UMH de máquinas y motores térmicos. (P.Martinez, 2016)

Este estudio experimental tiene como finalidad el mismo que el desarrollado en este informe, mejorar la eficiencia de un ciclo de refrigeración por compresión. Sin embargo, se utiliza un panel evaporativo en el condensador, con un circuito cerrado recirculando constantemente agua por el panel evaporativo. De esta forma se produce un preenfriamiento del aire que atraviesa el condensador. En este caso se realizan una serie de ensayos variando el espesor de los paneles, buscando con cual de ellos se alcanzará la máxima eficiencia en el ciclo de refrigeración.

Se va a mostrar al final del apartado “6.3.1 Potencia consumida por el compresor”, haciendo una comparativa entre los dos consumos, remarcando en cual se produce un mayor ahorro, además de nombrar posibles desventajas de un estudio con respecto al otro.

A continuación, se muestra una tabla resumen donde se indican los parámetros que se van a estudiar y en función a que variable, caudal másico de agua nebulizada o distancia del nebulizador al condensador. Además, se marca con una “X” la existencia de dichas gráficas representando a una configuración o conjunto de ellas. Por lógica, donde no aparece una “X”, no existe gráfica, esta decisión se debe a la innecesidad de su representación, o bien su imposibilidad. Por ejemplo, en las configuraciones de comparación “B vs A”, “C vs A”, no tiene sentido comparar parámetros en función de la distancia entre nebulizador y condensador, ya que es la misma distancia.

GRÁFICAS		CONFIGURACIONES			
		Configuración A	Configuración B vs A	Configuración C vs A	Configuración A, B y C
Potencia consumida por el compresor	En función de... Caudal másico Nebulizado $\dot{m}_N$ (g/s)	X	X	X	X
	En función de... Distancia del Nebulizador al condensador $d(m)$	X			
Diferencia de temperatura entre el ambiente y la entrada al condensador	En función de... $\dot{m}_N$ (g/s)	X	X	X	X
	En función de... $d(m)$	X			
Porcentaje de caudal másico de agua nebulizada absorbida por el aire	En función de... $\dot{m}_N$ (g/s)	X			
	En función de... $d(m)$	X			
Eficiencia de saturación	En función de... $\dot{m}_N$ (g/s)	X	X	X	X
	En función de... $d(m)$	X			
Enfriamiento producido en el condensador por el máximo posible	En función de... $\dot{m}_N$ (g/s)	X	X	X	X
	En función de... $d(m)$	X			

Tabla 8 Esquema de gráficas

## ***Cálculo de propiedades con Engineering Engine Solve (EES)***

Para la representación de las gráficas anteriores, se requieren algunos cálculos. Las fórmulas y los procedimientos serán expuestos en su correspondiente apartado. Sin embargo, se ha necesitado usar el EES para el cálculo de varias propiedades del ambiente. En este apartado, se van a mostrar los códigos escritos para cada posición, y el resultado de todas las propiedades necesarias. Todos tienen en común. De esta forma, los apartados siguientes harán referencias a este apartado cuando se haya calculado algún parámetro por EES.

### ***Configuración A. Posiciones 1, 2 y 3:***

Patm=101325[Pa]

#### ***"Posición 1 Ensayo 1"***

Tamb1\_1=22,25278[C]  
HRamb1\_1=0,7032084  
omega\_amb1\_1=HumRat(AirH2O;T=Tamb1\_1;r=HRamb1\_1;P=Patm)  
wb1\_1=WetBulb(AirH2O;T=Tamb1\_1;w=omega\_amb1\_1;P=Patm)  
Tsal1\_1=26,19[C]  
HRsal1\_1=0,5477  
omega\_sal1\_1=HumRat(AirH2O;T=Tsal1\_1;r=HRsal1\_1;P=Patm)  
Tmist1\_1=18,10437[C]  
cp1\_1=Cp(AirH2O;T=Tamb1\_1;r=HRamb1\_1;P=Patm)  
DELTAh\_vap1\_1=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb1\_1)

#### ***"Posición 1 Ensayo 2"***

Tamb1\_2=22,19792[C]  
HRamb1\_2=0,7103742  
omega\_amb1\_2=HumRat(AirH2O;T=Tamb1\_2;r=HRamb1\_2;P=Patm)  
wb1\_2=WetBulb(AirH2O;T=Tamb1\_2;w=omega\_amb1\_2;P=Patm)  
Tsal1\_2=26,007[C]  
HRsal1\_2=0,55928  
omega\_sal1\_2=HumRat(AirH2O;T=Tsal1\_2;r=HRsal1\_2;P=Patm)  
Tmist1\_2=17,9505[C]  
cp1\_2=Cp(AirH2O;T=Tamb1\_2;r=HRamb1\_2;P=Patm)  
DELTAh\_vap1\_2=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb1\_2)

#### ***"Posición 1 Ensayo 3"***

Tamb1\_3=22,21671[C]  
HRamb1\_3=0,7036922  
omega\_amb1\_3=HumRat(AirH2O;T=Tamb1\_3;r=HRamb1\_3;P=Patm)  
wb1\_3=WetBulb(AirH2O;T=Tamb1\_3;w=omega\_amb1\_3;P=Patm)  
Tsal1\_3=25,802[C]  
HRsal1\_3=0,56705  
omega\_sal1\_3=HumRat(AirH2O;T=Tsal1\_3;r=HRsal1\_3;P=Patm)  
Tmist1\_3=18,0852[C]  
cp1\_3=Cp(AirH2O;T=Tamb1\_3;r=HRamb1\_3;P=Patm)  
DELTAh\_vap1\_3=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb1\_3)

#### ***"Posición 2 Ensayo 1"***

Tamb2\_1=22,70991[C]  
HRamb2\_1=0,6811688  
omega\_amb2\_1=HumRat(AirH2O;T=Tamb2\_1;r=HRamb2\_1;P=Patm)  
wb2\_1=WetBulb(AirH2O;T=Tamb2\_1;w=omega\_amb2\_1;P=Patm)  
Tsal2\_1=26,6679[C]  
HRsal2\_1=0,5273  
omega\_sal2\_1=HumRat(AirH2O;T=Tsal2\_1;r=HRsal2\_1;P=Patm)  
Tmist2\_1=21,1324[C]  
cp2\_1=Cp(AirH2O;T=Tamb2\_1;r=HRamb2\_1;P=Patm)  
DELTAh\_vap2\_1=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb2\_1)

#### ***"Posición 2 Ensayo 2"***

Tamb2\_2=22,72684[C]  
HRamb2\_2=0,6767143  
omega\_amb2\_2=HumRat(AirH2O;T=Tamb2\_2;r=HRamb2\_2;P=Patm)  
wb2\_2=WetBulb(AirH2O;T=Tamb2\_2;w=omega\_amb2\_2;P=Patm)  
Tsal2\_2=24,8575[C]  
HRsal2\_2=0,62239  
omega\_sal2\_2=HumRat(AirH2O;T=Tsal2\_2;r=HRsal2\_2;P=Patm)  
Tmist2\_2=18,48662[C]  
cp2\_2=Cp(AirH2O;T=Tamb2\_2;r=HRamb2\_2;P=Patm)  
DELTAh\_vap2\_2=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb2\_2)

#### ***"Posición 2 Ensayo 3"***

Tamb2\_3=22,69806[C]  
HRamb2\_3=0,6829355  
omega\_amb2\_3=HumRat(AirH2O;T=Tamb2\_3;r=HRamb2\_3;P=Patm)  
wb2\_3=WetBulb(AirH2O;T=Tamb2\_3;w=omega\_amb2\_3;P=Patm)  
Tsal2\_3=23,6744[C]  
HRsal2\_3=0,707811  
omega\_sal2\_3=HumRat(AirH2O;T=Tsal2\_3;r=HRsal2\_3;P=Patm)  
Tmist2\_3=18,1952[C]  
cp2\_3=Cp(AirH2O;T=Tamb2\_3;r=HRamb2\_3;P=Patm)  
DELTAh\_vap2\_3=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb2\_3)

*Ilustración 81 Código EES Posición 1*

*Ilustración 82 Código EES Posición 2*

"Posición 3 Ensayo 1"  
Tamb3\_1=22,50099[C]  
HRamb3\_1=0,7206793  
omega\_amb3\_1=HumRat(AirH2O;T=Tamb3\_1;r=HRamb3\_1;P=Patm)  
wb3\_1=WetBulb(AirH2O;T=Tamb3\_1;w=omega\_amb3\_1;P=Patm)  
Tsal3\_1=26,0681[C]  
HRsal3\_1=0,56958  
omega\_sal3\_1=HumRat(AirH2O;T=Tsal3\_1;r=HRsal3\_1;P=Patm)  
Tmist3\_1=20,1602[C]  
cp3\_1=Cp(AirH2O;T=Tamb3\_1;r=HRamb3\_1;P=Patm)  
DELTAh\_vap3\_1=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb3\_1)

"Posición 3 Ensayo 2"  
Tamb3\_2=22,42292[C]  
HRamb3\_2=0,7246172  
omega\_amb3\_2=HumRat(AirH2O;T=Tamb3\_2;r=HRamb3\_2;P=Patm)  
wb3\_2=WetBulb(AirH2O;T=Tamb3\_2;w=omega\_amb3\_2;P=Patm)  
Tsal3\_2=23,9194[C]  
HRsal3\_2=0,7047  
omega\_sal3\_2=HumRat(AirH2O;T=Tsal3\_2;r=HRsal3\_2;P=Patm)  
Tmist3\_2=19,0453[C]  
cp3\_2=Cp(AirH2O;T=Tamb3\_2;r=HRamb3\_2;P=Patm)  
DELTAh\_vap3\_2=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb3\_2)

"Posición 3 Ensayo 3"  
Tamb3\_3=22,33962[C]  
HRamb3\_3=0,7367019  
omega\_amb3\_3=HumRat(AirH2O;T=Tamb3\_3;r=HRamb3\_3;P=Patm)  
wb3\_3=WetBulb(AirH2O;T=Tamb3\_3;w=omega\_amb3\_3;P=Patm)  
Tsal3\_3=23,3391[C]  
HRsal3\_3=0,751285  
omega\_sal3\_3=HumRat(AirH2O;T=Tsal3\_3;r=HRsal3\_3;P=Patm)  
Tmist3\_3=18,7377[C]  
cp3\_3=Cp(AirH2O;T=Tamb3\_3;r=HRamb3\_3;P=Patm)  
DELTAh\_vap3\_3=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb3\_3)

Ilustración 84 Código EES Posición 3

cp1 <sub>1</sub> = 1027 [J/kg-K]	cp1 <sub>2</sub> = 1027 [J/kg-K]	cp1 <sub>3</sub> = 1026 [J/kg-K]	cp2 <sub>1</sub> = 1026 [J/kg-K]
cp2 <sub>2</sub> = 1026 [J/kg-K]	cp2 <sub>3</sub> = 1026 [J/kg-K]	cp3 <sub>1</sub> = 1027 [J/kg-K]	cp3 <sub>2</sub> = 1027 [J/kg-K]
cp3 <sub>3</sub> = 1028 [J/kg-K]	Δh <sub>vap1,1</sub> = 2,448E+06 [J/kg]	Δh <sub>vap1,2</sub> = 2,448E+06 [J/kg]	Δh <sub>vap1,3</sub> = 2,448E+06 [J/kg]
Δh <sub>vap2,1</sub> = 2,447E+06 [J/kg]	Δh <sub>vap2,2</sub> = 2,447E+06 [J/kg]	Δh <sub>vap2,3</sub> = 2,447E+06 [J/kg]	Δh <sub>vap3,1</sub> = 2,447E+06 [J/kg]
Δh <sub>vap3,2</sub> = 2,448E+06 [J/kg]	Δh <sub>vap3,3</sub> = 2,448E+06 [J/kg]	HRamb1 <sub>1</sub> = 0,7032	HRamb1 <sub>2</sub> = 0,7104
HRamb1 <sub>3</sub> = 0,7037	HRamb2 <sub>1</sub> = 0,6812	HRamb2 <sub>2</sub> = 0,6767	HRamb2 <sub>3</sub> = 0,6829
HRamb3 <sub>1</sub> = 0,7207	HRamb3 <sub>2</sub> = 0,7246	HRamb3 <sub>3</sub> = 0,7367	HRsal1 <sub>1</sub> = 0,5477
HRsal1 <sub>2</sub> = 0,5593	HRsal1 <sub>3</sub> = 0,5671	HRsal2 <sub>1</sub> = 0,5273	HRsal2 <sub>2</sub> = 0,6224
HRsal2 <sub>3</sub> = 0,7078	HRsal3 <sub>1</sub> = 0,5696	HRsal3 <sub>2</sub> = 0,7047	HRsal3 <sub>3</sub> = 0,7513
ω <sub>amb1,1</sub> = 0,01181	ω <sub>amb1,2</sub> = 0,0119	ω <sub>amb1,3</sub> = 0,0118	ω <sub>amb2,1</sub> = 0,01177
ω <sub>amb2,2</sub> = 0,0117	ω <sub>amb2,3</sub> = 0,01179	ω <sub>amb3,1</sub> = 0,0123	ω <sub>amb3,2</sub> = 0,01231
ω <sub>amb3,3</sub> = 0,01245	ω <sub>sal1,1</sub> = 0,01165	ω <sub>sal1,2</sub> = 0,01177	ω <sub>sal1,3</sub> = 0,01179
ω <sub>sal2,1</sub> = 0,01153	ω <sub>sal2,2</sub> = 0,01224	ω <sub>sal2,3</sub> = 0,01298	ω <sub>sal3,1</sub> = 0,01203
ω <sub>sal3,2</sub> = 0,01312	ω <sub>sal3,3</sub> = 0,01352	Patm = 101325 [Pa]	Tamb1 <sub>1</sub> = 22,25 [C]
Tamb1 <sub>2</sub> = 22,2 [C]	Tamb1 <sub>3</sub> = 22,22 [C]	Tamb2 <sub>1</sub> = 22,71 [C]	Tamb2 <sub>2</sub> = 22,73 [C]
Tamb2 <sub>3</sub> = 22,7 [C]	Tamb3 <sub>1</sub> = 22,5 [C]	Tamb3 <sub>2</sub> = 22,42 [C]	Tamb3 <sub>3</sub> = 22,34 [C]
Tmist1 <sub>1</sub> = 18,1 [C]	Tmist1 <sub>2</sub> = 17,95 [C]	Tmist1 <sub>3</sub> = 18,09 [C]	Tmist2 <sub>1</sub> = 21,13 [C]
Tmist2 <sub>2</sub> = 18,49 [C]	Tmist2 <sub>3</sub> = 18,2 [C]	Tmist3 <sub>1</sub> = 20,16 [C]	Tmist3 <sub>2</sub> = 19,05 [C]
Tmist3 <sub>3</sub> = 18,74 [C]	Tsal1 <sub>1</sub> = 26,19 [C]	Tsal1 <sub>2</sub> = 26,01 [C]	Tsal1 <sub>3</sub> = 25,8 [C]
Tsal2 <sub>1</sub> = 26,67 [C]	Tsal2 <sub>2</sub> = 24,86 [C]	Tsal2 <sub>3</sub> = 23,67 [C]	Tsal3 <sub>1</sub> = 26,07 [C]
Tsal3 <sub>2</sub> = 23,92 [C]	Tsal3 <sub>3</sub> = 23,34 [C]	wb1 <sub>1</sub> = 18,52 [C]	wb1 <sub>2</sub> = 18,57 [C]
wb1 <sub>3</sub> = 18,49 [C]	wb2 <sub>1</sub> = 18,63 [C]	wb2 <sub>2</sub> = 18,58 [C]	wb2 <sub>3</sub> = 18,64 [C]
wb3 <sub>1</sub> = 18,98 [C]	wb3 <sub>2</sub> = 18,96 [C]	wb3 <sub>3</sub> = 19,05 [C]	

Ilustración 83 Soluciones EES Posiciones 1, 2 y 3

## Configuración B, posición 4 y Configuración C posición 5:

Patm=101325[Pa]

### "Posición 4 Ensayo 1"

Tamb4\_1=23,04043[C]  
 HRamb4\_1=0,58376  
 omega\_amb4\_1=HumRat(AirH2O;T=Tamb4\_1;r=HRamb4\_1;P=Patm)  
 wb4\_1=WetBulb(AirH2O;T=Tamb4\_1;w=omega\_amb4\_1;P=Patm)  
 cp4\_1=Cp(AirH2O;T=Tamb4\_1;r=HRamb4\_1;P=Patm)  
 DELTAh\_vap4\_1=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb4\_1)

### "Posición 4 Ensayo 2"

Tamb4\_2=23,02774[C]  
 HRamb4\_2=0,58411  
 omega\_amb4\_2=HumRat(AirH2O;T=Tamb4\_2;r=HRamb4\_2;P=Patm)  
 wb4\_2=WetBulb(AirH2O;T=Tamb4\_2;w=omega\_amb4\_2;P=Patm)  
 cp4\_2=Cp(AirH2O;T=Tamb4\_2;r=HRamb4\_2;P=Patm)  
 DELTAh\_vap4\_2=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb4\_2)

### "Posición 4 Ensayo 3"

Tamb4\_3=22,81548[C]  
 HRamb4\_3=0,60593  
 omega\_amb4\_3=HumRat(AirH2O;T=Tamb4\_3;r=HRamb4\_3;P=Patm)  
 wb4\_3=WetBulb(AirH2O;T=Tamb4\_3;w=omega\_amb4\_3;P=Patm)  
 cp4\_3=Cp(AirH2O;T=Tamb4\_3;r=HRamb4\_3;P=Patm)  
 DELTAh\_vap4\_3=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb4\_3)

### "Posición 5 Ensayo 1"

Tamb5\_1=22,96361[C]  
 HRamb5\_1=0,59011  
 omega\_amb5\_1=HumRat(AirH2O;T=Tamb5\_1;r=HRamb5\_1;P=Patm)  
 wb5\_1=WetBulb(AirH2O;T=Tamb5\_1;w=omega\_amb5\_1;P=Patm)  
 cp5\_1=Cp(AirH2O;T=Tamb5\_1;r=HRamb5\_1;P=Patm)  
 DELTAh\_vap5\_1=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb5\_1)

### "Posición 5 Ensayo 2"

Tamb5\_2=22,9098[C]  
 HRamb5\_2=0,59492  
 omega\_amb5\_2=HumRat(AirH2O;T=Tamb5\_2;r=HRamb5\_2;P=Patm)  
 wb5\_2=WetBulb(AirH2O;T=Tamb5\_2;w=omega\_amb5\_2;P=Patm)  
 cp5\_2=Cp(AirH2O;T=Tamb5\_2;r=HRamb5\_2;P=Patm)  
 DELTAh\_vap5\_2=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb5\_2)

### "Posición 5 Ensayo 3"

Tamb5\_3=22,83361[C]  
 HRamb5\_3=0,60403  
 omega\_amb5\_3=HumRat(AirH2O;T=Tamb5\_3;r=HRamb5\_3;P=Patm)  
 wb5\_3=WetBulb(AirH2O;T=Tamb5\_3;w=omega\_amb5\_3;P=Patm)  
 cp5\_3=Cp(AirH2O;T=Tamb5\_3;r=HRamb5\_3;P=Patm)  
 DELTAh\_vap5\_3=Enthalpy\_vaporization(Water;T=Tamb5\_3)

Ilustración 86 Código EES Posición 4

Ilustración 85 Código EES Posición 5

$$cp4_1 = 1024 \text{ [J/kg-K]}$$

$$cp5_1 = 1024 \text{ [J/kg-K]}$$

$$\Delta h_{vap4,1} = 2,446E+06 \text{ [J/kg]}$$

$$\Delta h_{vap5,1} = 2,446E+06 \text{ [J/kg]}$$

$$HRamb4_1 = 0,5838$$

$$HRamb5_1 = 0,5901$$

$$\omega_{amb4,1} = 0,01026$$

$$\omega_{amb5,1} = 0,01033$$

$$Patm = 101325 \text{ [Pa]}$$

$$Tamb4_3 = 22,82 \text{ [C]}$$

$$Tamb5_3 = 22,83 \text{ [C]}$$

$$wb4_3 = 17,66 \text{ [C]}$$

$$wb5_3 = 17,65 \text{ [C]}$$

$$cp4_2 = 1024 \text{ [J/kg-K]}$$

$$cp5_2 = 1024 \text{ [J/kg-K]}$$

$$\Delta h_{vap4,2} = 2,446E+06 \text{ [J/kg]}$$

$$\Delta h_{vap5,2} = 2,446E+06 \text{ [J/kg]}$$

$$HRamb4_2 = 0,5841$$

$$HRamb5_2 = 0,5949$$

$$\omega_{amb4,2} = 0,01026$$

$$\omega_{amb5,2} = 0,01038$$

$$Tamb4_1 = 23,04 \text{ [C]}$$

$$Tamb5_1 = 22,96 \text{ [C]}$$

$$wb4_1 = 17,53 \text{ [C]}$$

$$wb5_1 = 17,56 \text{ [C]}$$

$$cp4_3 = 1024 \text{ [J/kg-K]}$$

$$cp5_3 = 1024 \text{ [J/kg-K]}$$

$$\Delta h_{vap4,3} = 2,447E+06 \text{ [J/kg]}$$

$$\Delta h_{vap5,3} = 2,447E+06 \text{ [J/kg]}$$

$$HRamb4_3 = 0,6059$$

$$HRamb5_3 = 0,604$$

$$\omega_{amb4,3} = 0,01051$$

$$\omega_{amb5,3} = 0,01049$$

$$Tamb4_2 = 23,03 \text{ [C]}$$

$$Tamb5_2 = 22,91 \text{ [C]}$$

$$wb4_2 = 17,53 \text{ [C]}$$

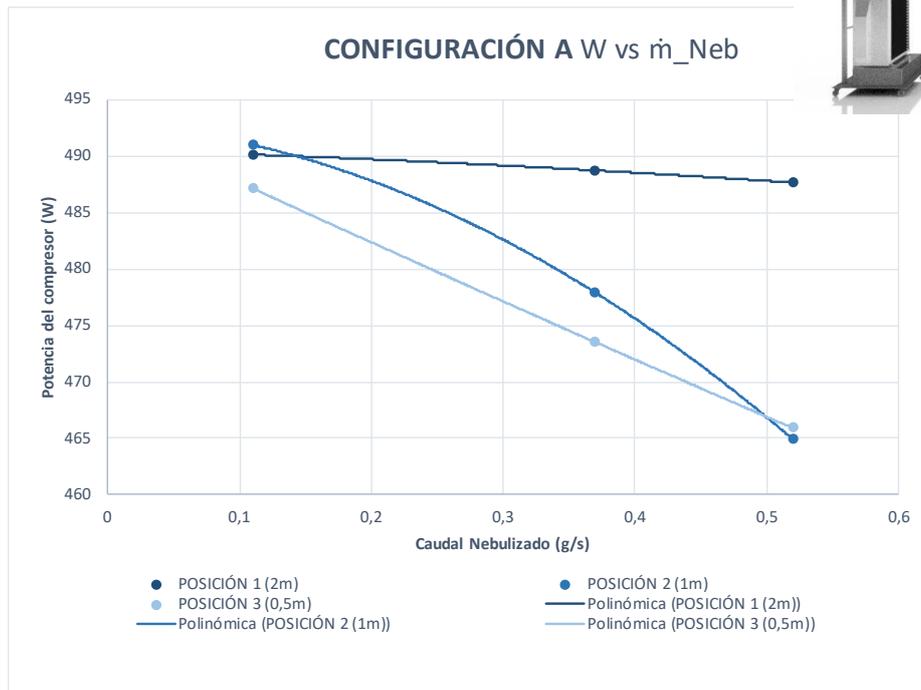
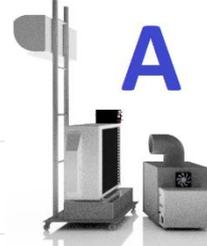
$$wb5_2 = 17,58 \text{ [C]}$$

Ilustración 87 Soluciones EES Posiciones 4 y 5

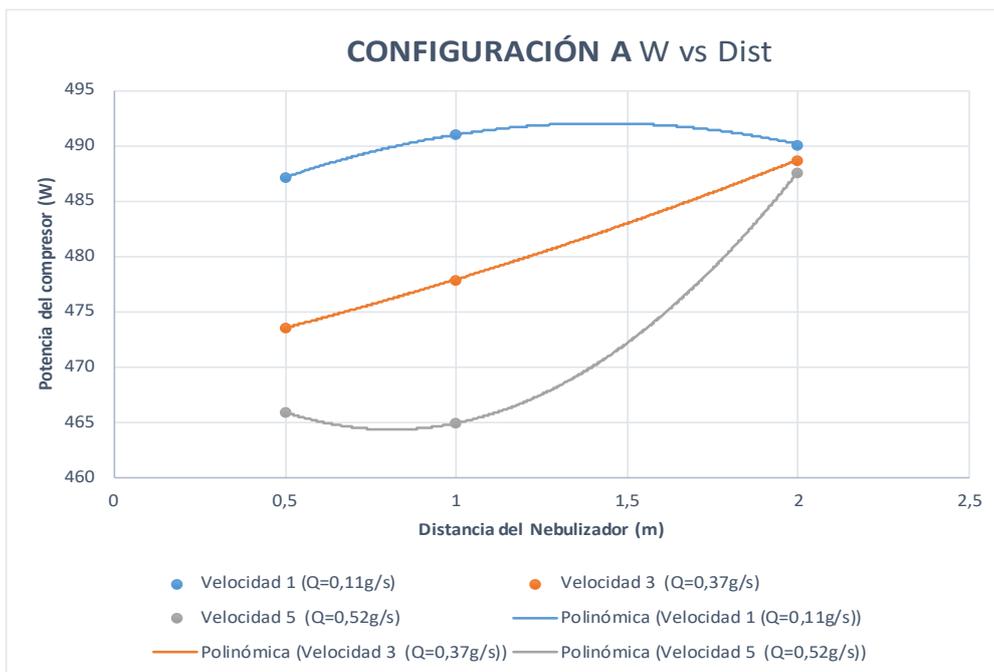
### 6.3.1 Potencia consumida por el compresor

Con respecto al cálculo de la potencia se ha explicado el procedimiento al principio del apartado anterior.

#### 6.3.1.1 Configuración A



Gráfica 8 Configuración A W vs  $\dot{m}_{Neb}$

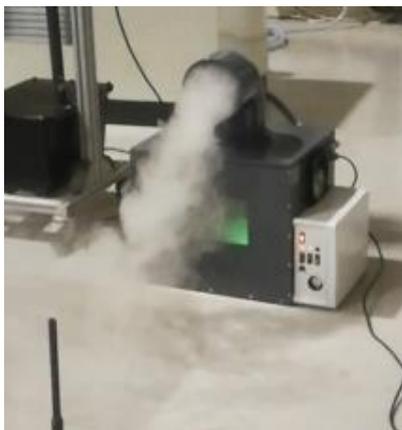


Gráfica 9 Configuración A W vs Distancia

Estas gráficas son bastante significativas en este estudio, ya que muestran la variación del consumo en compresor, y su disminución es la función de este estudio. Recordando la “configuración A” que representan estas gráficas, es cuando el nebulizador tiene un codo de 90° y está encarado al condensador.

En la primera gráfica se observa que aún variando el caudal másico del nebulizador en la posición 1, el consumo no disminuye, sin embargo, vemos la tendencia a disminuir en las posiciones 2 y 3, con valores muy parecidos.

Además, observando la gráfica anterior, donde se ve la tendencia del caudal del nebulizador con respecto la distancia, se observa en la línea gris, que representa el máximo valor de caudal nebulizado, y que efectivamente no existe diferencia de consumo entre tener la posición a 1 metro o a 0,5 metros si el nebulizador está trabajando a máxima potencia. A continuación, se muestran imágenes tomadas en el laboratorio de todos los ensayos de la configuración A:



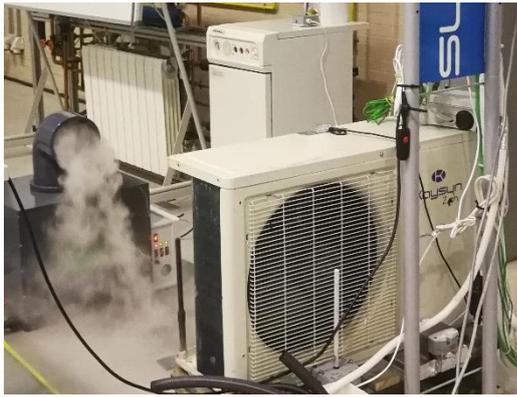
*Ilustración 90 Posición 1 Velocidad 1 Caudal 0,11g/s*



*Ilustración 89 Posición 1 Velocidad 3 Caudal 0,37g/s*



*Ilustración 88 Posición 1 Velocidad 5 Caudal 0,52g/s*



*Ilustración 91 Posición 2 Velocidad 1 Caudal 0,11g/s*



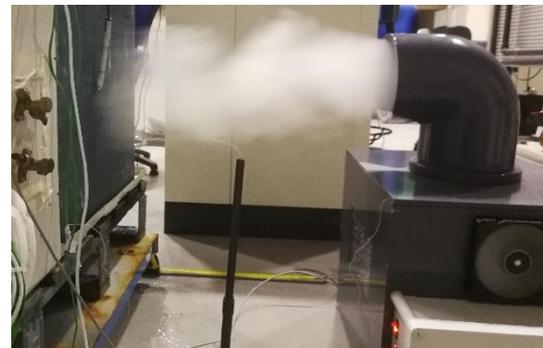
*Ilustración 96 Posición 2 Velocidad 3 Caudal 0,37g/s*



*Ilustración 95 Posición 2 Velocidad 5 Caudal 0,52g/s*



*Ilustración 94 Posición 3 Velocidad 1 Caudal 0,11g/s*



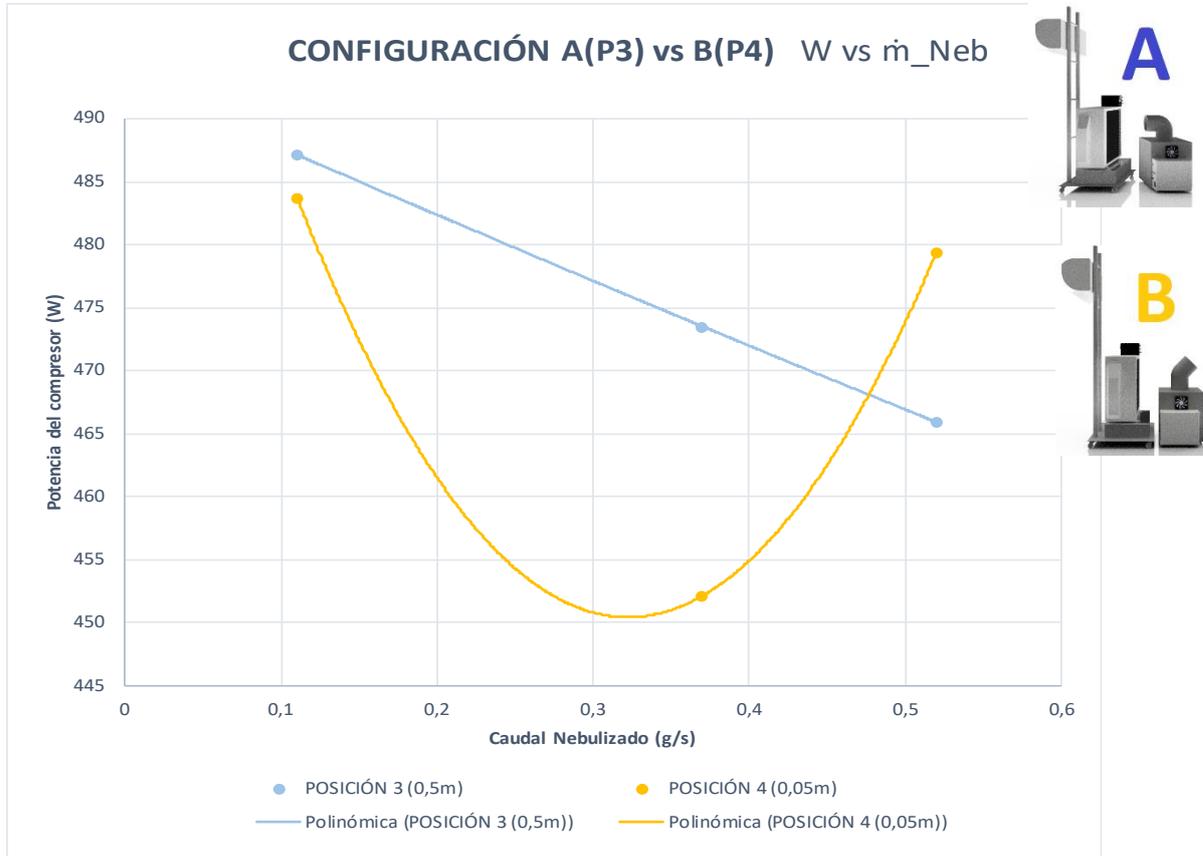
*Ilustración 93 Posición 3 Velocidad 3 Caudal 0,37g/s*



*Ilustración 92 Posición 3 Velocidad 5 Caudal 0,52g/s*

### 6.3.1.2 Configuración B vs A

- Posición 3. Configuración A. 0,5m Condensador-Nebulizador.
- Posición 4. Configuración B. 50 mm Condensador-Nebulizador.



Gráfica 10 Configuración A vs B W vs  $\dot{m}_{Neb}$

De la configuración B solo se ha realizado un ensayo a 0,05 metro de distancia, debido a que, a simple vista en el laboratorio, se veía claramente que era el único que podía ser eficiente. La configuración C cuenta con un codo de 135° a sentido opuesto del condensador, por lo tanto, el nebulizador tiene que estar lo más pegado posible al condensador, ya que la nube de agua nebulizada va a salir en sentido contrario. Debido a esto, solo se ha realizado el estudio en una posición, la 5. La idea es que la nube salga con poca fuerza, muy densa cerca del condensador, y que el ventilador del condensador atraiga la nube. La idea principal es conseguir el máximo ahorro en el consumo con las velocidades 1 y 3 del ventilador del nebulizador.

Debido a la distancia con respecto al nebulizador, se ha decidido hacer la comparación con la posición 3, de la configuración A, ya que están a la misma distancia, y ver como varía en función de la configuración y del caudal.

Se observa una tendencia lineal decreciente en el consumo de la posición 3(A), ya que independientemente del caudal, se canaliza todo al estar perfectamente encarado al condensador. Sin embargo, en la posición 5(B) se observa una función convexa, con un punto de mínimo consumo en el punto de inflexión mínimo, que coincide con la velocidad 3 del ventilador del nebulizador y por lo tanto con un caudal de 0,37g/s. De hecho, se ha logrado con la posición 5 y un caudal de 0,37g/s, un ahorro de consumo mayor que en la posición 3 y un caudal de 0,52g/s. Ésto supone además de un ahorro mayor en el compresor, un ahorro en el ventilador del nebulizador, que tiene que expulsar menos caudal de agua nebulizada. A continuación, se muestran imágenes tomadas en el laboratorio de todos los ensayos de la configuración B:



*Ilustración 98 Posición 4 Velocidad 1 Caudal 0,11g/s*



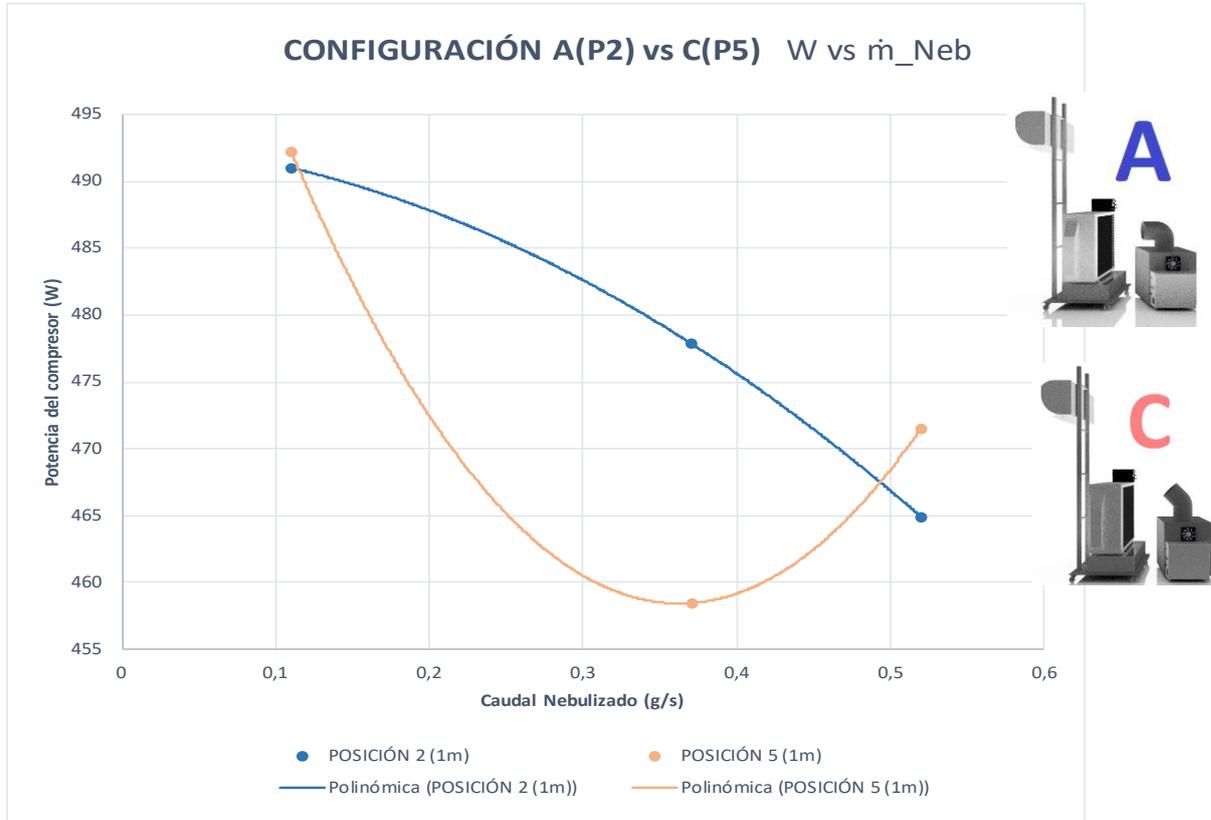
*Ilustración 99 Posición 4 Velocidad 3 Caudal 0,37g/s*



*Ilustración 97 Posición 4 Velocidad 5 Caudal 0,52g/s*

### 6.3.1.3 Configuración C vs A

- Posición 2. Configuración A. 1 m Condensador-Nebulizador.
- Posición 5. Configuración B. 1 m Condensador-Nebulizador.



Gráfica 11 Configuración A vs C W vs  $\dot{m}_{Neb}$

De la configuración C solo se ha realizado un ensayo a 1 metro de distancia, debido a que, a simple vista en el laboratorio, se veía claramente que era el único que podía ser eficiente. A 2 metros existía el mismo problema que en la configuración A no se canalizaba la nube de agua nebulizada, no alcanzaba el condensador. Con respecto a la posición de 0,5m, prácticamente no se canalizaba nada, debido al ángulo de 135° del codo, se desviaba por encima del condensador.

Por lo tanto, se ha decidido hacer una comparación de la única posición de la configuración C que es óptima (*posición 5*), con la *posición 2* de la configuración A, que también está a un metro.

Es importante recordar, que en el análisis de la configuración A, la posición 2 que se está comparando ahora, era la más eficiente. Sin embargo, comparándola con la

posición 4, se ve que se logra una disminución del trabajo del compresor con la configuración C. Ésta describe una función convexa, donde el punto más eficiente es el punto de inflexión mínimo, que es el cercano al caudal medio del nebulizador, es decir, a la velocidad 3 de éste. Esto es interesante porque además de disminuir la potencia del compresor, también se disminuye en el ventilador del ventilador en el nebulizador.

La razón por la que la tendencia del consumo del compresor es convexa, es debida a que a la velocidad 1, no se llega a canalizar casi nada del caudal, a la velocidad 3 se logra canalizar todo, y a la velocidad 5, el caudal pasa por arriba del condensador, por lo que vuelve a haber un pico de consumo. A continuación se muestran imagenes tomadas en el laboratorio de todos los ensayos de la configuración C:



*Ilustración 103 Posición 5 Velocidad 1 Caudal 0,19g/s*



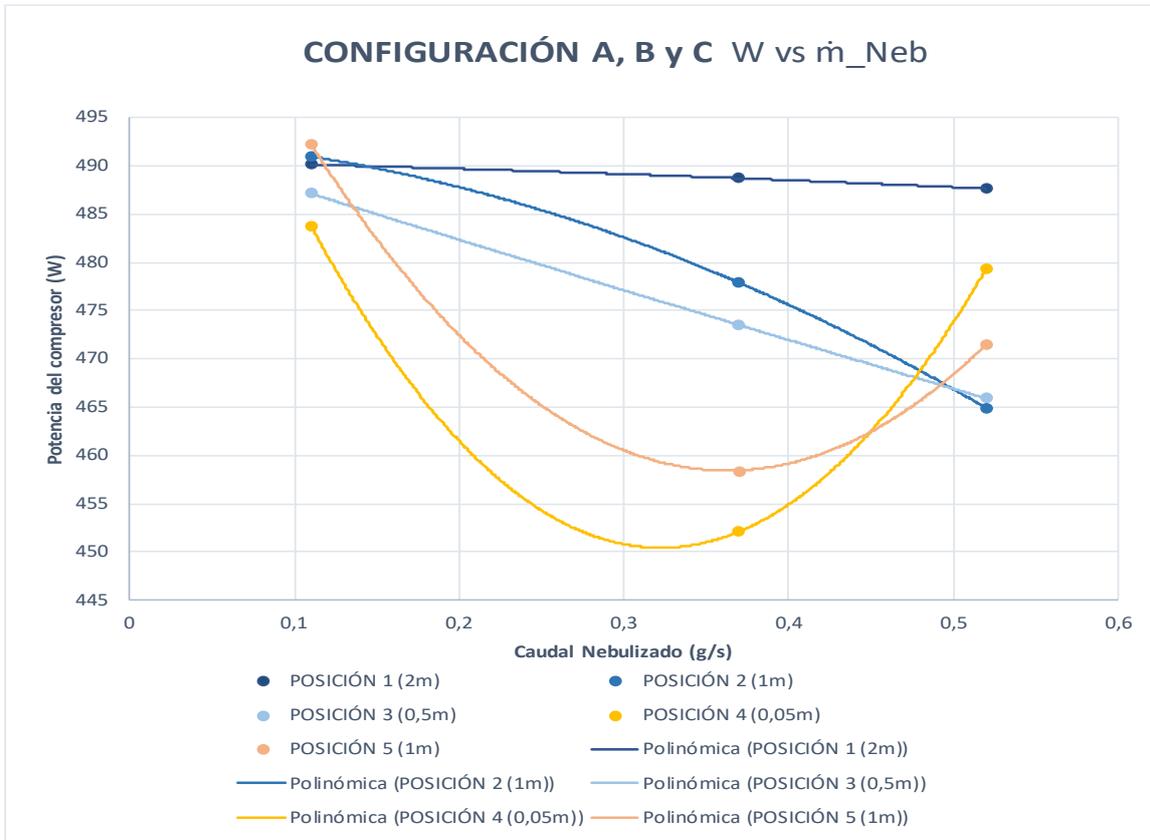
*Ilustración 102 Posición 5 Velocidad 3 Caudal 0,37g/s*



*Ilustración 101 Posición 5 Velocidad 5 Caudal 0,52g/s*

*Ilustración 104 Posición 5 Velocidad 5 Caudal 0,52g/s*

### 6.3.1.4 Configuración A, B y C



En esta gráfica se hace una comparación de todas las posiciones estudiadas anteriormente, para tener una visión más global en conjunto, y ver con claridad cual de las posiciones es más eficiente.

En las comparativas anteriores, se ha definido que tanto en la configuración B como la C, se produce un ahorro mayor en el consumo del compresor, llegando hasta 50W de ahorro.

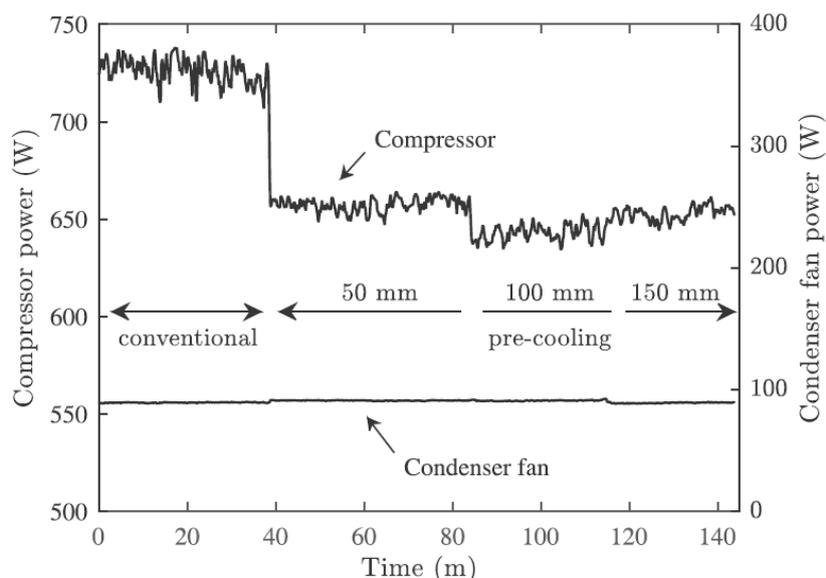
En esta gráfica se vuelve a ver en conjunto, y además muestra que la posición más eficiente es la 4, de la configuración B, a velocidad 2 con un caudal másico de agua nebulizada de 0,37g/s. Con un ahorro máximo de potencia de hasta 40W.

A continuación, se observa la gráfica de consumo del compresor y ventilador del estudio de investigación (P.Martinez, 2016) nombrado al comienzo del apartado 6.

El hecho más relevante de la gráfica es la máxima reducción de consumo de potencia en el compresor de entre 70-80W. Con respecto al consumo del ventilador del condensador, se observa que no varía su consumo, ya que no depende de la presencia de este sistema de preenfriamiento.

El ahorro conseguido con el nebulizador es menor que el obtenido con paneles evaporativos. Sin embargo, con la nebulización no se reduce el caudal másico de aire que atraviesa el condensador, con la pérdida de disipación de calor que ello conlleva. Además, también se evita esa disminución de presión en los puntos de operación del condensador. Finalmente se evita tener una recirculación constante de agua, con los riesgos de legionella que ello conlleva.

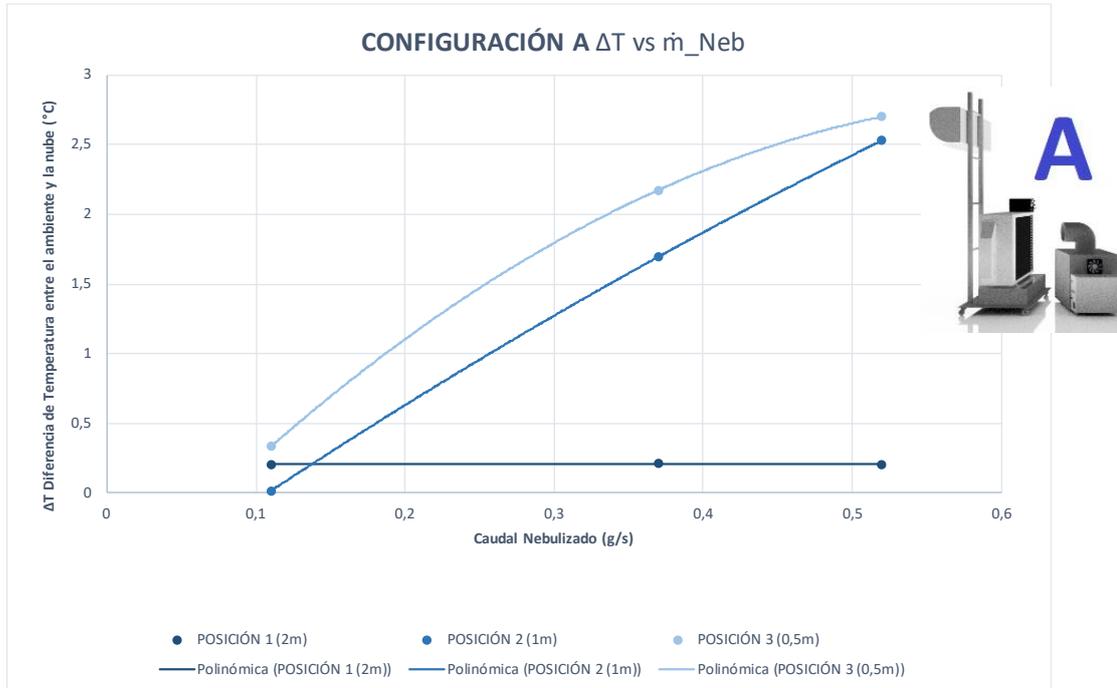
También es importante destacar, que el nebulizador consume más que la bomba de recirculación, por ello sería conveniente analizar en un futuro la posibilidad de alimentar la nebulización con la generación fotovoltaica de módulos solares.



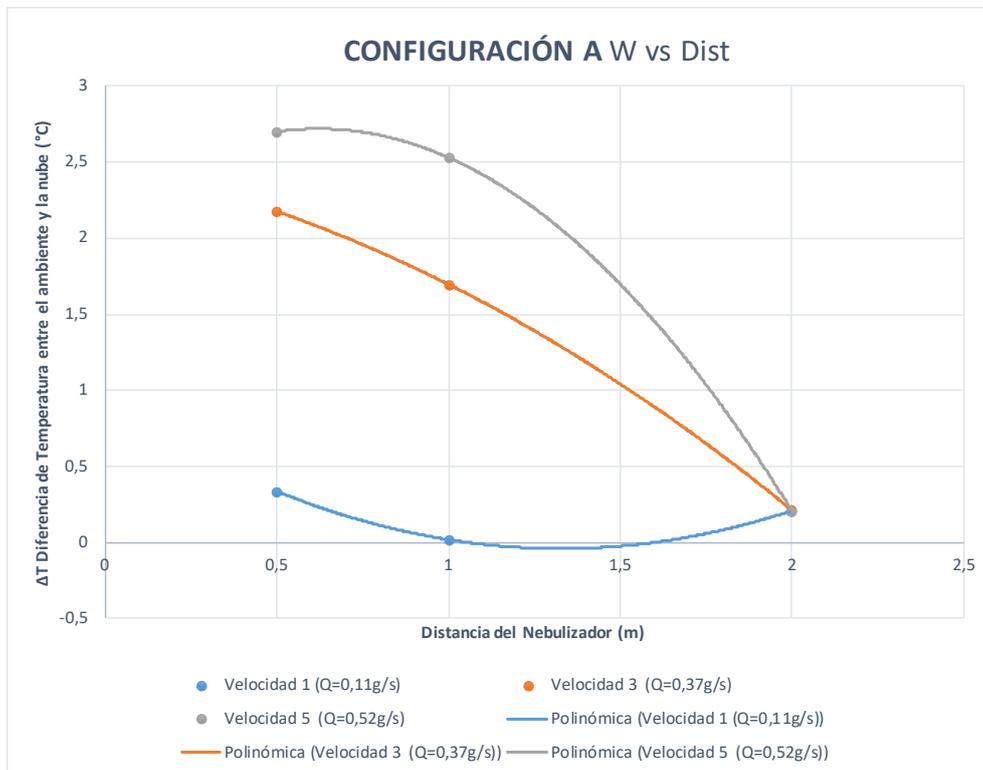
Gráfica 13 Evolución del consumo del compresor y del ventilador del condensador con respecto a diferentes grosores de rejilla

## 6.3.2 Diferencia de temperaturas entre el ambiente y la entrada al condensador

### 6.3.2.1 Configuración A

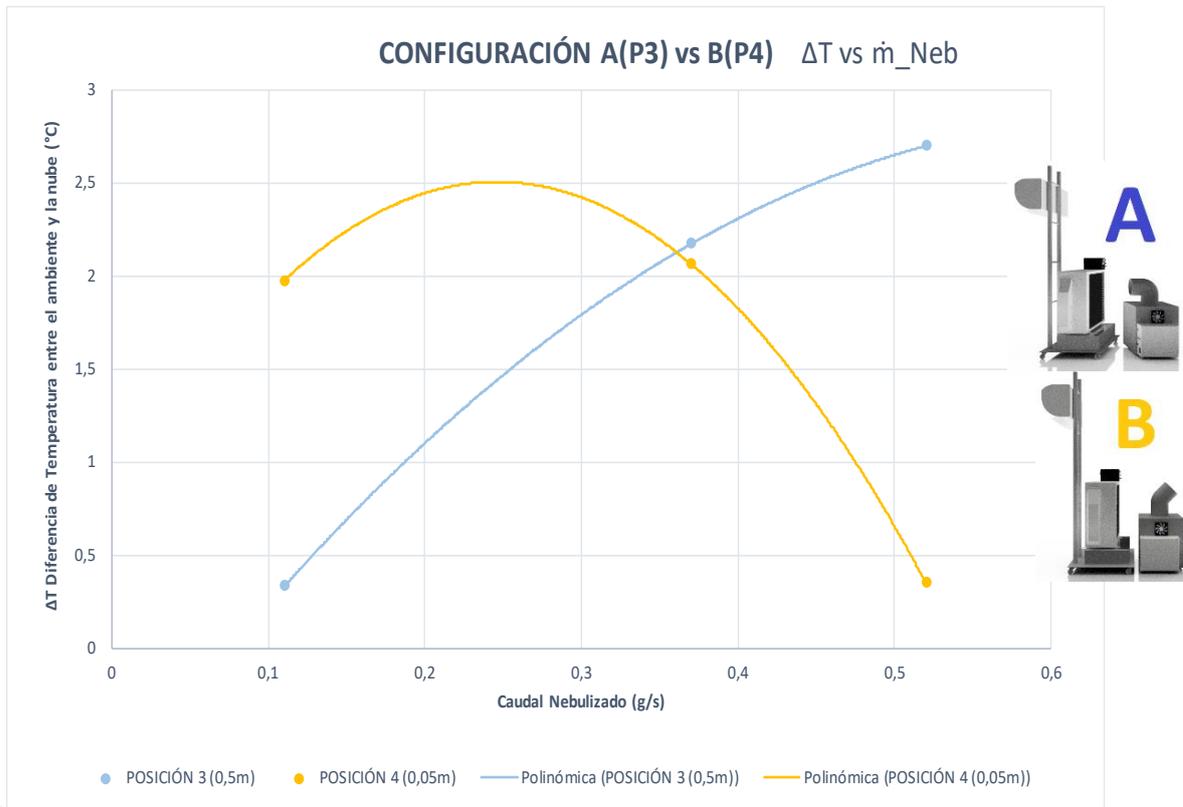


Gráfica 14 Configuración A.  $\Delta T$  vs  $\dot{m}_{Neb}$



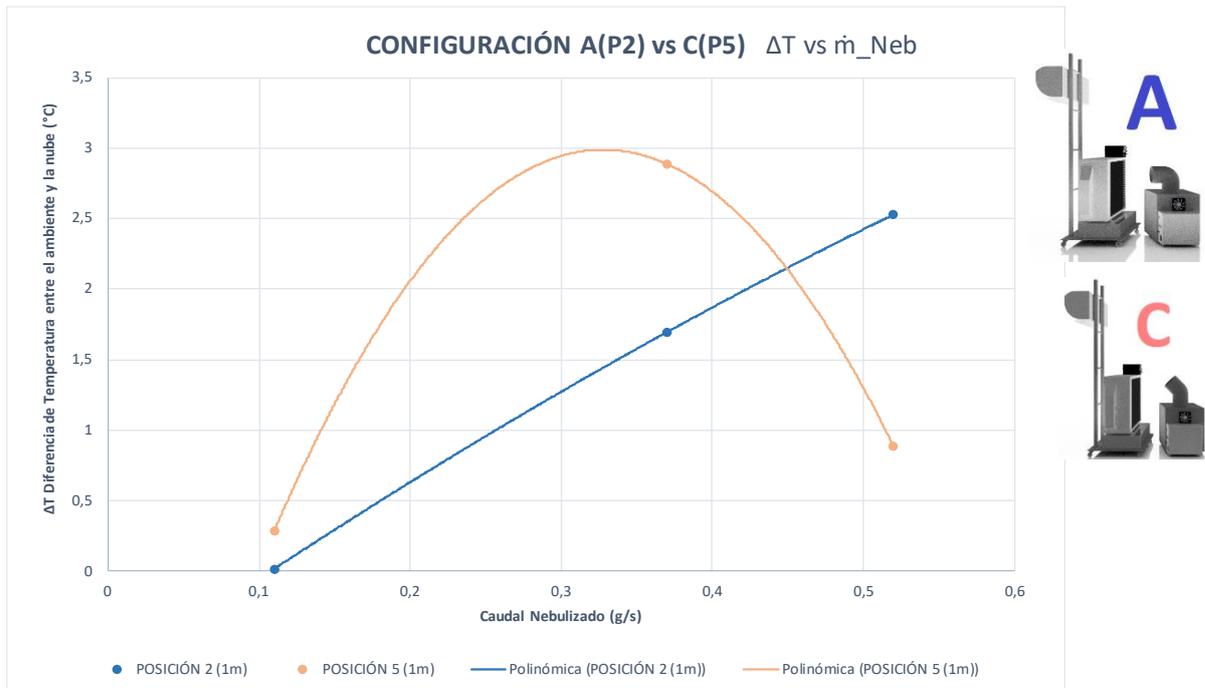
Gráfica 15 Configuración A.  $\Delta T$  vs distancia al condensador

### 6.3.2.2 Configuración B vs A



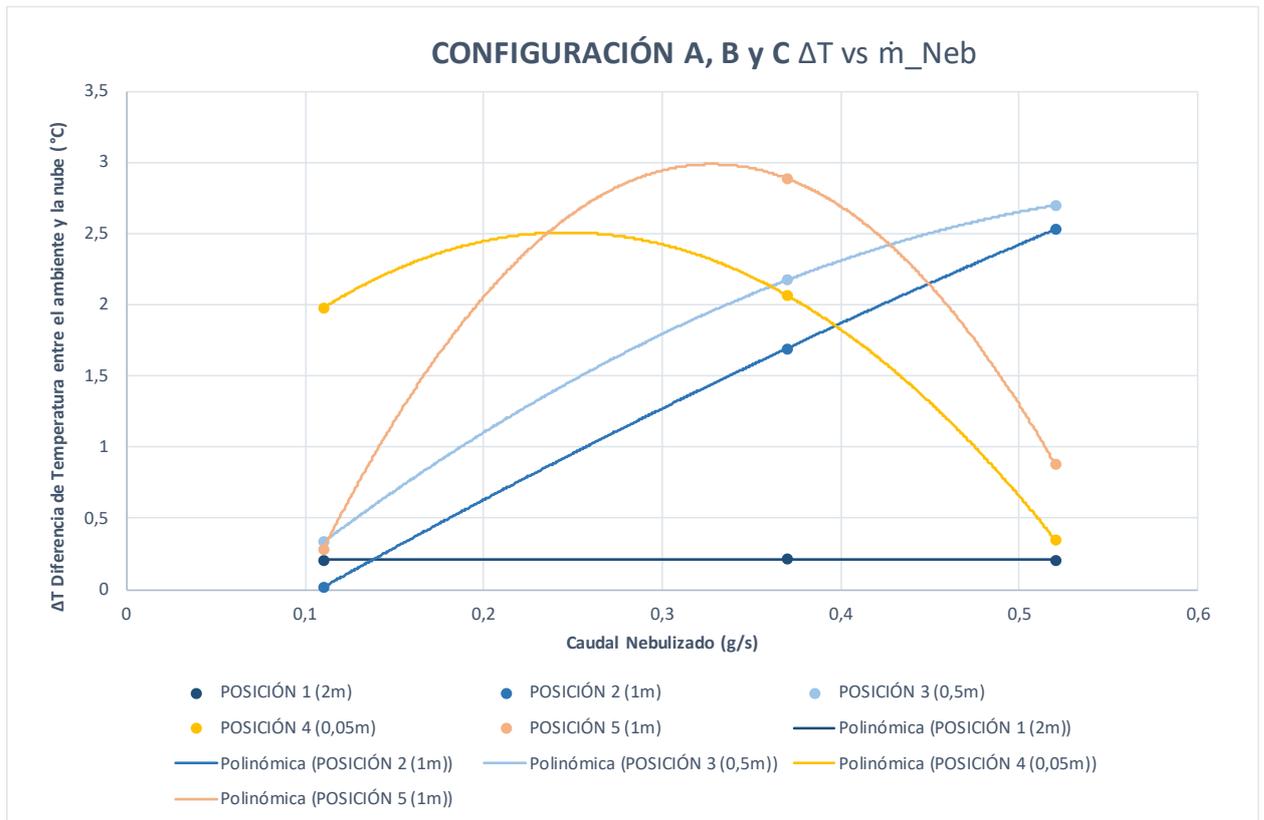
Gráfica 16 Configuración B vs A.  $\Delta T$  vs  $\dot{m}_{Neb}$

### 6.3.2.3 Configuración C vs A



Gráfica 17 Configuración C vs A.  $\Delta T$  vs  $\dot{m}_{Neb}$

### 6.3.2.4 Configuración A, B y C



Gráfica 18 Configuración A B C.  $\Delta T$  vs  $\dot{m}_{Neb}$



### 6.3.3 Porcentaje de caudal másico de agua nebulizada absorbido por el aire

El objetivo es bajar la temperatura del aire que atraviesa el condensador, usando un enfriamiento evaporativo de la nube de agua nebulizada. Por lo tanto, es importante conocer la cantidad de agua nebulizada que se evapora hasta la salida del condensador.

Para esta representación, se tienen que hacer una serie de cálculos. Se parte de el caudal másico de agua nebulizada expulsada por el nebulizador “ $\dot{m}_{Neb}$ ”, que es conocido. Sin embargo, habrá que calcular el caudal másico de agua absorbida por el aire de ese “ $\dot{m}_{Neb}$ ”. A este parámetro se le llama “ $\dot{m}_{abs}$ ”. A continuación, se muestra el porcentaje a calcular:

$$\% = \frac{\dot{m}_{abs}}{\dot{m}_{Neb}}$$

$$\dot{m}_{abs} = \dot{m}_a \times (W_{sal} - W_{amb})$$

Para el cálculo de “ $\dot{m}_{abs}$ ” hay que comprender varios conceptos, se necesita conocer el caudal másico de aire seco que pasa por el ventilador del condensador, “ $\dot{m}_a$ ” que se calcula con la siguiente expresión:

$$\dot{m}_a = \frac{Q_a}{v}$$

$$Q_a = 1500 \text{ m}^3/\text{s} = 0,416 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde se conoce el caudal de aire seco que atraviesa el condensador, “ $Q_a$ ”, pero no se conoce “ $v$ ” volumen específico, que se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= 8314,4 \text{ J/Kmol}\cdot\text{K} & \text{Mas} &= 28,965 \text{ Kg/Kmol} & p &= 101325 \text{ Pa} & T &= T_{amb}=TH21\_T \\ p \cdot V &= m \cdot R \cdot T & \rightarrow & & p \cdot v &= \frac{\bar{R}}{\text{Mas}} \cdot T \\ v &= \frac{\bar{R}/\text{Mas} \cdot T}{p} = 0'002832 \times (TH21\_T + 273) \end{aligned}$$

Después de todo esto, las únicas propiedades que faltan por conocer de la expresión de " $\dot{m}_{abs}$ " son las humedades específicas del ambiente y de la salida del condensador " $w_{amb}$ " y " $w_{sal}$ ". Para ellos se ha utilizado el EES, todos los parámetros están al comienzo del apartado 6.3.

Es necesario explicar que se ha calculado la humedad específica a la salida del compresor, y no a la entrada como sería de esperar, porque en la entrada no es posible. Como se ha explicado en el apartado 6.2, en muchos ensayos las aletas del condensador a la entrada se humedecen, lo cual lleva a que el termohigrómetro se humedezca y de lugar a error. Con esta medida a la salida, el porcentaje de agua evaporada que se está calculando engloba el agua evaporada en el ambiente antes de llegar al condensador, y el agua evaporada en el interior del condensador, cuando el agua nebulizada entra en contacto con las aletas y tubos calientes del intercambiador.

Para el cálculo de " $w_{amb}$ " se ha utilizado la temperatura y humedad relativa media del ambiente.

### 6.3.3.1 Configuración A

Todos estos cálculos han sido realizados en Excel.

Se han obtenido varios datos negativos y valores mayores que uno, lo cual es imposible para una proporción a uno. Después de haber revisado los cálculos, y comprobar que no había ningún fallo, se ha llegado a una conclusión. El resultado final es una proporción, donde la parte entera es el caudal másico de agua nebulizada, y el numerador es el caudal másico de esa agua nebulizada que ha absorbido el aire. Por lógica, este numerador tiene que ser menor, ya que es una parte del caudal másico de agua nebulizada. Sin embargo, nos encontramos con dos casos, un índice negativo y otro mayor que uno.

Este error se debe a que la nube que entra al condensador no es analizada en su totalidad, sino que se mide en un punto en concreto, es decir, que el grado de incertidumbre del valor real es enorme. No se puede analizar todo el caudal másico de aire que pasa por el condensador con la medida de un solo punto, por lo tanto, una gran parte de esa nube se pierde, y no sale representada en los valores obtenidos. La lectura de la nube nebulizada no es correcta, y sería muy complicado estimar una temperatura media correcta, ya que se necesitaría un registro más exacto de todas las partes de la nube. Por lo tanto, se ha decidido descartar este estudio para el resto de las configuraciones

La solución, o quizá un paso hacia un valor más cercano a la realidad sería hacer un mapeo, o una red de sensores a lo largo de toda la entrada del condensador, con el fin de tener muchos más datos.

### 6.3.4 Eficiencia de saturación

En este apartado se intenta indicar lo cerca que está el aire de estar saturado de vapor de agua debido a la nebulización justo antes de entrar al condensador. Se muestra este dato para cada uno de los ensayos dependiendo de su configuración, posición y el caudal de agua nebulizada. De esta manera se conoce lo cerca que está el aire de conseguir su mínima temperatura y por lo tanto de ser más eficiente en el enfriamiento del condensador. Para el cálculo de este índice, se ha utilizado la siguiente expresión:

#### EFICIENCIA DE SATURACIÓN

$$\eta = \frac{T_{amb} - T_m}{T_{amb} - T_{bh}}$$

Donde “Tm” representa una media de temperaturas a la entrada del condensador. Para este cálculo, lo más idóneo sería utilizar el sensor posicionado a la entrada del condensador, el termohigrómetro TH23\_T. Sin embargo, nos encontramos con el mismo problema que en el apartado anterior 6.3.3.1, el termohigrómetro se humedece y da lugar a error en la medida. Además, es muy complicado conseguir un valor medio y exacto de temperatura a lo largo de toda la superficie del condensador con un solo sensor. Esto se debe a que, por el condensador, atraviesan diferentes corrientes de aire a diferentes temperaturas, ya que son pocos los casos donde la nube nebulizada atraviesa de forma homogénea todo el condensador. En la mayoría de los ensayos, se produce una combinación de corrientes, que se podrían resumir a temperatura ambiente, o a temperatura de la nube.

Finalmente, el valor “Tm” será la media de uno o varios sensores diferentes que van a ir variando en cada ensayo, dependiendo de su singularidad. Las pautas que se han seguido para la elección de los sensores que le den valor a “Tm” para cada ensayo, se han obtenido a base de la observación minuciosa de los ensayos en vivo, fotos y videos.

- En los casos donde se vea una homogeneidad a la entrada del condensador se usará el termohigrómetro TH23\_T, siempre y cuando no esté mojado.
- En los casos donde se observe el termohigrómetro húmedo, se descartará como sensor de medida. Buscando otra combinación de sensores.
- En los casos donde se canalice la nube nebulizada por solo una parte del condensador, se hará una media en proporción con la temperatura ambiente.
  - Si la nube incide en el termohigrómetro TH23\_T, se usará éste como sensor que de valor a la proporción del condensador donde incide la nube nebulizadas.
  - En los casos donde TH23\_T esté húmedo, o la nube no incida sobre TH23\_T, se usará T\_Mist como valor de la temperatura de la nube.

Hay que recalcar, que se ha intentado ser lo más exacto posible dentro de la forma imprecisa con la que se está calculando la media de temperaturas a la entrada del condensador. Con este método se obtienen unas medidas orientativas, pero no exactas. Las expresiones para el cálculo de x que se han usado son las siguientes:

Posición 1		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
$\frac{(19 \times T_{amb}) + (T_{Mist})}{20}$		

Tabla 9 Cálculo de Tm. Posición 1.

Posición 2		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
TH23_T	$\frac{(3 \times T_{amb}) + (2 \times T_{Mist})}{5}$	TH23_T

Tabla 10 Cálculo de Tm. Posición 2

Posición 3		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
$\frac{(6 \times T_{amb}) + (1 \times T_{Mist})}{7}$	TH23_T	$\frac{(T_{amb}) + (3 \times T_{Mist})}{4}$

Tabla 11 Cálculo de Tm. Posición 3

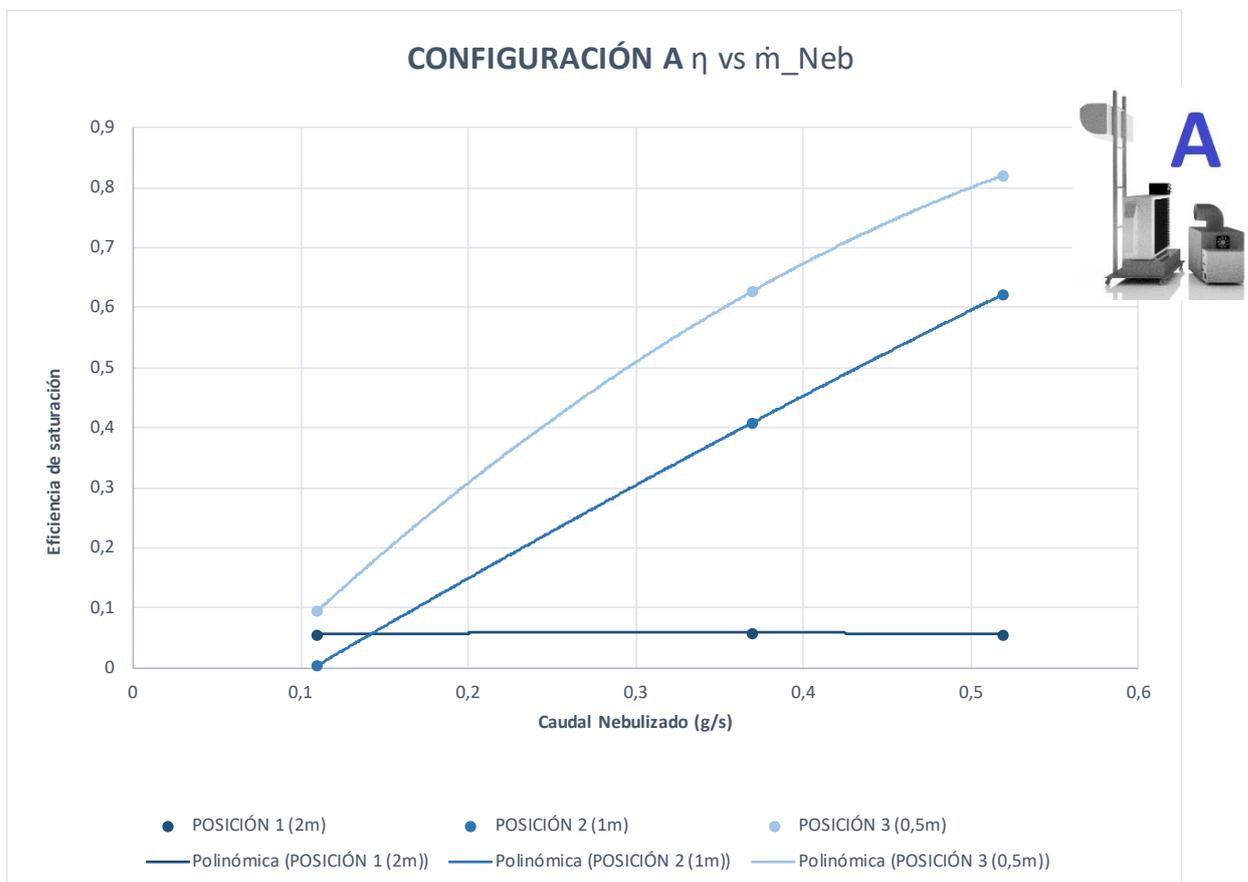
Posición 4		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
$TH23_T$	$\frac{(19 \times TMist) + (1 \times Tamb)}{20}$	$\frac{(9 \times Tamb) + (1 \times TMist)}{10}$

Tabla 12 Cálculo de Tm. Posición 4

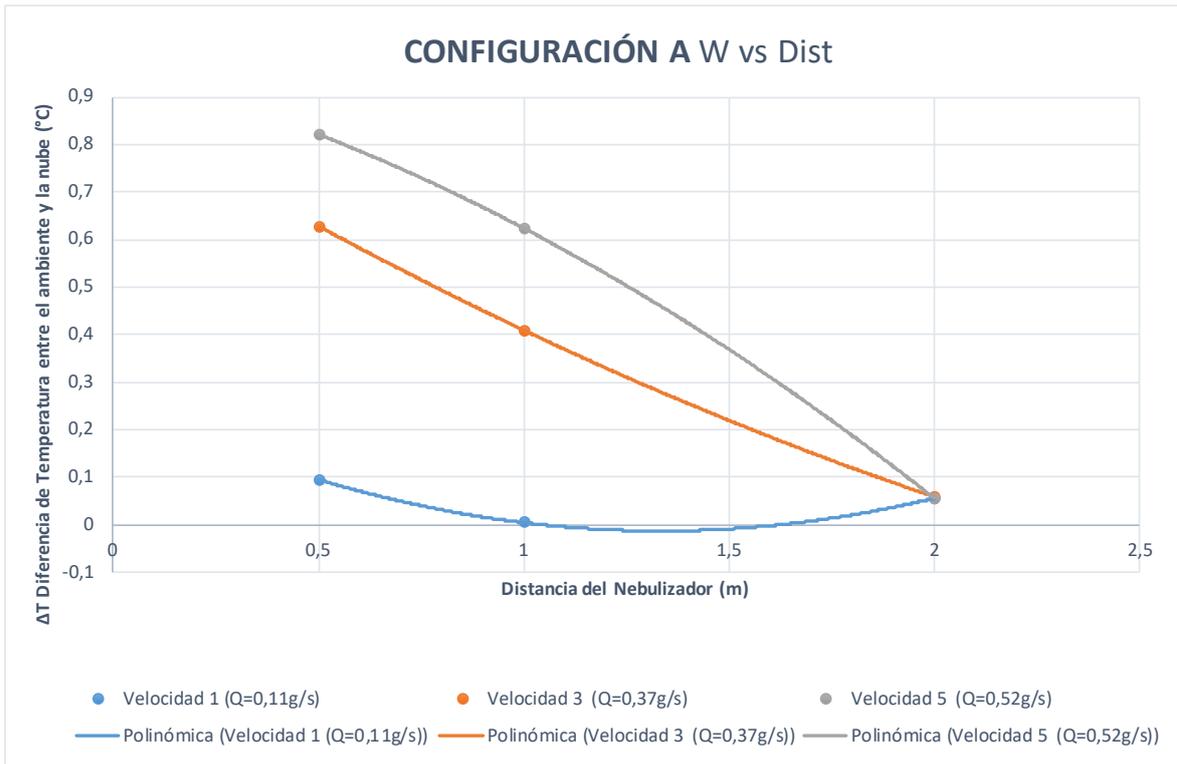
Posición 5		
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
$\frac{(9 \times Tamb) + (1 \times TMist)}{10}$	$\frac{(Tamb) + (9 \times TMist)}{10}$	$\frac{(8 \times Tamb) + (2 \times TMist)}{10}$

Tabla 13 Cálculo de Tm. Posición 5

### 6.3.4.1 Configuración A

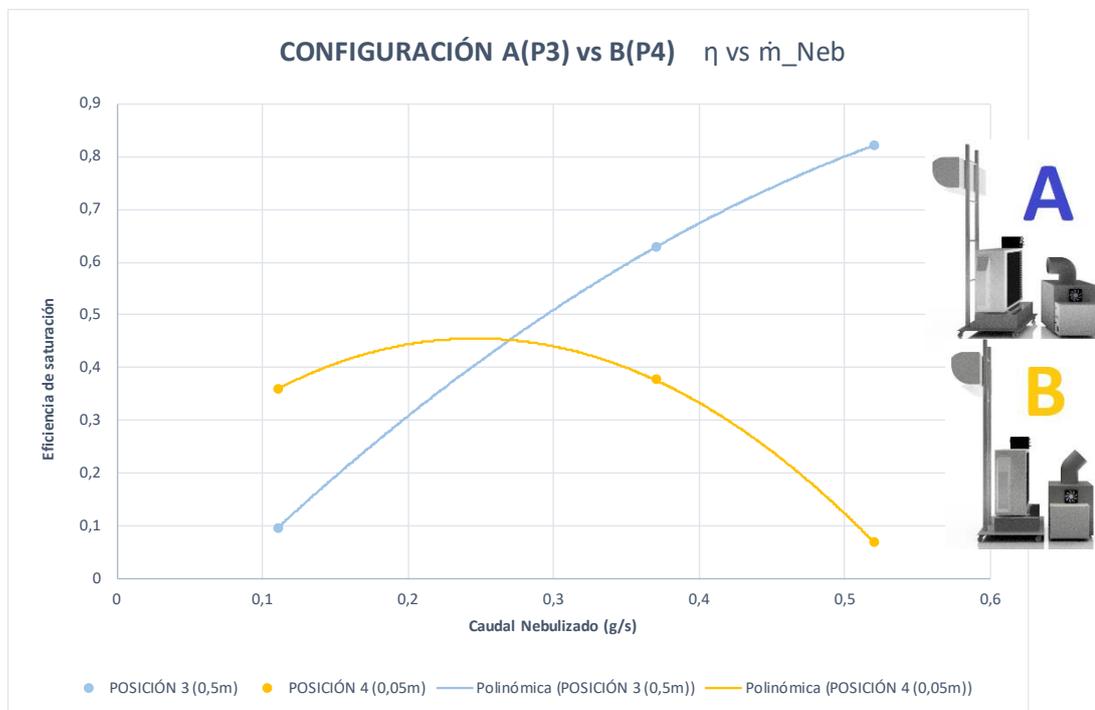


Gráfica 19 Eficiencia de saturación vs caudal de la configuración A



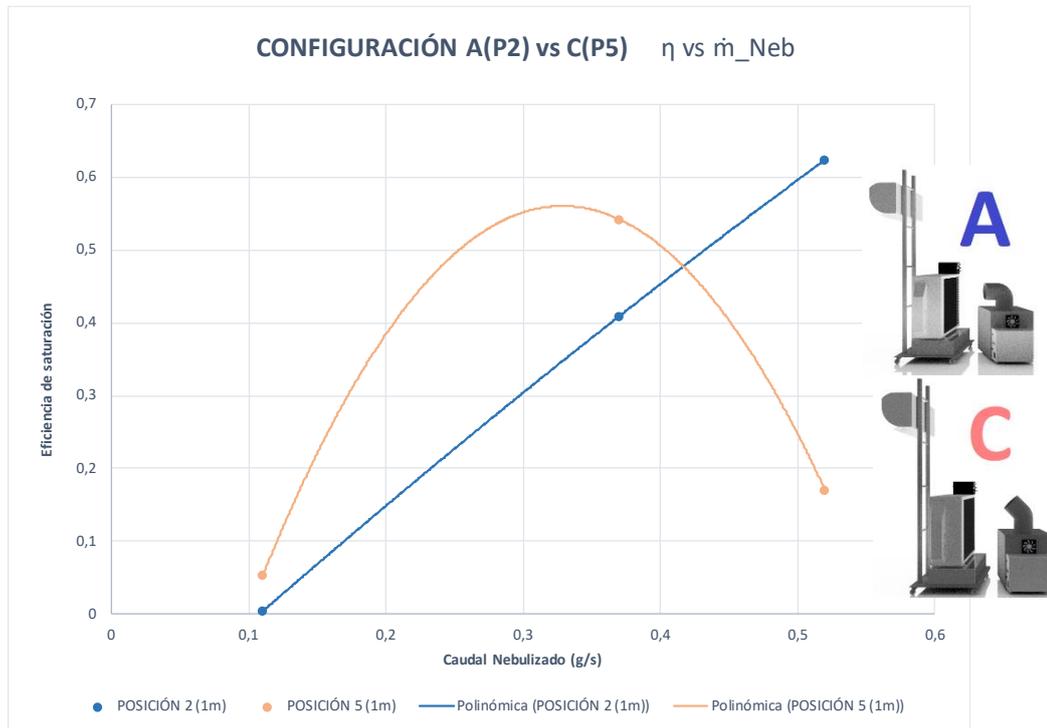
Gráfica 20 Eficiencia de saturación vs distancia al condensador de la configuración A

### 6.3.4.2 Configuración B vs A



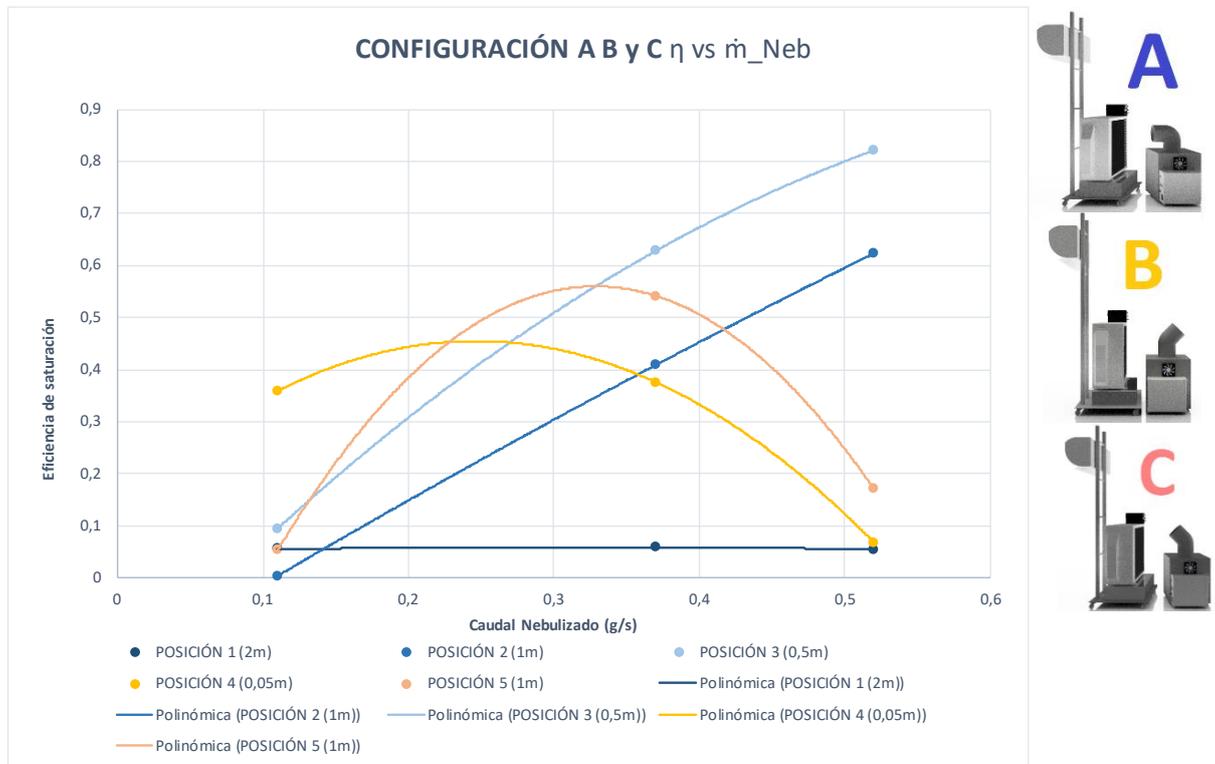
Gráfica 21 Configuración A vs B. Eficiencia de saturación vs caudal.

### 6.3.4.3 Configuración C vs A



Gráfica 22 Configuración A vs C. Eficiencia de saturación vs caudal

### 6.3.4.4 Configuración A B y C



Gráfica 23 Configuración A B C. Eficiencia de saturación vs caudal

### 6.3.5 Enfriamiento producido con respecto al máximo posible

En este apartado se pretende definir la capacidad de enfriamiento que tiene el prototipo de agua nebulizada en cada posición. Ésto se va a representar con un porcentaje al que se le ha denominado “*eficiencia de enfriamiento*”.

#### Enfriamiento producido frente el máximo enfriamiento posible

$$\eta_{enf} = \frac{Q_{aire}}{Q_{aire\_max}}$$

$$\begin{aligned} \text{Enfriamiento real producido} &\implies Q_{aire} = \dot{m}_a \times C_{p\_aire} \times (T_{amb} - T_m) \\ \text{Enfriamiento máximo posible} &\implies Q_{aire\_max} = \dot{m}_{Neb} \times hfg \end{aligned}$$

Donde se vuelve a encontrar el valor de “ $T_m$ ” que ha sido desarrollado en el apartado anterior 6.3.4.

Para la obtención de este índice, hay que calcular varios parámetros previamente. En el cálculo de “ $Q_{aire}$ ” se necesita conocer el caudal másico de aire seco que pasa por el ventilador del condensador, el cual se obtiene de la hoja de características técnicas del aparato de aire acondicionado Kaysun, concretamente en el apartado de la unidad exterior, el condensador. Una vez conocido dicho valor, “ $\dot{m}_a$ ” se calcula con la siguiente expresión:

$$\dot{m}_a = \frac{Q_a}{v}$$

$$Q_a = 1500 \text{ m}^3/\text{h} = 0,416 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde se conoce el caudal de aire seco que atraviesa el condensador, “ $Q_a$ ”, pero no se conoce “ $v$ ” volumen específico, que se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{R} = 8314,4 \text{ J/Kmol}\cdot\text{K} \quad \text{Mas} = 28,965 \text{ Kg/Kmol} \quad p = 101325 \text{ Pa} \quad T = T_{amb} = TH21\_T$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad \rightarrow \quad p \cdot v = \frac{\bar{R}}{\text{Mas}} \cdot T$$

$$v = \frac{\bar{R}/\text{Mas} \cdot T}{p} = 0,002832 \times (TH21\_T + 273)$$

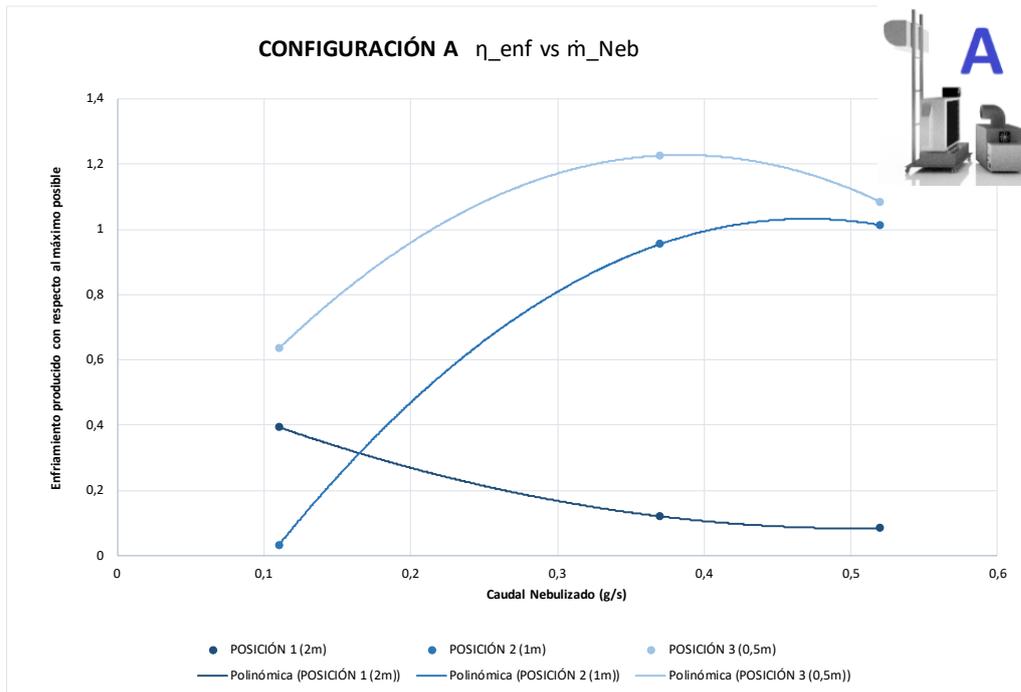
Seguidamente se necesita el valor del calor específico del ambiente, que depende de la temperatura ambiente específica de cada ensayo y de la presión ambiental, para ello se ha utilizado el EES, todos los parámetros están al comienzo del apartado 6.3.

La diferencia de temperatura para el cálculo del enfriamiento real producido es entre el ambiente y la nube nebulizada, ambos son datos registrados por el DataLogger.

Para el cálculo del denominador de " $\eta_{enf}$ ", es decir el máximo enfriamiento posible " $Q_{max}$ ", hace referencia al poder de enfriamiento evaporativo que tiene la nube. Por lo tanto, los datos que forman la expresión son de la nube. Se conoce el caudal másico de agua nebulizada por el condensador, y con respecto a la entalpía de vaporización del agua líquida nebulizada, se ha calculado con EES al comienzo del apartado 6.3, a partir de los datos de agua como sustancia, presión del ambiente, y la temperatura registrada por el datalogger de la nube.

Hay que recalcar, que se ha intentado ser lo más exacto posible dentro de la forma imprecisa con la que se está calculando la media de temperaturas a la entrada del condensador. Con este método se obtienen unas medidas cualitativas, pero no exactas, con el fin de ver cómo son las tendencias del índice. Debido a esto, se han obtenido unas medidas muy imprecisas como para analizar los resultados de una forma cuantitativa.

### 6.3.5.1 Configuración A



Gráfica 24 Enfriamiento producido vs Caudal. Configuración A

Como muestra la gráfica de arriba, se observan tendencias que superan el índice de uno, lo cual es imposible, ya que teóricamente con la unidad se obtendría el máximo enfriamiento posible. Estos resultados se deben a la imprecisión de medida de la temperatura a la entrada del condensador, y de la nube nebulizada.

A la entrada del condensador se han encontrado dos problemas.

- ⇒ La existencia de un único sensor de medida, un termohigrómetro, el cual es insuficiente para estimar la temperatura media de toda la entrada al condensador.
- ⇒ El error en la medida en aquellos ensayos donde la nube de agua nebulizada incide directamente sobre el sensor, humedeciéndolo. Esto causa un falseo en la medida, quedando el termohigrómetro inutilizado durante aproximadamente 10-15 minutos.

Para corregir este error se ha estimado la temperatura media real a la entrada del condensador con  $T_m$ , y así obtener más exactitud en el cálculo del enfriamiento producido por el aire seco ( $Q_{aire\_seco}$  numerador del índice de enfriamiento " $\eta$ "). Aún así, la imprecisión es muy elevada.

Por la otra parte, tampoco se ha podido hacer la estimación exacta de la temperatura media de la nube nebulizada, ya que solo se tiene un sensor en el centro de la nube, lo cual es insuficiente para representar el comportamiento real. No es la misma temperatura en el centro de la nube que en la periferia, no se puede asumir que todo el caudal másico de la nube enfría a partir de esa temperatura medida. Ésto quiere decir que el cálculo de " $Q_{aire\_max}$ " ha sido muy impreciso.

A pesar de intentar corregir estas imprecisiones de medida, no se han observado unos resultados fiables en el índice de enfriamiento, por lo tanto, se descarta de las conclusiones como resultado numérico, simplemente se va a tener en cuenta la tendencia de este índice.

## 6.4 Comparación Ciclo de refrigeración vs Ciclo de refrigeración con aporte de Nebulización

Después del profundo análisis de los apartados anteriores, se ha llegado a la conclusión que la posición más eficiente ha sido la 4. Ésta tiene la configuración B, codo a 135° opuesto al nebulizador y una separación de 50mm entre el condensador y el nebulizador. Concretamente el ensayo numero dos, con la velocidad 3 del ventilador del nebulizador. A continuación, se muestran dos imágenes de dicho ensayo, a la izquierda la imagen original en el laboratorio, y a la derecha un render diseñado por “Autodesk Inventor”:



Ilustración 106. Configuración B. Posición 4. Velocidad 3.



Ilustración 105 Render

En este apartado se va a hacer una comparativa entre el ensayo de posición cero, es decir, el ciclo de refrigeración trabajando en solitario; y el ensayo mostrado anteriormente. Comparando los datos internos de funcionamiento del ciclo de

refrigeración, y representándolos en un diagrama psicrométrico P-h. Además de mostrar en tablas todos los datos de temperatura y presión internos del ciclo de refrigeración para ambas posiciones, todos los datos de interés como temperatura del agua, en el depósito del nebulizador, o la temperatura de la nube.

Antes de adjuntar la tabla, conviene aclarar las posiciones y numeraciones de los sensores para localizarlas en equipo, para ello se adjunta el siguiente esquema, que ya ha sido mostrado anteriormente:

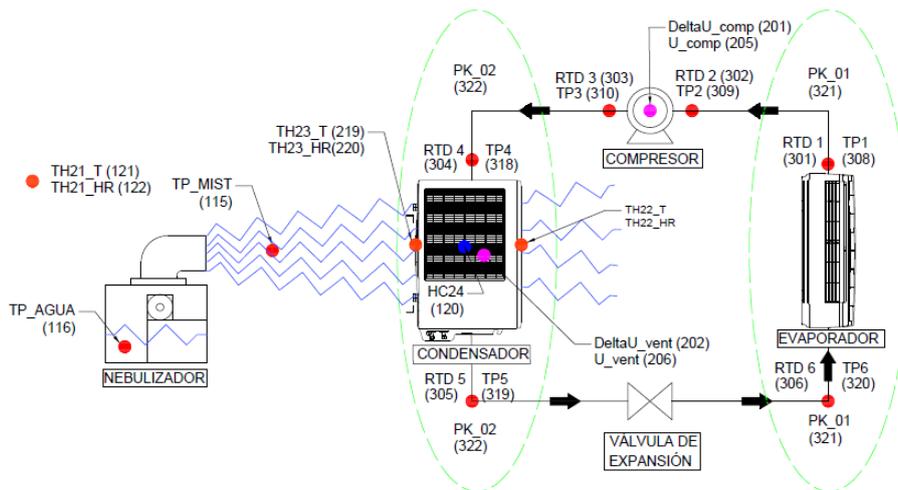


Ilustración 107 Esquema de sensores

PARÁMETROS	Configuración B Posición 4		Ciclo de refrigeración sin Nebulizador			
Temperatura Punto 1 (°C)	RTD	8,426866	8,73812	RTD	4,1197	4,32201
	TP	9,049383		TP	4,52432	
Temperatura Punto 2 (°C)	RTD	12,0733	12,3501	RTD	3,55269	3,703577
	TP	12,62685		TP	3,85446	
Temperatura Punto 3 (°C)	RTD	68,42677	68,2398	RTD	62,2919	61,97059
	TP	68,05291		TP	61,6493	
Temperatura Punto 4 (°C)	RTD	62,50564	62,464	RTD	56,8038	56,67437
	TP	62,42246		TP	56,5449	
Temperatura Punto 5 (°C)	RTD	22,68974	22,732	RTD	24,9305	24,8036
	TP	22,77417		TP	24,6767	
Temperatura Punto 6 (°C)	RTD	0,46681	0,18544	RTD	2,59349	2,12473
	TP	-0,09592		TP	1,65597	

Tabla 14 Temperaturas internas del ciclo

PARÁMETROS	Configuración B Posición 4	Ciclo de refrigeración sin Nebulizador
Temperatura de entrada al condensador TH23_T o Tm (°C)	20,96038822	23,4837558
Humedad relativa a la entrada del condensador TH23_HR (%)	99,1150983	56,4115628
Temperatura de salida del condensador TH22_T (°C)	23,58262949	27,40981245
Humedad relativa a la salida del condensador TH22_HR (%)	65,91226592	46,55622768
Presión en el condensador PK_02 (bar)	12,60902732	14,1867924
Presión en el evaporador PK_01 (bar)	3,668356959	4,025403653
Temperatura de la nube TP_MIST (°C)	21,14659851	22,71852041
Temperatura del agua en el depósito del nebulizador TP_AGUA (°C)	25,72611152	21,79796939

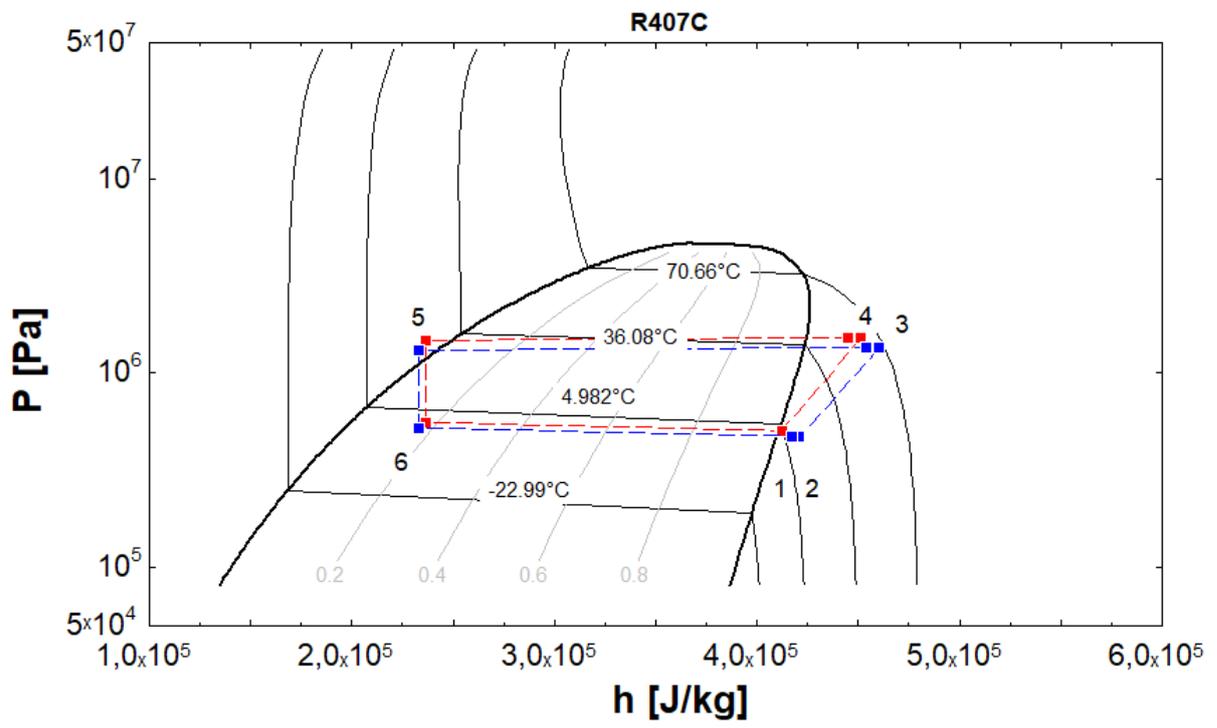
Tabla 15 Datos del equipo

A partir de las dos tablas anteriores se ha hecho una representación de los puntos internos del ciclo de refrigeración en un diagrama psicométrico, donde se representa en el “eje y” las presiones, y en el “eje x” las entalpías.

Se han representado dos posiciones diferentes de funcionamiento del ciclo de refrigeración, ambas el mismo día, una seguida de la otra, para asegurar las mismas condiciones externas. Lógicamente, se registraron antes los datos del ciclo de refrigeración en solitario, y sin haber usado el nebulizador previamente. Después de tener un funcionamiento estable, se pasó a registrar los datos con el preenfriamiento de la nube nebulizada.

- En color rojo se ha representado el ciclo de refrigeración funcionando con normalidad, sin la aportación del nebulizador.
- En color azul se ha representado el ciclo de refrigeración con el preenfriamiento producido con el nebulizador en el condensador.

Se puede observar la diferencia de presiones que hay entre el ciclo rojo y el azul, que como se ha dicho a lo largo de este estudio, se traduce a un ahorro en el consumo del compresor.



Gráfica 25 Diagrama P-h de comparación

## 7 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE

### 7.1 Expresión de la incertidumbre en la medida

El objetivo de una medición es conocer el valor de una magnitud, también conocido como mensurando. Sin embargo, los valores obtenidos no son exactos, ya que existen errores tanto en el procedimiento, como en la instrumentación. Por esta razón, cada medida tiene asociada una estimación y una incertidumbre.

Con la incertidumbre se proporciona un intervalo de confianza, a través del cual la probabilidad de encontrar el valor de una magnitud queda acotada.

$$y - U \leq Y \leq y + U$$

- “Y” Representa el valor real de la magnitud.
- “y” Representa la estimación del resultado de la medida.
- “U” Representa la incertidumbre de la medida.

Para describir la incertidumbre de medida, hay que diferenciar los siguientes términos:

➤ **Incertidumbre típica  $u(y)$**

Es la desviación típica de lo que anteriormente se ha definido como “y”, es decir, la estimación del resultado de la medida. Los procedimientos para su cálculo son los siguientes:

- ⇒ **Tipo A:** Se llevan a cabo procedimientos estadísticos para el cálculo de la incertidumbre, y es precisa la obtención de una muestra de la magnitud. Se obtiene la función de densidad y se asocia a la desviación experimental de la medida  $s$ .
- ⇒ **Tipo B:** Se llevan a cabo procedimientos no estadísticos para el cálculo de la incertidumbre, en base a la experiencia, información de los catálogos o de referencias... La incertidumbre típica dependerá de la información utilizada.

⇒ B.1. Múltiplo de la desviación típica:

La incertidumbre típica es el valor de incertidumbre actual dividida por el factor que multiplica la desviación típica.

⇒ B.2. Intervalo de confianza correspondiente a un cierto nivel:

Partiendo de una distribución normal, la incertidumbre típica se obtiene dividiendo el intervalo por el factor correspondiente. Éstos son los valores más habituales:

Nivel de confianza $p$ (%)	Factor de cobertura $k_p$
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

Tabla 16 Tabla de factores de cobertura  $K_p$

⇒ B.3. Se conocen los límites superior e inferior para situar la magnitud: La probabilidad de que el valor esté comprendido entre  $[a_1, a_2]$  es de 1, y de que esté fuera de 0. Se supone una distribución rectangular (equiprobable) de modo que la estimación de  $x_i$  es el valor medio del intervalo:

$$x_i = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

Y la varianza de esa estimación es:

$$u^2(x_i) = \frac{(a_2 - a_1)^2}{12}$$

⇒ B.4. No se conoce nada:

El dato se busca en un manual de referencia, y se puede estimar su incertidumbre a partir de la unidad de la última cifra significativa, usando la distribución rectangular.

➤ **Incertidumbre típica combinada  $u_c(y)$**

Es la desviación típica de la estimación del resultado de una magnitud obtenida en un procedimiento de medida de varias magnitudes de entrada. Se establece una relación funcional entre el resultado de la medida “Y” y las magnitudes primarias “Xi” de la siguiente forma:

$$y=f(X_1,X_2,X_3\dots, X_m)$$

$X_m$  requiere de una estimación  $x_i$  y de una incertidumbre típica  $u(x_i)$ . La combinación de las  $i$  incertidumbres típicas  $u(x_i)$  darán  $u_c(y)$ .

La incertidumbre típica combinada estándar  $u_c(y)$  es la raíz cuadrada positiva de la varianza combinada  $u_c^2(y)$  dada por:

$$u_c^2 = \sum_i^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

Donde  $f$  es la función de la variable a medir y cada  $u(x_i)$  es la incertidumbre estándar de cada medida  $x_i$ . Las derivadas parciales  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  se indican con respecto a las estimaciones de las medidas  $x_i$ , y se denominan coeficientes de sensibilidad.

➤ **Incertidumbre expandida U**

Es el intervalo de confianza dentro del que se encuentra el valor real de la magnitud con una probabilidad en concreto.

$$y = y \mp U$$

Al intervalo  $U$  se le denomina incertidumbre expandida, y se obtiene aplicando un factor de cobertura  $k_p$  a la incertidumbre típica combinada.

$$U = k_p \times u_c(y)$$

Se pueden ver los valores del factor de cobertura  $k_p$ , en la tabla 9 de la página anterior. Se suelen utilizar los valores asociados a un nivel de confianza de entre el 95-99%, que son de 2 y 3 respectivamente.

## 7.2 Análisis de la incertidumbre en la medida

Para el proceso de cálculo de la incertidumbre de las medidas se ha empleado el procedimiento del tipo B, ya que se tiene un valor de la variable de un intervalo de tiempo mayor que el de 5 minutos, y se puede conseguir un valor medio de la magnitud medida. Se va a utilizar la posición que ha mostrado mejor rendimiento y resultados, la misma posición que se representa en el apartado 6.4 en profundidad. La posición 4.

El objetivo del análisis de incertidumbre es determinar el máximo error que se podría producir en los valores de las variables e indicadores que se han calculado en este estudio. Concretamente de las variables que influyen los parámetros que se han calculado para la caracterización del conjunto nebulizador – ciclo de refrigeración, y son:

- Diferencia de temperatura entre el ambiente y la entrada del condensador.
- Eficiencia de saturación
- Enfriamiento producido con respecto al máximo posible.

Las magnitudes que influyen en los parámetros anteriores, y por lo tanto, de las que se va a calcular la incertidumbre son:  $TH_{21\_T}(\text{ambiente})$ ,  $TH_{21\_HR}(\text{ambiente})$ ,  $TP\_Mist$ ,  $TH_{23\_T}(\text{entrada del condensador})$ . El resto de magnitudes se calcularán a partir de éstos. Finalmente se comprobará, si los resultados obtenidos en el apartado 6, son fiables o no.

PARÁMETROS	Configuración B Posición 4
Temperatura de entrada del ambiente TH21_T (°C)	23,02773863
Humedad relativa del ambiente TH21_HR (%)	58,41131482
Temperatura de entrada al condensador TH23_T (°C)	18,09255777
Temperatura de la nube TP_MIST (°C)	20,8515803
Velocidad del aire en el condensador vel_a (m/s)	1,04

Tabla 17 Parámetros de la posición 4

- **Cálculo de la incertidumbre de la temperatura ambiente. TH21\_T**

Para el cálculo de la incertidumbre es necesario hallar la incertidumbre de la medida aplicada. Para ello se utilizan las tolerancias proporcionadas por el fabricante. Para el cálculo es necesario conocer los siguientes términos:

Exactitud: Es la Exactitud de medida que ofrece el fabricante, es decir, el máximo error permitido en la medida. Conocido como “Exactitud del aparato en variedad de documentos”, se encuentra en las fichas técnicas como “exactitud de medida (Accuracy)”

Repetibilidad: Se obtiene a partir de la medida obtenida, se trata de la desviación típica de las mismas. Se ha calculado en Excel con la función “=DESVEST.M”.

Utilizando la siguiente expresión se obtiene el valor de la incertidumbre típica del instrumento en cuestión. Donde N es el número de medidas independientes.

$$u(y) = \sqrt{\left(\frac{Rep.}{\sqrt{N}}\right)^2 + \left(\frac{Exac.}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

<b>Exactitud</b>	$\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
<b>Repetibilidad</b>	$0,017 \text{ } ^\circ\text{C}$
<b>N</b>	266

Tabla 18 Términos de incertidumbre para TH21\_T

En la mayoría de los casos, el término de la incertidumbre asociada a la repetibilidad tendrá un valor mucho más bajo con respecto a la asociada a la exactitud proporcionada por el fabricante. Por norma general, la incertidumbre típica de las medidas asociada a la exactitud tendrá el valor dominante. En el caso de las sondas que midan temperaturas, como éste caso, se deberá tener en cuenta dos tipos de incertidumbre:

- ⇒ **Incertidumbre total:** Se tiene en cuenta ambos términos, exactitud y repetibilidad.

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,017}{\sqrt{266}}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,115$$

- ⇒ **Incertidumbre corregida mediante calibración:** Solamente se tiene en cuenta el término de repetibilidad, esto se debe a que en el proceso de calibración por comparación se obtiene el error de cero, el cual elimina los errores sistemáticos de los sensores, y esto elimina la incertidumbre por exactitud de la instrumentación.

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,017}{\sqrt{266}}\right)^2} = 0,001$$

Para hallar el intervalo de confianza es necesario obtener la incertidumbre expandida, la cual se calcula multiplicando el valor de la incertidumbre típica hallada anteriormente por el factor de cobertura  $k_p$ . Como  $N$  son 266 valores medidos, se puede usar  $k_p = 2$ , que está asociado al nivel de confianza de 95%. La incertidumbre expandida será:

⇒ **Incertidumbre expandida total:**

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,115 = 0,23$$

⇒ **Incertidumbre expandida con calibración:**

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,001 = 0,002$$

De todos los valores que se obtienen se indican 3 cifras decimales significativas, pero los cálculos se efectúan con el valor exacto obtenido, y posteriormente se redondea.

Una vez se ha obtenido el valor de la incertidumbre, ya se puede calcular el rango de confianza en el que se distribuirán las medidas con una probabilidad del 95%. La temperatura ambiente es de:  $23,028 \pm 0,23^\circ\text{C}$ , y corregida mediante la calibración  $23,028 \pm 0,002^\circ\text{C}$

- Cálculo de la incertidumbre de la humedad relativa de ambiente.

TH<sub>21</sub>\_HR

<b>Exactitud</b>	$\pm(1,3 + 0,003 \times \text{valor medido}) \%HR$
<b>Repetibilidad</b>	0,15 %HR
<b>N</b>	266

La incertidumbre típica es:

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,15}{100 \cdot \sqrt{266}}\right)^2 + \left(\frac{1,3 + 0,003 \cdot 58,411}{100 \cdot \sqrt{3}}\right)^2} = 0,85\%$$

Como el termohigrómetro estaba conectado al DataLogger, se saben el número de medidas, y son 266. Por lo tanto, se sabe que está dentro del nivel de confianza de un 95%, y se usa el factor de cobertura  $k_p = 2$ .

La incertidumbre expandida total:

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,0085 = 0,017$$

Esto nos indica que los valores de humedad relativa del ambiente están con un 95% de probabilidad dentro del rango:  $0,584 \pm 0,017 \%$

- Cálculo de la incertidumbre de la temperatura a la entrada del condensador. TH23\_T

Exactitud	$\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Repetibilidad	$0,37 \text{ } ^\circ\text{C}$
N	266

La incertidumbre típica total es:

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,37}{\sqrt{266}}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,118$$

La incertidumbre total corregida mediante calibración es:

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,37}{\sqrt{266}}\right)^2} = 0,023$$

Como el termohigrómetro estaba conectado al DataLogger, se saben el número de medidas, y son 266. Por lo tanto, se sabe que está dentro del nivel de confianza de un 95%, y se usa el factor de cobertura  $k_p = 2$ .

La incertidumbre expandida total:

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,118 = 0,235$$

La incertidumbre expandida con calibración:

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,023 = 0,045$$

Una vez se ha obtenido el valor de la incertidumbre, ya se puede calcular el rango de confianza en el que se distribuirán las medidas con una probabilidad del 95%. La temperatura ambiente es de:  $20,96 \pm 0,235 \text{ } ^\circ\text{C}$  , y corregida mediante la calibración  $20,96 \pm 0,045 \text{ } ^\circ\text{C}$

- **Cálculo de la incertidumbre de la temperatura de la nube. TP\_Mist**

<b>Exactitud</b>	$\pm 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$
<b>Repetibilidad</b>	$0,19 \text{ } ^\circ\text{C}$
<b>N</b>	266

La incertidumbre típica total es:

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,19}{\sqrt{266}}\right)^2 + \left(\frac{1,5}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,866$$

La incertidumbre total corregida mediante calibración es:

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,19}{\sqrt{266}}\right)^2} = 0,012$$

Como el termopar estaba conectado al DataLogger, se saben el número de medidas, y son 266. Por lo tanto, se sabe que está dentro del nivel de confianza de un 95%, y se usa el factor de cobertura  $k_p = 2$ .

La incertidumbre expandida total:

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,866 = 1,732$$

La incertidumbre expandida con calibración:

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,012 = 0,023$$

Una vez se ha obtenido el valor de la incertidumbre, ya se puede calcular el rango de confianza en el que se distribuirán las medidas con una probabilidad del 95%.

La temperatura de la nube nebulizada es de:  $20,851 \pm 1,732^\circ\text{C}$  , y corregida mediante la calibración  $20,851 \pm 0,023^\circ\text{C}$

- **Cálculo de la incertidumbre de la velocidad del aire en el condensador**

<b>Exactitud</b>	$\pm(0,2 + 0,003 \times \text{valor medido}) \text{ m/s}$
<b>Repetibilidad</b>	0,06 m/s
<b>N</b>	266

La incertidumbre típica es:

$$u_{Te} = \sqrt{\left(\frac{0,06}{\sqrt{266}}\right)^2 + \left(\frac{0,2 + 0,003 \cdot 1,04}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,117$$

Como el sensor de hilo caliente estaba conectado al DataLogger, se saben el número de medidas, y son 266. Por lo tanto, se sabe que está dentro del nivel de confianza de un 95%, y se usa el factor de cobertura  $k_p = 2$ .

La incertidumbre expandida total:

$$U = K_p \cdot u_{Te} = 2 \cdot 0,117 = 0,2346$$

Esto nos indica que los valores de velocidad del aire están con un 95% de probabilidad dentro del rango:  $1,04 \pm 0,23 \text{ m/s}$

- Cálculo de la incertidumbre de la diferencia de temperaturas entre el ambiente y la entrada al condensador.

```

k=2 "factor de cobertura: 2=95.4%, 3=99.73% (niveles de confianza)"
Patm=101325[Pa]

Tamb=23,027738 [C]
Tamb_c=23,027738 [C]
u_Tamb=k*sqrt(((0,017)/sqrt(266))^2+((0,2)/sqrt(3))^2)
u_Tamb_c=k*sqrt(((0,017)/sqrt(266))^2)

TMist=20,85158[C]
TMist_c=20,85158[C]
u_TMist=k*sqrt(((0,19)/sqrt(266))^2+((1,5)/sqrt(3))^2)
u_TMist_c=k*sqrt(((0,19)/sqrt(266))^2)

Delta_T=(Tamb_c-TMist_c)

```

Ilustración 108 Código EES incertidumbre diferencia de temperaturas

Variable±Uncertainty	Partial derivative	% of uncertainty
$\delta_T = 2,176 \pm 0,02339$ [C]		
Tamb <sub>c</sub> = 23,03±0,002085 [C]	$\partial\delta_T/\partial T_{amb_c} = 1$	0,79 %
TMist <sub>c</sub> = 20,85±0,0233 [C]	$\partial\delta_T/\partial T_{mist_c} = -1$	99,21 %

No unit problems were detected.

Calculation time = ,0 sec.

Ilustración 109 Solución EES incertidumbre diferencia de temperaturas

En los resultados del apartado 6.3.2 donde se muestran los resultados de todos los ensayos para la diferencia de temperatura y la entrada al condensador y nube nebulizada, el resultado para estas condiciones sin tener en cuenta la incertidumbre es de:

$$\Delta T = 2,176 \text{ bastante cercano al valor de } \Delta T_{\text{Incertidumbre}} = 2,176 \pm 0,023$$

- **Cálculo de la incertidumbre de la eficiencia de saturación.**

```

EES Equations Window
k=2 "factor de cobertura: 2=95.4%, 3=99.73% (niveles de confianza)"
Patm=101325[Pa]

Tamb=23,027738 [C]
Tamb_c=23,027738 [C]
u_Tamb=k*sqrt(((0,017)/sqrt(266))^2+((0,2)/sqrt(3))^2)
u_Tamb_c=k*sqrt(((0,017)/sqrt(266))^2)

Tm=20,960388[C]
Tm_c=20,960388[C]
u_Tm=k*sqrt(((0,37)/sqrt(266))^2+((0,2)/sqrt(3))^2)
u_Tm_c=k*sqrt(((0,37)/sqrt(266))^2)

HR_amb=0,584113
u_HR_amb=k*sqrt(((0,15)/(100*sqrt(266)))^2+((1,3+0,003*58,411)/(100*sqrt(3)))^2)

T_bh=WetBulb(AirH2O;T=Tamb;r=HR_amb;P=Patm)

Eta_sat=(Tamb_c-Tm_c)/(Tamb-T_bh)

```

Ilustración 110 Código EES incertidumbre eficiencia de saturación

Solution			
Uncertainty Results			
Unit Settings: SI C Pa J mass deg			
Variable±Uncertainty	Partial derivative	% of uncertainty	
$\eta_{sat} = 0,3759 \pm 0,01911$			
$HR_{amb} = 0,5841 \pm 0,01704$	$\partial\eta_{sat}/\partial HR_{amb} = 1,003$	79,97 %	
$T_{amb} = 23,03 \pm 0,2309 [C]$	$\partial\eta_{sat}/\partial T_{amb} = -0,009634$	1,36 %	
$T_{amb_c} = 23,03 \pm 0,002085 [C]$	$\partial\eta_{sat}/\partial T_{amb_c} = 0,1818$	0,04 %	
$T_m = 20,96 \pm 0,2354 [C]$	$\partial\eta_{sat}/\partial T_m = 0$	0,00 %	
$T_{m_c} = 20,96 \pm 0,04537 [C]$	$\partial\eta_{sat}/\partial T_{m_c} = -0,1818$	18,64 %	
No unit problems were detected.			
Calculation time = ,0 sec.			

Ilustración 111 Solución EES incertidumbre eficiencia de saturación

En los resultados del apartado 6.3.4 donde se muestran los resultados de todos los ensayos para la eficiencia de saturación, el resultado para estas condiciones sin tener en cuenta la incertidumbre es de:

$$\eta_{sat} = 0,376 \text{ bastante cercano al valor de } \eta_{sat_{\text{incertidumbre}}} = 0,3759 \pm 0,0191$$

- **Cálculo de la incertidumbre del enfriamiento producido frente al máximo posible.**

Se va a realizar el cálculo de incertidumbre de la eficiencia de enfriamiento con el fin de saber que variables son las que tienen mayor porcentaje de influencia en este índice. Ya que no tiene sentido el cálculo de una incertidumbre para un valor tan impreciso que ha llevado a error.

Uno de los parámetros que se necesitan para este cálculo es el caudal másico de aire seco ( $\dot{m}_a$ ), el cual también tiene su incertidumbre.

$$\dot{m}_a \left( \frac{kg}{s} \right) = \frac{\dot{V}_a \left( \frac{m^3}{s} \right)}{\dot{v} \left( \frac{m^3}{kg} \right)} \qquad \dot{V}_a \left( \frac{m^3}{s} \right) = v \left( \frac{m}{s} \right) \times A \left( m^2 \right)$$

Como se ve en las expresiones anteriores, el caudal másico depende de la velocidad, la cual hemos medido y registrado en el DataLogger y tenemos su incertidumbre. Por lo tanto, la incertidumbre de del caudal másico de aire será el mismo que se ha calculado anteriormente para la velocidad del aire en el condensador registrada por el hilo caliente.

```

k=2 "factor de cobertura: 2=95.4%, 3=99.73% (niveles de confianza)"
Patm=101325[Pa]

Tamb= 23,027738 [C]
Tamb_c= 23,027738 [C]
u_Tamb=k*sqrt(((0,017)/sqrt(266))^2+((0,2)/sqrt(3))^2)
u_Tamb_c=k*sqrt(((0,017)/sqrt(266))^2)

Tm=20,960388[C]
Tm_c=20,960388[C]
u_Tm=k*sqrt(((0,37)/sqrt(266))^2+((0,2)/sqrt(3))^2)
u_Tm_c=k*sqrt(((0,37)/sqrt(266))^2)

HR_amb=0,584113
u_HR_amb=k*sqrt(((0,15)/(100*sqrt(266)))^2+((1,3+0,003*58,411)/(100*sqrt(3)))^2)

m_dot_neb=0,00037 [kg/s]
u_m_dot_neb=0,007 [g/s]
V_dot_a=0,416 [m^3/s]
u_v_a=0,23
vol.es_a=Volume(AirH2O;T=Tamb;r=HR_amb;P=Patm)
m_dot_a= (V_dot_a/vol.es_a)

cp=Cp(AirH2O;T=Tamb;r=HR_amb;P=Patm)
DELTAh_vap=Enthalpy_vaporization(Water;T=Tamb)

Q_aire=m_dot_a*cp*(Tamb_c-Tm_c)
Q_aire_max=m_dot_neb*DELTAh_vap
eta_enf=(Q_aire/Q_aire_max)

```

Ilustración 112 Código EES incertidumbre Coeficiente de enfriamiento

Variable±Uncertainty	Partial derivative	% of uncertainty
<u><math>\eta_{enf} = 1,155 \pm 0,6851</math></u>		
$HR_{amb} = 0,5841 \pm 0,01704$	$\partial \eta_{enf} / \partial HR_{amb} = 0,02989$	0,00 %
$\dot{m}_{neb} = 0,00037 \pm 0,007$ [kg/s]	$\partial \eta_{enf} / \partial \dot{m}_{neb} = 35,28$	12,99 %
$T_{amb} = 23,03 \pm 0,2309$ [C]	$\partial \eta_{enf} / \partial T_{amb} = -0,001671$	0,00 %
$T_{amb_c} = 23,03 \pm 0,002085$ [C]	$\partial \eta_{enf} / \partial T_{amb_c} = 0,5586$	0,00 %
$T_m = 20,96 \pm 0,2354$ [C]	$\partial \eta_{enf} / \partial T_m = 0$	0,00 %
$T_{m_c} = 20,96 \pm 0,04537$ [C]	$\partial \eta_{enf} / \partial T_{m_c} = -0,5586$	0,14 %
$\dot{V}_a = 0,416 \pm 0,23$ [m <sup>3</sup> /s]	$\partial \eta_{enf} / \partial \dot{V}_a = 2,776$	86,87 %
<u><math>\dot{m}_a = 0,4939 \pm 0,2731</math> [kg/s]</u>		
$HR_{amb} = 0,5841 \pm 0,01704$	$\partial \dot{m}_a / \partial HR_{amb} = -0,003284$	0,00 %
$\dot{m}_{neb} = 0,00037 \pm 0,007$ [kg/s]	$\partial \dot{m}_a / \partial \dot{m}_{neb} = 0$	0,00 %
$T_{amb} = 23,03 \pm 0,2309$ [C]	$\partial \dot{m}_a / \partial T_{amb} = -0,001784$	0,00 %
$T_{amb_c} = 23,03 \pm 0,002085$ [C]	$\partial \dot{m}_a / \partial T_{amb_c} = 0$	0,00 %
$T_m = 20,96 \pm 0,2354$ [C]	$\partial \dot{m}_a / \partial T_m = 0$	0,00 %
$T_{m_c} = 20,96 \pm 0,04537$ [C]	$\partial \dot{m}_a / \partial T_{m_c} = 0$	0,00 %
$\dot{V}_a = 0,416 \pm 0,23$ [m <sup>3</sup> /s]	$\partial \dot{m}_a / \partial \dot{V}_a = 1,187$	100,00 %

Ilustración 113 Solución EES incertidumbre Coeficiente de enfriamiento 1

$Q_{\text{aire}} = 1045 \pm 578,4 \text{ [J-C/s-K]}$		
$HR_{\text{amb}} = 0,5841 \pm 0,01704$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial HR_{\text{amb}} = 27,06$	0,00 %
$\dot{m}_{\text{neb}} = 0,00037 \pm 0,007 \text{ [kg/s]}$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial \dot{m}_{\text{neb}} = 0$	0,00 %
$T_{\text{amb}} = 23,03 \pm 0,2309 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial T_{\text{amb}} = -2,522$	0,00 %
$T_{\text{amb}_c} = 23,03 \pm 0,002085 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial T_{\text{amb}_c} = 505,6$	0,00 %
$T_m = 20,96 \pm 0,2354 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial T_m = 0$	0,00 %
$T_{m_c} = 20,96 \pm 0,04537 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial T_{m_c} = -505,6$	0,16 %
$\dot{V}_a = 0,416 \pm 0,23 \text{ [m}^3\text{/s]}$	$\partial Q_{\text{aire}} / \partial \dot{V}_a = 2513$	99,84 %

$Q_{\text{aire,max}} = 905,1 \pm 17123 \text{ [J/s]}$		
$HR_{\text{amb}} = 0,5841 \pm 0,01704$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial HR_{\text{amb}} = 0$	0,00 %
$\dot{m}_{\text{neb}} = 0,00037 \pm 0,007 \text{ [kg/s]}$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial \dot{m}_{\text{neb}} = 2,446\text{E}+06$	100,00 %
$T_{\text{amb}} = 23,03 \pm 0,2309 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial T_{\text{amb}} = -0,8747$	0,00 %
$T_{\text{amb}_c} = 23,03 \pm 0,002085 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial T_{\text{amb}_c} = 0$	0,00 %
$T_m = 20,96 \pm 0,2354 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial T_m = 0$	0,00 %
$T_{m_c} = 20,96 \pm 0,04537 \text{ [C]}$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial T_{m_c} = 0$	0,00 %
$\dot{V}_a = 0,416 \pm 0,23 \text{ [m}^3\text{/s]}$	$\partial Q_{\text{aire,max}} / \partial \dot{V}_a = 0$	0,00 %

No unit problems were detected.

Calculation time = ,0 sec.

Ilustración 114 Solución EES incertidumbre Coeficiente de enfriamiento 2

En los resultados del apartado 6.3.5 donde se muestran los resultados de todos los ensayos para el enfriamiento producido con respecto al máximo posible, el resultado para estas condiciones sin tener en cuenta la incertidumbre es de:

$$\eta_{enf} = 1,16 \text{ muy cercano al valor de } \eta_{enf \text{ incertidumbre}} = 1,155 \pm 0,685$$

## 8 CONCLUSIONES

### 8.1 Conclusión del proyecto

El objetivo final de este trabajo es mejorar la eficiencia de la máquina de frío utilizada para climatización de aire del laboratorio. Esto se consigue disminuyendo la potencia del compresor mediante el preenfriamiento del aire que atraviesa el condensador. Para el preenfriamiento se utiliza un caudal de agua nebulizada que produce un efecto de enfriamiento evaporativo en la corriente de aire.

Con este fin se caracteriza un prototipo de nebulización de agua por ultrasonidos funcionando en junto al ciclo de refrigeración, estudiando el comportamiento de ambos y todos los parámetros que influyen en su funcionamiento y rendimiento: configuración espacial del nebulizador con respecto al ciclo, canalización del agua nebulizada, enfriamiento evaporativo producido en el condensador, porcentaje de agua nebulizada absorbida por el ambiente, eficiencia de saturación y la influencia de todos estos parámetros en la potencia consumida por el compresor.

Esta caracterización se pretendía hacer con tres configuraciones diferentes, A, B y C, donde variaba el codo del nebulizador, y su posición con respecto al condensador. Después, se pretendía variar la posición del nebulizador con respecto al ciclo varias veces dentro de cada configuración. Sin embargo, debido a las circunstancias del confinamiento, se hicieron algunos cambios.

En la configuración A, se recopilaron todos los ensayos que estaban programados, sin embargo, en las configuraciones B y C, solo se han recopilado, aquellas posiciones del nebulizador, donde se conseguía una mayor canalización de la nube por el condensador. De esta manera, se tiene el ensayo óptimo de cada configuración, pero no se puede hacer una caracterización posicional completa para las configuraciones B y C, tal y como se ha hecho para la B.

A pesar de este problema, se han llegado a las unas conclusiones válidas, ya que se ha contado con bastantes ensayos, y lo que es más importante, los más optimos. Las conclusiones son las siguientes:

- Se debe evitar las grandes longitudes entre el nebulizador y el condensador. A pesar de que usando alguna configuración especial, como un codo de 135°, se pueda conseguir que la nube alcance el condensador, ésta es muy propensa a desviarse.
- Es tan importante conseguir que se canalice toda la nube, como que haya un pequeño periodo de tiempo para que el aire que transcurre por el condensador se haya enfriado previamente, debido al enfriamiento evaporativo producido por estar en contacto con la nube de agua nebulizada.
- Hay una relación lineal entre la disminución de consumo de potencia en el compresor con el aumento del caudal másico nebulizado y canalizado por el condensador. Hablando de la configuración A del nebulizador con respecto al ciclo, sin variación de agentes externos.
- No se ha observado desaprovechamiento de agua nebulizada una vez se ha canalizado por el condensador, ya que las temperaturas a la salida del condensador han sido bastante elevadas. Además de ninguna indicación visual de agua nebulizada saliendo del condensador.
- A pesar de que el estudio del equipo ha tenido algunos puntos asumidos como imprecisos por falta de sensores en ciertas zonas, se tienen unos resultados positivos y fiables con respecto a la finalidad propuesta, queda claro que el consumo del compresor disminuye, por lo tanto, la eficiencia del ciclo aumenta.
- Después de haber hecho un análisis espacial de las posiciones del nebulizador con respecto al condensador, se ha llegado a la conclusión que los dos ensayos más eficientes han sido:

⇒ Posición 4: Configuración B (Codo 135° opuesto al condensador) 0,05m de distancia. Se cumplen las dos condiciones de arriba, ya que al expulsar la nube en dirección contraria pero cerca del condensador, da tiempo a que se produzca el enfriamiento evaporativo en el aire.



Ilustración 115 Posición 4 óptima

Posición 4	
Máxima caída de potencia en el compresor(W)	38,03080102
Diferencia de temperatura entre el ambiente y entrada al condensador(°C)	2,067350413
Eficiencia de saturación	0,376036504

Tabla 19 Conclusiones de la posición 4

⇒ Posición 5: Configuración C (Codo 135° de cara al condensador) 1m de distancia. Se cumplen las dos condiciones de arriba, no está muy lejos del condensador, pero no está pegado, y por lo tanto da tiempo al enfriamiento evaporativo.

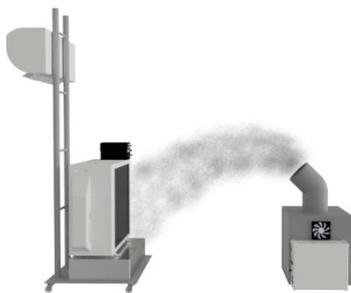


Ilustración 116 Posición 5 óptima

Posición 5	
Máxima caída de potencia en el compresor(W)	31,68364708
Diferencia de temperatura entre el ambiente y entrada al condensador(°C)	2,888055054
Eficiencia de saturación	0,541868954

Tabla 20 Conclusiones de la posición 5

Además, en ambos casos el ventilador del nebulizador trabaja a mitad de potencia, es decir proporcionando un caudal másico de  $0,37 \pm 0,007$  g/s lo cual es otra ventaja, ya que se está buscando un menor consumo eléctrico general.

Finalmente, destacar que los parámetros “porcentaje de caudal másico de agua absorbida por el aire” y “eficiencia de enfriamiento” han sido descartados de la conclusión porque no son cuantitativamente exactos. Ésto se debe a la imprecisión de medida de la temperatura en dos zonas que afectan directamente a estos parámetros.

- Ha habido imprecisión a la hora de medir la temperatura media a la entrada del condensador, debido principalmente a dos factores.
  - ⇒ La existencia de un único sensor de medida, un termohigrómetro, el cual es insuficiente para estimar la temperatura media de toda la entrada al condensador.
  - ⇒ El error en la medida en aquellos ensayos donde la nube de agua nebulizada incide directamente sobre el sensor, humedeciéndolo. Esto causa un falseo en la medida, quedando el termohigrómetro inutilizado durante aproximadamente 10-15 minutos.
  
- Por la otra parte, tampoco se ha podido hacer la estimación exacta de la temperatura media de la nube de agua nebulizada, ya que solo se tiene un sensor en el centro de la nube, el cual es insuficiente para representar su comportamiento real. No es la misma temperatura en el centro de la nube que en la periferia, no se puede asumir que todo el caudal másico de la nube enfría a partir de esa temperatura medida.

La solución sería utilizar un conjunto de sensores repartidos por la zona que se quiere estudiar, la entrada al condensador y el area que abarque la nube de agua nebulizada. Además, sería conveniente sensores de pequeño tamaño, con el fin de evitar un falseo en la medida cuando se humedecen. Una buena opción sería el termopar.

## 8.2 Futuras líneas de trabajo

Este estudio es interesante para la aplicación en grandes equipos frigoríficos, con condensadores de gran tamaño, donde exista una gran recirculación de agua condensada para su posterior nebulización. Puede ser en centros comerciales, que usen aire acondicionado de grandes dimensiones y consumo o bien, en empresas del sector de congelados y derivados, donde el uso de grandes congeladores es la fuente principal de consumo eléctrico.

Puestos en el contexto de una aplicación de grandes dimensiones. Puede existir un estudio muy interesante de recircular el agua que se condensa en el condensador, evitando su desperdicio, recirculándola para su posterior nebulización. En este estudio, se debe tener en cuenta la posibilidad de legionella, siendo ésta y sus semejantes el principal y directo inconveniente. Se podría utilizar un sistema de filtración de agua en el mismo circuito, o bien una limpieza en su conjunto cada cierto periodo de tiempo.

Es interesante estudiar el incremento de temperatura del agua que está en el depósito de nebulización. Al estar en funcionamiento este proceso durante mucho tiempo, las placas de vibración de ultrasonidos se van calentando con el tiempo, transmitiendo este calor al agua. Por lo tanto, puede existir un momento en el que se esté canalizando agua nebulizada por el condensador a una temperatura superior que la del propio ambiente, lo cual sería contraproducente.

Como posible solución a dicho aumento de temperatura, se podría utilizar un sistema de apagado automático para las placas de ultrasonidos una vez alcancen la temperatura no deseada. Además, ver la posibilidad de que trabajen varias placas de ultrasonido de forma intermitente, es decir, conforme se calienten unas, se ponen en funcionamiento otras, de esta forma no deja de funcionar la nebulización.

## 9 Referencias

- Brodie, B. (2011). Battery cooling with mist evaporation and condensation.
- Huang, C. (2009). Assembling structure of water conduction device for mist maker.
- IDAE. (2012). *Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización*.
- Intensity. (s.f.). <https://intensity.mx/es/blog/principales-elementos-de-un-sistema-de-refrigeracion>.
- Jinzhe Nie, S. Y. (s.f.). "Experimental study on an innovative enthalpy recovery technology based on indirect flash evaporative cooling".
- KANG, B.-S. P.-M. (2011). Spatial Distribution of Negative Air Ions Produced by an Ultrasonic Mist Maker.
- Kooij, S. (2019). Size distributions of droplets produced by ultrasonic nebulizers.
- Lizán Martos, A. (2020). *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*.
- Maruda, R. W. (s.f.). Research on emulsion MIST generation in the conditions of minimum quantity cooling lubrication.
- Moran, M. J. (1996). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Reverté.
- Omega. (s.f.). *Omega*. Obtenido de <https://es.omega.com/pptst/PX655.html#description>
- Peng, K. (2004). Ultrasonic fog maker and methods of drug delivery and air freshening.
- Red Eléctrica de España. (Febrero, 2019). *Análisis del comportamiento de la demanda de 2018*.
- Vivó, M. P. (Septiembre 2019). *Caracterización experimental de las prestaciones térmicas y fluidomecánicas de un prototipo de nebulización de agua mediante ultrasonidos, para aplicaciones de enfriamiento evaporativo*.

Wikipedia.

(s.f.).

[https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n\\_por\\_compresi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n_por_compresi%C3%B3n)

Yao, Y. (2015). *Research and applications of ultrasound in HVAC field: A review.*

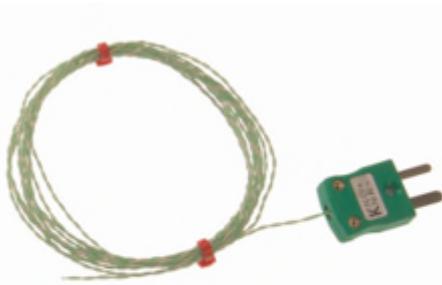
## 10 Anexo: Fichas técnicas

En este apartado se adjuntan las fichas técnicas de la instrumentación utilizada en este estudio.

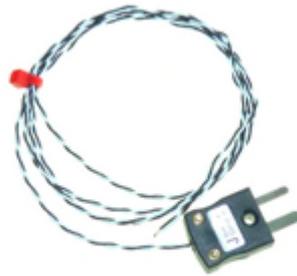
1. Termopar tipo k.
2. Termohigrómetro.
3. RTD pt100.
4. Trasmisores de presión.
5. Resistencias shunt.
6. Anenómetro de hilo caliente.
7. Data Logger

## Datasheet

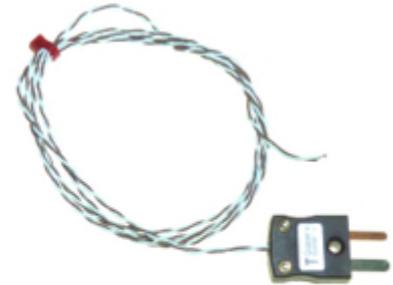
# IEC PTFE Exposed Welded Tip Thermocouples with Miniature Thermocouple Plug



Type 'K'



Type 'J'



Type 'T'

- Thermocouple types K, J & T
- Fast response, welded exposed junction 1, 2, 5 or 10 metre lengths available
- Teflon® PTFE insulated twin-twisted lead
- 1/0.2mm conductors
- 'Re-Wireable' miniature flat pin plug
- Temperature range  $-75^{\circ}\text{C}$  to  $+260^{\circ}\text{C}$
- Tolerance to IEC 584 Class 1
- Colour code to IEC 584-3
- Ideal for test & development applications

T/C Type	Conductors	Length	Termination	+Positive tail wire	-Negative tail wire code	Allied Code	RS order Code
'K'	1/0.2mm	1 metre	Mini plug	Green	White	70643600	<b>363-0250</b>
'K'	1/0.2mm	2 metre	Mini plug	Green	White		<b>110-4482</b>
'K'	1/0.2mm	5 metre	Mini plug	Green	White		<b>123-6306</b>
'K'	1/0.2mm	10 metre	Mini plug	Green	White		<b>123-6307</b>
'J'	1/0.2mm	1 metre	Mini plug	Black	White	70643599	<b>363-0244</b>
'J'	1/0.2mm	2 metre	Mini plug	Black	White		<b>123-6308</b>
'J'	1/0.2mm	5 metre	Mini plug	Black	White		<b>123-6309</b>
'J'	1/0.2mm	10 metre	Mini plug	Black	White		<b>123-6310</b>
'T'	1/0.2mm	1 metre	Mini plug	Brown	White	70643601	<b>363-0266</b>
'T'	1/0.2mm	2 metre	Mini plug	Brown	White		<b>123-6311</b>
'T'	1/0.2mm	5 metre	Mini plug	Brown	White		<b>123-6312</b>
'T'	1/0.2mm	10 metre	Mini plug	Brown	White		<b>123-6313</b>

## Making your own Thermocouples?

# EE210

## Humidity and Temperature Transmitter for Demanding Climate Control Applications

The EE210 transmitter by E+E Elektronik meets the highest requirements in demanding climate control applications. Besides highly accurate measurement of relative humidity and temperature, EE210 calculates dew point temperature, absolute humidity and mixing ratio.

EE210 is available as wall or duct mounted as well as with remote probe. The enclosure minimizes installation costs and provides outstanding protection against contamination and condensation. All measured and calculated values are available on the BACnet MS/TP or Modbus RTU interface; two of the measured and calculated values are available on the analogue voltage or current outputs, while up to three values can be shown simultaneously on the optional display.

Excellent performance of EE210 in polluted, aggressive environment is ensured by the combination of completely protective encapsulated measurement electronics inside the sensing probe and the long-term stable HCT01 sensor with E+E proprietary coating.

With an optional configuration kit the user can set the Modbus interface parameters, the output scaling and perform one or two point adjustment for humidity and temperature.



EE210

### Features

- Appropriate for US mounting requirements**
  - » Knockout for 1/2" conduit fitting
- External mounting holes**
  - » Mounting with closed cover
  - » Electronics protected against construction site pollution
  - » Easy and fast mounting
- Electronics on the underside of the PCB**
  - » Optimum protection against mechanical damage during installation
- Bayonet Screws**
  - » Open/closed with a 1/4 rotation
- Cast Electronics**
  - » Mechanical protection
  - » Condensation-resistant
- E+E Humidity sensor HCT01**
  - » Long-term stability
  - » Protected RH sensor surface
  - » Protected solder pads
  - » Tested according to automotive standard AEC-Q200
- Display**
  - » Selectable display layout
  - » Measurands freely selectable
- Smooth cover surface**
  - » No accumulation of dust in protruding edges
- IP65 / NEMA 4 Enclosure**
- Watertight cable outlet**

### Applications

- agriculture
- stables, incubators, hatcheries
- green houses
- storage rooms, cooling chambers
- indoor pools
- demanding climate control



BACnet is a registered trademark of ASHRAE. ASHRAE does not endorse, approve or test products for compliance with ASHRAE standards. Compliance of listed products to the requirements of ASHRAE Standard 135 is the responsibility of BACnet International (BI). BTL is a registered trademark of BI.

## Technical Data

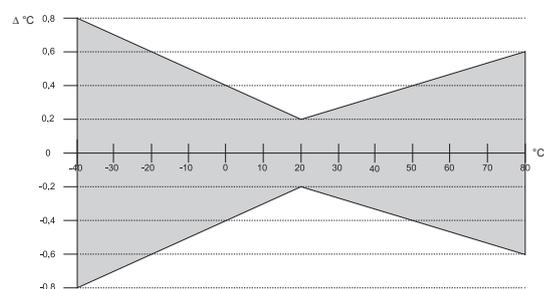
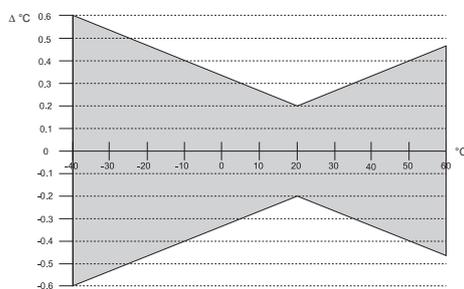
### Measured Values

#### Relative Humidity (RH)

Sensor	E+E Sensor HCT01-00D	
Working range	0...100% RH	
RH accuracy (incl. hysteresis, non-linearity and repeatability)		
Wall & duct version:		
-15...40°C (5...104°F)	≤90% RH	±(1.3 + 0.003*measured value) % RH
-15...40°C (5...104°F)	>90% RH	± 2.3% RH
-40...60°C (0...140°F)	±(1.5 + 0.015*measured value) % RH	
Remote probe version		
at 20°C (68°F)	±2.5% RH	

#### Temperature (T)

Sensor	Pt1000 (tolerance class B, DIN EN 60751) integrated in HCT01	
T-accuracy	wall & duct	remote probe



### Outputs

<b>Analog output</b>	0-5 V / 0-10 V	-1 mA < I <sub>L</sub> < 1 mA
(RH: 0...100%; T: see ordering guide)	4-20 mA (two-wire)	R <sub>L</sub> ≤ 500 Ohm
<b>Digital output</b>	RS485 (BACnet MS/TP or Modbus RTU), max. 32 EE210 in one bus	

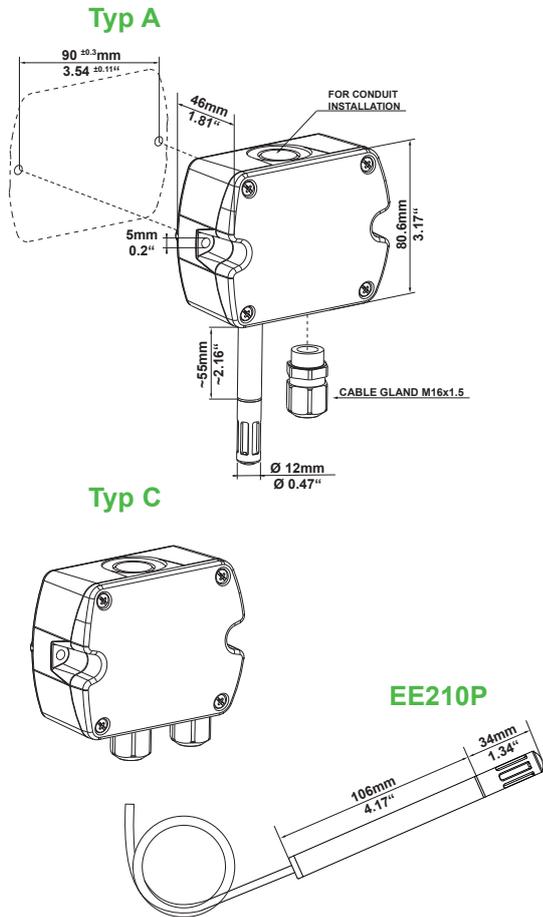
### General

Power supply	
for 0-5 V / 0-10 V / RS485	15 - 35V DC <sup>1)</sup> or 24V AC ±20%
for 4-20 mA	10V + R <sub>L</sub> x 20 mA < V+ < 30V DC
Current consumption	
Voltage output	DC supply typ. 3.3mA; with display typ. 3.6mA AC supply typ. 34mA; with display typ. 37mA
Current output	DC supply max. 40mA
Digital interface	DC supply typ. 5mA; with display typ. 19mA AC supply typ. 52mA; with display typ. 118mA
Display	1, 2 or 3 lines, user configurable
Connection	Screw terminals, max. 1.5 mm <sup>2</sup>
Housing material	Polycarbonate, UL94V-0 (with Display UL94HB) approved
Protection class	IP65 / NEMA 4
Cable gland	M16 x 1,5
Probe cable (type C)	PVC, Ø 4.3mm, 4 x 0.25 mm <sup>2</sup> , Length: 1.5 or 3m (4.9 or 9.8ft)
Sensor protection	E+E Coating
Electromagnetic compatibility	EN61326-1 EN61326-2-3 Industrial Environment
Temperature ranges	Operating: -40...60°C (-40...140°F) (-40...80°C for remote probe EE210P) Storage: -40...60°C (-40...140°F)
Temperature ranges with display	Operating: -20...50°C (-4...122°F) (-40...80°C for remote probe EE210P) Storage: -20...60°C (-4...140°F)



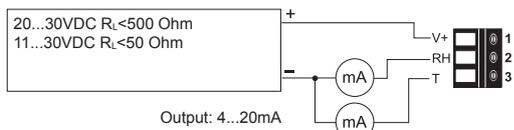
<sup>1</sup> USA & Canada: class 2 supply required, max. supply voltage 30V

## Dimensions (mm/inch)

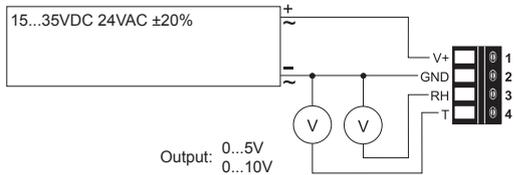


## Connection Diagram

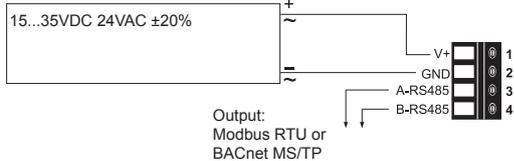
### EE210-HT6



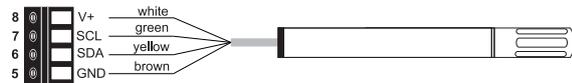
### EE210-HT3



### EE210-HTx3



### EE210P (for EE210-HT6 Type C)



## Ordering Guide

MODEL	ANALOGUE <sup>1)</sup>	DIGITAL <sup>1)</sup>	HOUSING	TYPE	PROBE LENGTH <sup>3)</sup>	DISPLAY <sup>4)</sup>	FILTER (Type A and B)
humidity + temperature	0-5V (2) 0-10V (3) 4-20mA (6) none (x)	RS485 (3) none (x)	standard (P)	wall mount (A) duct mount (B) remote probe (C) <sup>2)</sup>	50mm (1.97") (B) 200mm (7.87") (F) Type A and C (x)	display (D) none (x)	membrane (B) stainless steel sintered (D) for type C (x)
<b>EE210-</b>							

### Analogue outputs setup

OUTPUT 1	SCALING 1 <sup>6)</sup>	OUTPUT 2	SCALING 2 <sup>6)</sup>	UNIT
relative humidity <sup>5)</sup>	(Uw) -40...60 (002)	relative humidity <sup>5)</sup>	(Uw) -40...60 (002)	metric (M)
temperature	(Tx) -10...50 (003)	temperature	(Tx) -10...50 (003)	non-metric (N)
dew point temperature	(TD) 0...50 (004)	dew point temperature	(TD) 0...50 (004)	
frost point temperature	(TF) 0...100 (005)	frost point temperature	(TF) 0...100 (005)	
water vapour partial pressure <sup>5)</sup>	(Ex) 32...122 (076)	water vapour partial pressure <sup>5)</sup>	(Ex) 32...122 (076)	
mixing ratio <sup>5)</sup>	(Rx) -40...140 (083)	mixing ratio <sup>5)</sup>	(Rx) -40...140 (083)	
absolute humidity <sup>5)</sup>	(DV) -40...140 (083)	absolute humidity <sup>5)</sup>	(DV) -40...140 (083)	
specific enthalpy <sup>5)</sup>	(Hx) -40...140 (083)	specific enthalpy <sup>5)</sup>	(Hx) -40...140 (083)	

### Digital output setup<sup>7)</sup>

PROTOCOL	BAUDRATE	PARITY	STOPBITS	UNIT
Modbus RTU <sup>7)</sup>	(1) 9600 (A)	odd (O)	1 stopbit (1)	metric (M)
BACnet MS/TP <sup>8)</sup>	(3) 19200 (B)	even (E)	2 stopbit (2)	non-metric (N)
	38400 (C)	no parity (N)		
	57600 <sup>9)</sup> (D)			
	76800 <sup>9)</sup> (E)			
	115200 <sup>9)</sup> (F)			

### Remote probe for EE210 Type C:

MODEL	CABLE LENGTH	FILTER
humidity + temperature	1.5 m (4.9 ft) (C) 3 m (9.8 ft) (E)	membrane (B) stainless steel sintered (D)
<b>EE210P-</b>		

1) A combination of analog and digital version is not possible

2) The EE210P probe has to be ordered as separate position; available for 4-20mA and RS485 versions

3) Selectable probe length only for duct mount version available; see dimensions

4) **Factory setup:**

For analogue output versions the display shows the measurands selected for output 1 and output 2.

For digital output versions the display shows RH and T

5) **Factory Scaling**

relative humidity	0...100% RH	
water vapour partial pressure	0...200mbar	0...3psi
mixing ratio	0...425g/kg	0...2900gr/lb
absolute humidity	0...150g/m <sup>3</sup>	0...60gr/ft <sup>3</sup>
specific enthalpy	0...400kJ/kg	0...200BTU/lb

6) For Tx, TD und TF; other scaling upon request

7) Modbus Map and setup instructions:

See User Guide and Modbus Application Note at [www.epluse.com/EE210](http://www.epluse.com/EE210)

8) Product Implementation conformance Statement (PICS) available at [www.epluse.com/EE210](http://www.epluse.com/EE210)

9) Only for BACnet

## Order Examples

### Type A and B

#### EE210-HT3xPAxxB-UwTx005M

Model: Humidity+Temperature Transmitter  
 Analog output: 0-10V  
 Housing: standard  
 Type: wall mount  
 Display: none  
 Filter: membrane

Output scaling 1: relative humidity  
 Scaling 1: 0...100% RH  
 Output scaling 2: temperature  
 Scaling 2: 0...100°C  
 Unit: metric

### Type C

#### Position 1:

#### EE210-HT6xPCxxx-UwTx005M

Model: Humidity+Temperature Basic Device  
 Analog output: 4-20mA  
 Housing: standard  
 Type: remote probe (Pos. 2)  
 Display: none

Output scaling 1: relative humidity  
 Scaling 1: 0...100% RH  
 Output scaling 2: temperature  
 Scaling 2: 0...100°C  
 Unit: metric

#### Position 2:

#### EE210P-HTCB

Model: Humidity+Temperature Probe  
 Cable length: 1.5 m  
 Filter: membrane

## Accessories

Product configuration adapter  
 Product configuration software  
 Power supply adapter

see data sheet EE-PCA

EE-PCS (free download: [www.epluse.com/EE210](http://www.epluse.com/EE210))

V03 (see data sheet Accessories)

CANTIDAD	REFERENCIA / DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	TOTAL BI
3 unid.	16-1-6.0-4-60-DOUBLE RING CRIMP-R100-B-3 MTRS RS67 - Sonda Pt100, clase B, 4 hilos - Vaina acero Inox. AISI 316 - Diám 6.0mm, long 60mm - Doble Crimpado circular - 3 mtrs de cable aisladon con silicona - Tª max 200°C	43,50	130,50
3	16-1-6.0-4-60-DOUBLE RING CRIMP-R100-A-3 MTRS RS67 - Sonda Pt100, clase A, 4 hilos - Vaina acero Inox. AISI 316 - Diám 6.0mm, long 60mm - Doble Crimpado circular - 3 mtrs de cable aisladon con silicona - Tª max 200°C	45,60	136,80
3	16-1-6.0-4-60-DOUBLE RING CRIMP-R100-1/10-3 MTRS RS67 - Sonda Pt100, clase 1/10, 4 hilos - Vaina acero Inox. AISI 316 - Diám 6.0mm, long 60mm - Doble Crimpado circular - 3 mtrs de cable aisladon con silicona - Tª max 200°C	86,90	260,70



# Transmisores de presión para aplicaciones industriales generales

## Modelo A-10

Hoja técnica WIKA PE 81.60



### Aplicaciones

- Maquinaria
- Máquinas-herramienta
- Técnica de medición y regulación
- Hidráulica y neumática
- Bombas y compresores

### Características

- Rango de medida desde 0 ... 1 bar hasta 0 ... 600 bar
- No linealidad: 0,25 % ó 0,5 %
- Salida 4 ... 20 mA, 0 ... 10 V, 0 ... 5 V y otras
- Conexión eléctrica: Conector angular forma A y C, conector M12 x 1, salida de cable 2m
- Conexión a proceso: G1/4 DIN 3852-E, 1/4 NPT y otras a consultar



Transmisor de presión modelo A-10

### Descripción

El transmisor de presión modelo A-10 para aplicaciones industriales generales destaca no solo por su diseño compacto, sino también por su excelente calidad a un precio muy económico.

El usuario puede optar por una alinealidad de 0,25 % ó 0,5 %. Un protocolo de prueba sin cargo informa sobre los puntos de medición incorporados durante la fabricación.

El A-10 está equipado para el uso a nivel mundial mediante las certificaciones cULus y GOST. Las diferentes unidades de presión y conexiones necesarias para las respectivas condiciones de uso pueden disponerse en plazo breve.

## Rangos de medida

Presión relativa									
bar	<b>Rango de medida</b>	0 ... 1	0 ... 1,6	0 ... 2,5	0 ... 4	0 ... 6	0 ... 10	0 ... 16	0 ... 25
	Límite de presión de sobrecarga	2	3,2	5	8	2	20	32	50
	<b>Rango de medida</b>	0 ... 40	0 ... 60	0 ... 100	0 ... 160	0 ... 250	0 ... 400	0 ... 600	
	Límite de presión de sobrecarga	80	120	200	320	500	800	1.200	
psi	<b>Rango de medida</b>	0 ... 15	0 ... 25	0 ... 30	0 ... 50	0 ... 100	0 ... 160	0 ... 200	0 ... 300
	Límite de presión de sobrecarga	30	60	60	100	200	290	400	600
	<b>Rango de medida</b>	0 ... 500	0 ... 1.000	0 ... 1.500	0 ... 2.000	0 ... 3.000	0 ... 5.000	0 ... 10.000	
	Límite de presión de sobrecarga	1.000	1.740	2.900	4.000	6.000	10.000	17.400	

Presión absoluta									
bar	<b>Rango de medida</b>	0 ... 1	0 ... 1,6	0 ... 2,5	0 ... 4	0 ... 6	0 ... 10	0 ... 16	0 ... 25
	Límite de presión de sobrecarga	2	3,2	5	8	12	20	32	50
psi	<b>Rango de medida</b>	0 ... 15	0 ... 25	0 ... 30	0 ... 50	0 ... 100	0 ... 150	0 ... 200	0 ... 300
	Límite de presión de sobrecarga	30	60	60	100	200	290	400	600

Rango de medida de vacío y +/-							
bar	<b>Rango de medida</b>	-1 ... 0	-1 ... 0,6	-1 ... 1,5	-1 ... 3	-1 ... 5	-1 ... 9
	Límite de presión de sobrecarga	2	3,2	5	8	12	20
	<b>Rango de medida</b>	-1 ... 15	-1 ... 24				
	Límite de presión de sobrecarga	32	50				
psi	<b>Rango de medida</b>	-30 inHG ... 0	-30 inHG ... 15	-30 inHG ... 30	-30 inHG ... 60	-30 inHG ... 100	-30 inHG ... 160
	Límite de presión de sobrecarga	30	60	60	150	250	350
	<b>Rango de medida</b>	-30 inHG ... 200	-30 inHG ... 300				
	Límite de presión de sobrecarga	450	600				

Los rangos de medida indicados están disponibles también en kg/cm<sup>2</sup> y kPa. Pueden proporcionarse otros rangos de medida a petición.

### Resistencia al vacío

Sí

## Señal de salida

Clase de señal	Valor
Corriente (2 hilos)	4 ... 20 mA
Tensión (3 hilos)	DC 0 ... 10 V    DC 0 ... 5 V    DC 1 ... 5 V    DC 0,5 ... 4,5 V
Radiométrica (3 hilos)	DC 0,5 ... 4,5 V

Otras señales de salida a petición.

### Carga en $\Omega$

Corriente (2 hilos)  $\leq$  (energía auxiliar - 8 V) / 0,02 A

Tensión (3 hilos):  $>$  U<sub>max</sub> / 1 mA

Radiométrica (3 hilos):  $>$  4,5k

## Alimentación de corriente

### Alimentación auxiliar <sup>1)</sup>

	Corriente	Tensión	DC 0 ... 10 V	Radiométrica
<b>Estándar</b>	DC 8 ... 30 V	DC 8 ... 30 V	DC 14 ... 30 V	DC 5 V ± 10 %
<b>Opción</b>	DC 8 ... 35 V <sup>2)</sup>	DC 8 ... 35 V	DC 14 ... 35 V	-

1) Utilizar un circuito eléctrico con límite de energía según el párrafo 9.3 de UL/EN/IEC 61010-1 o LPS según UL/EN/IEC 60950-1 o Clase 2 según UL1310/UL1585 (NEC o CEC) para alimentar el transmisor de presión. La alimentación eléctrica debe ser adecuada a alturas superiores a 2.000 metros si se quiere utilizar el transmisor de presión a partir de esas alturas.  
2) No posible con alinealidad 0,25 % BFSL.

### Alimentación de corriente eléctrica total

Salida de corriente: Corriente de trabajo, máx. 25 mA

Tensión de alimentación: 8 mA

## Precisión

Alinealidad según BFSL (IEC 61298-2)	Estándar ≤ ± 0,5 % del span	Opción ≤ ± 0,25 % del span
<b>No repetibilidad</b>	≤ 0,1 % del span	≤ 0,1 % del span
<b>Deriva a largo plazo (según IEC 61298-2)</b>	≤ ± 0,1 % del span	≤ ± 0,1 % del span
<b>Ruido de señal</b>	≤ ± 0,3 % del span	≤ ± 0,3 % del span
<b>Tiempo de establecimiento</b>	< 4 ms	< 4 ms
<b>Error de temperatura a 0 ... 80 °C</b>	Típico: 1 % del alcance Máximo: 2,5 % del alcance	Típico: 1 % del alcance Máximo: 2,5 % del alcance
<b>Error de medición de la señal cero</b>	Típico: ≤ ± 0,5 % del alcance Máximo: ≤ ± 0,8 % del alcance	Típico: ≤ ± 0,15 % del alcance Máximo: ≤ ± 0,4 % del alcance
<b>Precisión a temperatura ambiente <sup>1)</sup></b>	≤ ± 1 % del alcance	≤ ± 0,5 % del span ≤ ± 0,6 % del alcance (para 0 ... 5 V)

1) Incluye alinealidad, histéresis, error punto cero y valor final (corresponde a desviación de valor de medida según IEC 61298-2).  
Calibrado en posición vertical con la conexión a presión hacia abajo.

## Condiciones de referencia (según IEC 61298-1)

Temperatura: 15 ... 25 °C  
Presión atmosférica: 950 ... 1.050 mbar  
Humedad atmosférica: 45 ... 75 % relativa  
Posición nominal: Conexión a proceso inferior  
Alimentación auxiliar: DC 24 V  
Carga: véase "señal de salida"  
Posición de montaje: cualquiera

## Condiciones de utilización

### Sistema mecánico

Resistencia a la vibración: 10 g (IEC 60068-2-27, con resonancia)  
Pueden proporcionarse 20 g a petición  
Resistencia a choques térmicos: 500 g (IEC 60068-2-6, mecánica)  
Duración: 10 millones cambios de carga

### Temperaturas

Rango de temperatura admisible	Medio Entorno Cojinetes		
	Medio	Entorno	Cojinetes
<b>Estándar</b>	0 ... +80 °C	0 ... +80 °C	-20 ... +80 °C
<b>Opción</b>	-30 ... +100 °C	-30 ... +100 °C	-30 ... +100 °C

## Conexiones

### Conexiones

Norma	Rosca
EN 837	G 1/8 B <sup>1)</sup>
	G 1/4 B
	G1/4 rosca hembra
	G 3/8 B
	G 1/2 B
DIN 3852-E 2)	G 1/4 A
	G 1/2 A
	M14 x 1,5
ANSI/ASME B1.20.1	1/8 NPT <sup>1)</sup>
	1/4 NPT
	Rosca hembra 1/4 NPT
	1/2 NPT
DIN 16288	M20 x 1,5
ISO 7	R 1/4
	R 3/8
	R 1/2
KS	PT 1/4
	PT 1/2
	PT 3/8
SAE <sup>2) 3)</sup>	7/16-20 UNF junta tórica BOSS
	9/16-18 UNF junta tórica BOSS

1) Rango máximo de medida: 400 bar.

2) Límite máximo de sobrecarga de 600 bar

3) Temperatura máxima admisible -10 ... +100 °C

### Juntas

	EN 837	DIN 3852-E	UNF BOSS
<b>Estándar</b>	Cu	NBR	FKM
<b>Opción</b>	Acero inoxidable	FKM	-

Las juntas listadas en "Estándar" están comprendidas en el volumen de suministro.

Todas las conexiones al proceso cuentan de manera estándar con una perforación para conducto con un diámetro de 3,5 mm.

Diámetros opcionales para:

- G 1/4 A DIN 3852-E: Ø 6 mm, Ø 0,6 mm, Ø 0,3 mm
- 1/4 NPT: Ø 6 mm, Ø 0,6 mm, Ø 0,3 mm

## Conexiones eléctricas

### Especificaciones

Denominación	Tipo de protección	Sección de hilo	Diámetro de cable	Material de cable
<b>Clavija de salida lateral DIN 175301-803 A</b>				
■ con conectores	IP 65	a max. 1,5 mm <sup>2</sup>	6 ... 8 mm	-
■ con cable inyectado	IP 65	3 x 0,75 mm <sup>2</sup>	6 mm	PUR
<b>Clavija de salida lateral DIN 175301-803 C</b>				
■ con conectores	IP 65	a max. 0,75 mm <sup>2</sup>	4,5 ... 6 mm	-
■ con cable inyectado	IP 65	4 x 0,75 mm <sup>2</sup>	5,9 mm	PUR
<b>Clavija de enchufe, M12 x 1 (de 4 polos)</b>				
■ sin conectores	IP 67	-	-	-
■ recto con cable inyectado	IP 67	3 x 0,34 mm <sup>2</sup>	4,4 mm	PUR
■ angulado con cable inyectado	IP 67	3 x 0,34 mm <sup>2</sup>	4,4 mm	PUR
<b>Salida de cable sin blindar</b>	IP 67	3 x 0,34 mm <sup>2</sup>	4 mm	PUR

Los tipos de protección indicados (según IEC 60529) sólo son válidos en estado conectado con conectores según el modo de protección correspondiente.

Los conectores (con y sin cable) pueden adquirirse también por separado como accesorios.

Longitudes de cable suministrables en 2 m ó 5 m respectivamente.

### Protección eléctrica

Resistencia contra cortocircuitos: S<sub>+</sub> contra 0V

Protección contra polaridad inversa: U<sub>B</sub> contra 0V

Tensión de aislamiento: DC 500 V

## Esquema de conexión

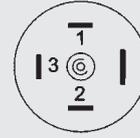
### Clavija de salida lateral DIN 175301-803 A



#### Asignación

2 hilos	UB	0V	
con conectores con cable	1 marrón	2 azul	
3 hilos	UB	0V	S+
con conectores con cable	1 marrón	2 azul	3 negro

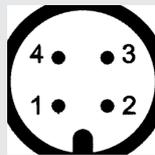
### Clavija de salida lateral DIN 175301-803 C



#### Asignación

2 hilos	UB	0V	
con conectores con cable	1 marrón	2 azul	
3 hilos	UB	0V	S+
con conectores con cable	1 marrón	2 azul	3 negro

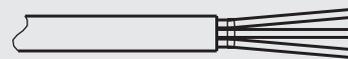
### Clavija de enchufe, M 12 x 1, de 4 polos



#### Asignación

2 hilos	UB	0V	
con conectores con cable	1 marrón	3 azul	
3 hilos	UB	0V	S+
con conectores con cable	1 marrón	3 azul	4 negro

### Salida de cable



#### Asignación

2 hilos	UB	0V	
	marrón	azul	
3 hilos	UB	0V	S+
	marrón	azul	negro

## Materiales

### Piezas en contacto con el medio

Acero inoxidable 316L  
desde 10 bar 316L y 13-8 PH

### Piezas sin contacto con el medio

Acero inoxidable 316L  
HNBR  
PA66

Materiales para juntas, véase "Conexiones"

### Líquido de transmisión de los valores de presión

Aceite sintético: a 0 ...6 bar relativa,  
hasta 0 ... 25 bar absoluta  
Célula de medición seca: desde 0 ...10 bar relativa

## Homologaciones, directivas y certificados

### Homologaciones

cULus, GOST

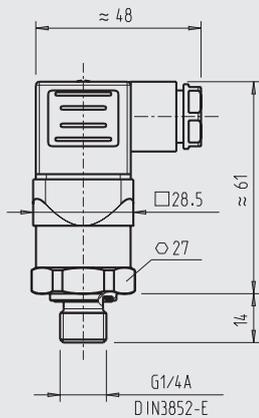
### Conformidad CE

- Directiva CEM 2004/108/CE, EN 61326 emisión (grupo 1, clase B) y resistencia a interferencias (ámbito industrial)
- Directiva de Equipos a Presión 97/23/EG

## Dimensiones en mm

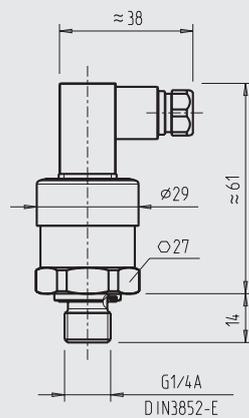
### Transmisores de presión

con conector angular  
forma A



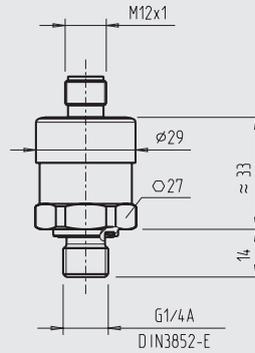
Peso: aprox. 80 g

con conector angular  
forma C



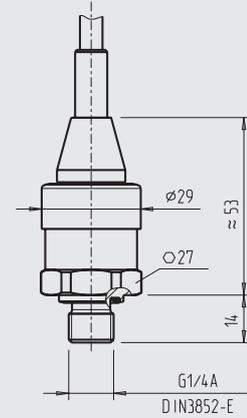
Peso: aprox. 80 g

con clavija de enchufe,  
M12 x 1



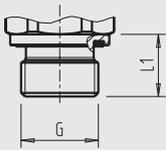
Peso: aprox. 80 g

con salida de cable  
(PUR, sin blindar)

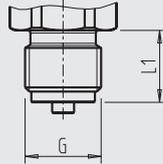


Peso: aprox. 80 g

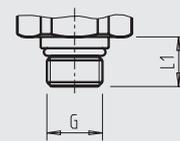
### Conexiones



G	L1
G 1/4 A DIN 3852-E	12
G 1/2 A DIN 3852-E	14
M14 x 1,5	12

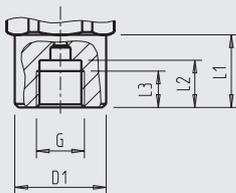


G	L1
G 1/4 B EN 837	13
G 3/8 B EN 837	16
G 1/2 B EN 837	20
M20 x 1,5	20



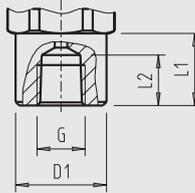
G	L1
9/16-18 UNF BOSS	10
7/16-20 UNF BOSS	9

Rosca hembra

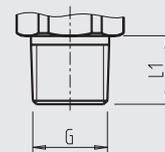


G	L1	L2	L3	D1
G 1/4 EN 837	20	13	10	Ø 25

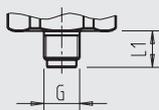
Rosca hembra



G	L1	L2	D1
1/4 NPT	20	14	Ø 25



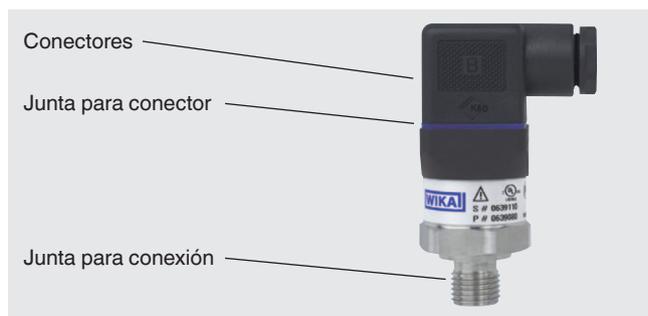
G	L1
1/8 NPT	10
1/4 NPT	13
1/2 NPT	19
R 1/4	13
R 3/8	15
R 1/2	19
PT 1/4	13
PT 3/8	15
PT 1/2	19



G	L1
G 1/8 B EN 837	10

Las indicaciones sobre taladros para roscar y para soldar están en nuestra información técnica IN 00.14 en [www.wika.es](http://www.wika.es).

## Accesorios y piezas de recambio



### Conectores

	Número de pedido		
	sin cable	con 2 m de cable	con 5 m de cable
<b>Clavija de salida lateral DIN 175301-803 A</b>			
■ con racor, métrico	11427567	11225793	11250186
■ con racor, conduit	11022485	-	-
<b>Clavija de salida lateral DIN 175301-803 C</b>			
1439081	11225823	11250194	
<b>Clavija de enchufe, M 12 x 1, de 4 polos</b>			
■ recto	2421262	11250780	11250259
■ angular	2421270	11250798	11250232

### Juntas para conectores

	Número de pedido
Clavija de salida lateral DIN 175301-803 A	1576240
Clavija de salida lateral DIN 175301-803 C	11169479

### Juntas para conexión

	Número de pedido			
	Cu	Acero inoxidable	NBR	FKM
G1/4 EN 837, M12 x 1,5	11250810	11250844	-	-
G1/2 EN 837, M20 x 1,5	11250861	11251042	-	-
G1/8 EN 837	11251051	-	-	-
G1/4 DIN 3852-E	-	-	1537857	1576534
G1/2 DIN 3852-E	-	-	1039067	1039075

Emplear únicamente los accesorios y piezas de recambio que figuran en el listado, pues de otro modo se produce la nulidad de la garantía.

### Indicaciones relativas al pedido

Modelo / rango de medida / señal de salida / energía auxiliar / alinealidad / rango de temperatura / conexión / junta / conexión eléctrica

© 2011 WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, todos los derechos reservados.  
 Los datos técnicos descritos en este documento corresponden al estado actual de la técnica en el momento de la publicación.  
 Nos reservamos el derecho de modificar los datos técnicos y materiales.





**Transmisor de presión para  
aplicaciones industriales**  
Tipo MBS 3000

**Características**



- Para entornos industriales con grandes cargas de trabajo
- Cubierta de acero inoxidable y resistente a los ácidos (AISI 316L)
- Rangos de presión relativa o absoluta desde 1 bar hasta 600 bar
- Todas las señales de salida estándar: 4 - 20 mA, 0 - 5 V, 1 - 5 V, 1 - 6 V, 0 - 10 V, 1 - 10 V
- Amplio rango de presión y conexiones eléctricas
- Compensación de temperatura y calibrado por láser

**Descripción**

El transmisor de presión compacto MBS 3000 está diseñado para ser usado en casi todas las aplicaciones industriales, ofreciendo una medida fiable de la presión, incluso bajo condiciones de trabajo duras.

presión relativa y absoluta, rangos de medida desde 0-1 bar hasta 0-600 bar y una amplia gama de conexiones eléctricas y de presión.

El flexible programa de transmisores de presión cubre diferentes señales de salida, versiones en

Excelente estabilidad frente a vibraciones, construcción robusta y alto grado de protección EMC/EMI, lo que hace que este transmisor de presión cumpla con los más rigurosos requerimientos industriales.

**Pedidos del MBS 3000 en ejecución estándar**

Conector: Pg 9  
 (EN 175301-803-A)  
 Señal de salida: 4-20 mA  
 Conexión de presión:  
 G 1/4 A (EN 837)

Rango de presión Pe <sup>1)</sup> [bar]	Tipo	Nº de código
0 - 1	MBS 3000 - 1011 - 1 AB04	<b>060G1113</b>
0 - 1.6	MBS 3000 - 1211 - 1 AB04	<b>060G1429</b>
0 - 2.5	MBS 3000 - 1411 - 1 AB04	<b>060G1122</b>
0 - 4	MBS 3000 - 1611 - 1 AB04	<b>060G1123</b>
0 - 6	MBS 3000 - 1811 - 1 AB04	<b>060G1124</b>
0 - 10	MBS 3000 - 2011 - 1 AB04	<b>060G1125</b>
0 - 16	MBS 3000 - 2211 - 1 AB04	<b>060G1133</b>
0 - 25	MBS 3000 - 2411 - 1 AB04	<b>060G1430</b>
0 - 40	MBS 3000 - 2611 - 1 AB04	<b>060G1105</b>
0 - 60	MBS 3000 - 2811 - 1 AB04	<b>060G1106</b>
0 - 100	MBS 3000 - 3011 - 1 AB04	<b>060G1107</b>
0 - 160	MBS 3000 - 3211 - 1 AB04	<b>060G1112</b>
0 - 250	MBS 3000 - 3411 - 1 AB04	<b>060G1111</b>
0 - 400	MBS 3000 - 3611 - 1 AB04	<b>060G1109</b>
0 - 600	MBS 3000 - 3811 - 1 AB04	<b>060G1110</b>

<sup>1)</sup> Manométrica (relativa)

**Características técnicas**

*Prestaciones (EN 60770)*

Precisión (incl. histéresis y repetitividad)	±0.5% FS (típica) ±1% FS (máx.)
Sin linealidad (se adapta mejor en línea recta)	≤ ±0.2% FS
Histerésis y repetitividad	≤ ±0.1% FS
Desviación punto cero térmico	≤ ±0.1% FS/10K (típica) ≤ ±0.2% FS/10K (máx.)
Desviación de sensibilidad térmico (span)	≤ ±0.1% FS/10K (típica) ≤ ±0.2% FS/10K (máx.)
Tiempo de respuesta	< 4 ms
Presión de sobrecarga (estático)	6 × FS (máx. 1500 bar)
Presión de rotura	> 6 × FS (máx. 2000 bar)
Durabilidad, P: 10-90% FS	>10×10 <sup>6</sup> ciclos

*Características eléctricas*

	Señal de salida nominal (protección contra cortocircuito)		
	4 – 20 mA	0 - 5, 1 - 5, 1 - 6 V	0 - 10 V, 1 - 10 V
Tensión de aliment. [U <sub>B</sub> ], polaridad protegida	9 → 32 V	9 → 30 V	15 → 30 V
Consumo de corriente - alimentación	-	≤ 5 mA	≤ 8 mA
Dependencia de la tensión de alimentación	≤ ±0.05% FS/10 V		
Limitación de corriente	28 mA (típica)	-	
Impedancia de salida	-	≤ 25Ω	
Carga [R <sub>L</sub> ] (carga conectada a 0V)	R <sub>L</sub> ≤ (U <sub>B</sub> -9V)/0.02A	R <sub>L</sub> ≥ 10 kΩ	R <sub>L</sub> ≥ 15 kΩ

*Condiciones de trabajo*

Rango de temperatura del fluido	-40 → +85°C	
Rango de temperatura ambiente (según la conexión eléctrica)	veáse página 5	
Rango de temperatura compensada	0 → +80°C	
Rango de temperatura de transporte	-50 → +85°C	
EMC - Emision	EN 61000-6-3	
EMC Inmunidad	EN 61000-6-2	
Resistencia del aislamiento	> 100 MΩ a 100 V	
Prueba de frecuencia de la red	SEN 36150	
Estabilidad de vibración	sinusoidal 15.9 mm-pp, 5 Hz-25 Hz 20 g, 25 Hz - 2 kHz	IEC 60068-2-6
	intermitente 7.5 g <sub>rms</sub> , 5 Hz - 1 kHz	
Resistencia al impacto	impacto 500 g / 1 ms	IEC 60068 - 2 - 27
	caída libre	IEC 60068 - 2 - 32
Protección (según la conexión eléctrica)	veáse página 5	

*Características mecánicas*

Materiales	Piezas en contacto con el medio	EN 10088-1; 1.4404 (AISI 316 L)
	Protección	EN 10088-1; 1.4404 (AISI 316 L)
	Conexiones eléctricas	veáse página 5
Peso (según la conexión de la presión y la conexión eléctrica)	0.2 - 0.3 kg	

**Pedidos del MBS 3000 en ejecución especial**

Versiones más utilizadas

Las versiones especiales deben seleccionarse rellinando este formulario. No obstante existe una cantidad mínima de pedido para la construcción del equipo especial. Por favor, contacte con su oficina local de Danfoss para más información

MBS 3000 -

Rango de presión	Código
0 - 1 bar .....	1 0
0 - 1.6 bar .....	1 2
0 - 2.5 bar .....	1 4
0 - 4 bar .....	1 6
0 - 6 bar .....	1 8
0 - 10 bar .....	2 0
0 - 16 bar .....	2 2
0 - 25 bar .....	2 4
0 - 40 bar .....	2 6
0 - 60 bar .....	2 8
0 - 100 bar .....	3 0
0 - 160 bar .....	3 2
0 - 250 bar .....	3 4
0 - 400 bar .....	3 6
0 - 600 bar .....	3 8

Conexión de presión	Código
G ¼ A (EN 837)	A B 0 4
G ¾ A (EN 837)	A B 0 6
G ½ A (EN 837)	A B 0 8
¼ -18 NPT	A C 0 4
½ -14 NPT	A C 0 8
DIN 3852-E-G ¼	G B 0 4

Junta: DIN 3869-14 NBR

**Conexión eléctrica**  
Los esquemas de los conectores y con configuraciones PIN estándar están en la página 5

Conector Pg 9 (EN175301-803-A)  
\*) Conector AMP Econojunta, serie J macho, hembra excl.  
Cable armado, 2 m  
\*) Conector, IEC 60947-5-2, M12 x 1, macho hembra excl.  
\*) Conector, AMP Superjunta, macho serie 1.5, hembra excl.

Tipo de medidor de presión	Código
Manómetro (relativa) .....	1
Absoluta .....	2

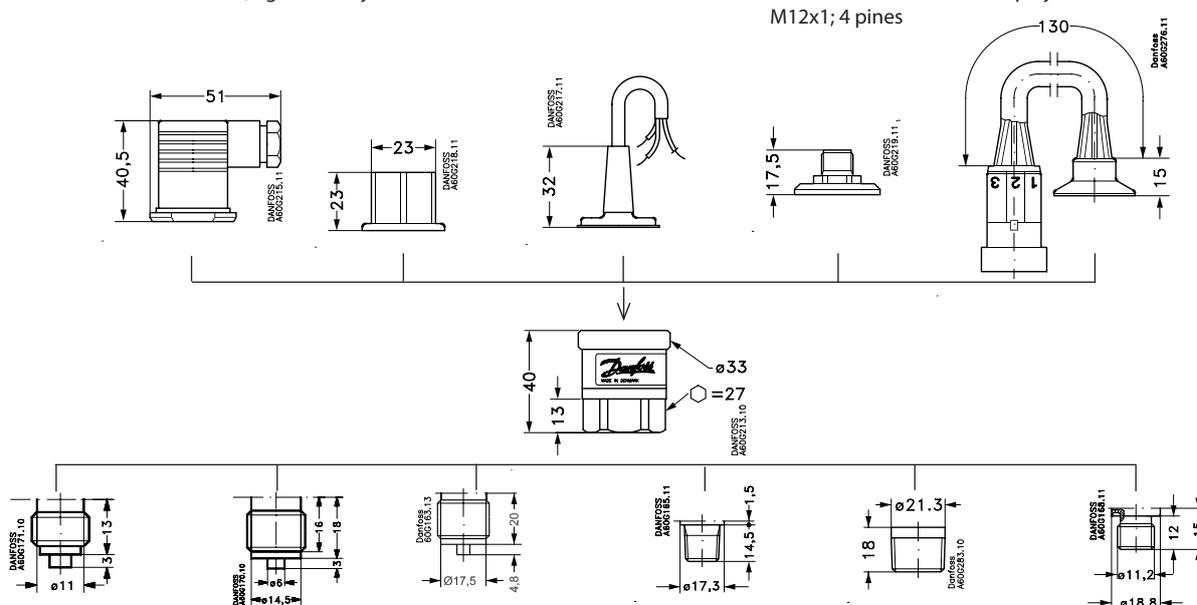
Señal de salida	Código
4 - 20 mA	1
0 - 5 V	2
1 - 5 V	3
1 - 6 V	4
0 - 10 V	5
1 - 10 V	7

\*) Versiones manométricas solamente disponibles como versiones manométricas selladas

**Dimensiones / Combinaciones**

Tipo de código	1	2	3	5	8
----------------	---	---	---	---	---

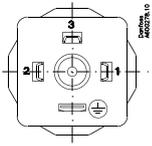
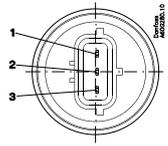
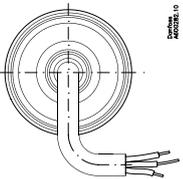
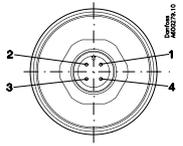
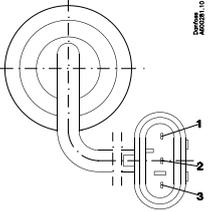
EN175301-803-A, Pg 9 Econojunta AMP      2 m cable armado      EN 60947 - 5 - 2 M12x1; 4 pines      Superjunta AMP



Tipo de código	G ¼ A (EN 837)	G ¾ A (EN 837)	G ½ A (EN 837)	¼ - 18 NPT	½ - 14 NPT	DIN 3852-E-G ¼ Junta: DIN 3869-14
Tipo de código	AB04	AB06	AB08	AC04	AC08	GB04
Par de apriete recomendado 1)	30-35 Nm	30-35 Nm	30-35 Nm	2-3 vueltas después de ser ajustado	2-3 vueltas después de ser ajustado	30-35 Nm

1) Depende de diferentes parámetros como el empaquetado, el conector, la lubricación de la rosca y el nivel de presión

**Conexiones eléctricas**

Tipo de código, página 4				
1	2	3	5	8
EN 175301-803-A, Pg 9 	Econojointa AMP serie J (macho) 	2 m de cable armado 	EN 60497-5-2 M12x1 4 pines 	Superjointa AMP Serie1.5 (macho) 
<i>Température ambiante</i>				
-40 → +85 °C	-40 → +85 °C	-30 → +85 °C	-25 → +85 °C	-40 → +85 °C
<i>Protección (Cumplimiento del grado de protección IP cuando se instala con el conector)</i>				
IP 65	IP 67	IP 67	IP 67	IP 67
<i>Materiales</i>				
Poliamida con fibra de vidrio dispersa en su interior, PA 6.6	Poliamida con fibra de vidrio dispersa en su interior, PA 6.6 <sup>1)</sup>	Termoplástico (Begum)	Latón niquelado CuZn/Ni	Poliamida con fibra de vidrio dispersa en su interior, PA 6.6 <sup>3)</sup>
<i>Conexión eléctrica, salida 4 - 20 mA (2 cables)</i>				
Pin1: + alimentación Pin 2: ÷ alimentación Pin 3: No se utiliza Terra: Conectado a la carcasa MBS	Pin 1: +alimentación Pin 2: ÷ alimentación Pin 3: No se utiliza	Hilo marrón + aliment. Hilo negro: ÷ aliment. Hilo rojo: No se utiliza Hilo naranja: No se utiliza Pantalla: Sin conectar a la carcasa MBS	Pin 1: +alimentación Pin 2: No se utiliza Pin 3: No se utiliza Pin 4: ÷ alimentación	Pin 1: + alimentación Pin 2: ÷ alimentación Pin 3: No se utiliza
<i>Conexión eléctrica, salida 0 - 5V, 1 - 5 V, 1 - 6 V, 0 - 10 V, 1 - 10 V</i>				
Pin1: + alimentación Pin 2: ÷ alimentación Pin 3: No se utiliza Terra: Conectado a la carcasa MBS	Pin 1: + alimentación Pin 2: ÷ alimentación Pin 3: Señal de salida	Hilo marrón + aliment. Hilo negro: ÷ aliment. Hilo rojo: No se utiliza Hilo naranja: No se utiliza Pantalla: Sin conectar a la carcasa MBS	Pin 1: +alimentación Pin 2: No se utiliza Pin 3: Señal de salida Pin 4: ÷ alimentación	Pin 1: + alimentación Pin 2: ÷ alimentación Pin 3: Señal de salida

<sup>1)</sup> Encufé hembra: Poliéster con fibra de vidrio dispersa en su interior, PBT

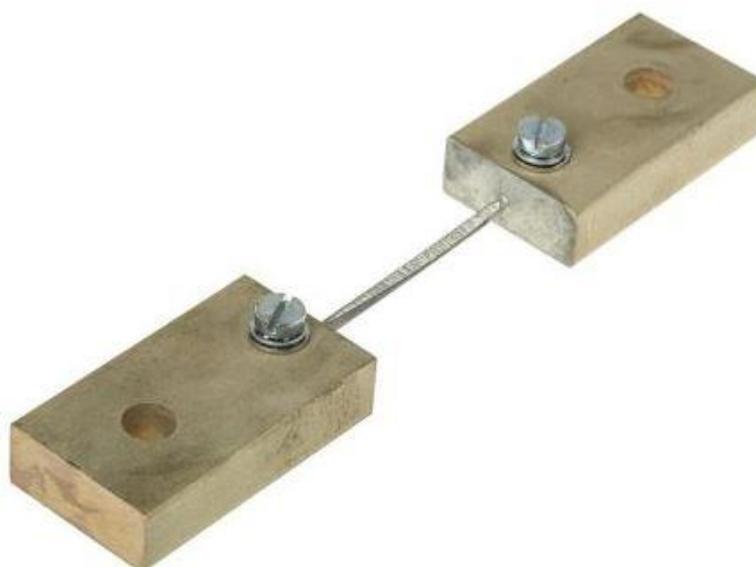
<sup>2)</sup> Hilo: PETFE (teflon)

Manguito de protección: Malla de PBT



## Derivador, HOBUT, SHB10A60, Extremos de Latón, 10 A, 60mV, $\pm 1\%$

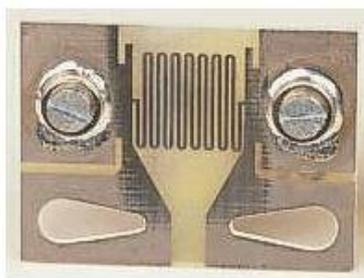
Código RS 313-902  
Fabricante HOBUT  
Nº ref. fabric. SHB10A60



Precio reducido

## Derivador, HOBUT, SHR30MA75, Placa, 30 mA, 75mV, $\pm 1,5\%$

Código RS 257-313  
Fabricante HOBUT  
Nº ref. fabric. SHR30MA75



# Derivador, HOBUT, SHR100MA75, Placa, 100 mA, 75mV, $\pm 1,5\%$

Código RS 257-329

Fabricante HOBUT

Nº ref. fabric. SHR100MA75



# EE65

## Air Velocity Transmitter for HVAC Applications

EE65 air velocity transmitters are ideal for accurate ventilation control applications. They are operating on an innovative hot film anemometer principle.

The E+E thin film sensor guarantees very good accuracy at low air velocity, which is not possible for conventional anemometers with commercial temperature sensors or NTC bead thermistors. Moreover, the E+E sensor is much more insensitive to dust and dirt than all other anemometer principles. This means high reliability and low maintenance costs.

EE65 series are available with current or voltage output, the measuring range and the response time can be selected with jumpers by the user.

Low angular dependence enables easy, cost-effective installation. An integrated LC display and a version with remote sensing probe are available.

The configuration equipment allows air velocity adjustment of the sensor.



### Typical Applications

**HVAC**  
**process and environmental control**

### Features

**low angular dependence**  
**easy installation**  
**adjustable to application requirements**

### Technical Data

#### Measuring values

Working range <sup>1)</sup>	0...10m/s (0...2000ft/min) 0...15m/s (0...3000ft/min) 0...20m/s (0...4000ft/min)	
Output <sup>1)</sup>	0 - 10 V 0...10m/s / 0...15m/s / 0...20m/s	-1 mA < I <sub>L</sub> < 1 mA R <sub>L</sub> < 450 Ω
Accuracy at 20°C (68°F), 45 % RH and 1013hPa	0.2...10m/s (40...2000ft/min) 0.2...15m/s (40...3000ft/min) 0.2...20m/s (40...4000ft/min)	± (0.2m/s / 40ft/min + 3 % of m. v.) ± (0.2m/s / 40ft/min + 3 % of m. v.) ± (0.2m/s / 40ft/min + 3 % of m. v.)
Response time τ <sub>90</sub> <sup>1) 2)</sup>	typ. 4 sec. or typ. 0.7 sec.	(at constant temperature)

#### General

Power supply	24V AC/DC ± 20 %
Current consumption for AC supply	max. 150 mA
for DC supply	max. 90 mA
Angular dependence	< 3 % of measurement at  Δα  < 10°
Cable gland	M16x1.5 cable Ø 4.5 - 10 mm (0.18 - 0.39")
Electrical connection	screw terminals max. 1.5 mm <sup>2</sup> (AWG 16)
Electromagnetic compatibility	EN61326-1 EN61326-2-3
Housing material	Polycarbonate, UL94HB approved
Protecting class	IP65, Nema 4; with LC display: IP40; remot sensor probe: IP20
Temperature range	working temperature probe -25...50°C (-13...122°F) working temperature electronic -10...50°C (14...122°F) storage temperature -30...60°C (-22...140°F)
Working range humidity	5...95 % RH (non-condensing)

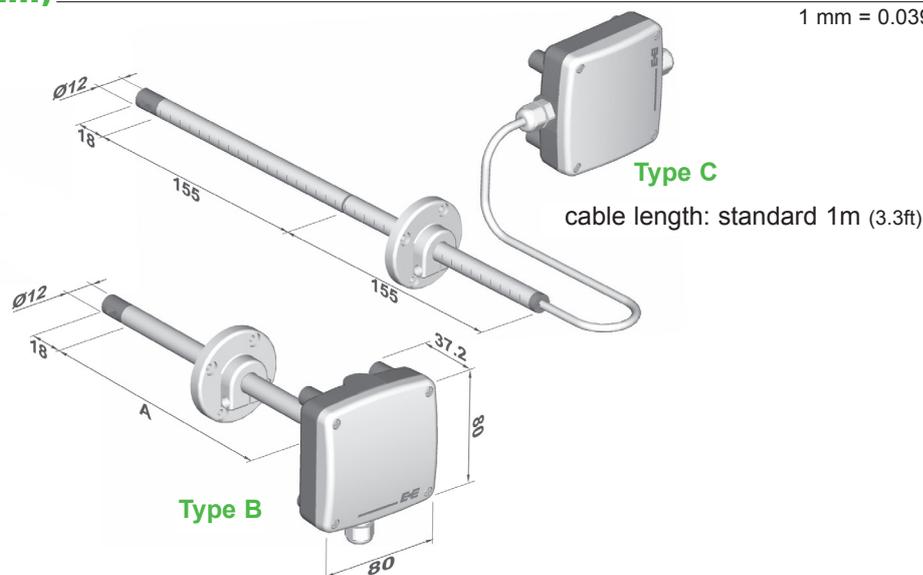
1) Selectable by jumper

2) Response time τ<sub>90</sub> is measured from the beginning of a step change of air velocity to the moment of reaching 90% of the step.

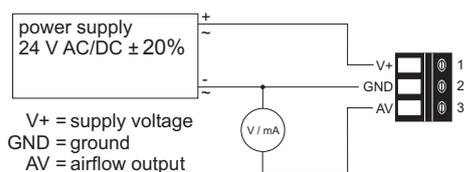


## Dimensions (mm)

1 mm = 0.03937" / 1" = 25.4 mm



## Connection Diagram



## Ordering Guide

MODEL	HOUSING	PROBE LENGTH (according to "A") (Type B only)	CABLE LENGTH (Type C only)	DISPLAY
velocity (V)	duct mounting (B)	100mm (3.9") (3)	1m (3.3ft) (no code)	without display (no code)
	remote sensor probe (C)	200mm (7.9") (5)	2m (6.6ft) (K200)	with display (D02)
		others (x)	5m (16.4ft) (K500)	
			10m (32.8ft) (K1000)	
<b>EE65-</b>				

## Order Example

**EE65-VB5-D02**  
 model: velocity  
 housing: duct mounting  
 probe length: 200mm (7.9")  
 display: with LC display

## Accessories

- Snap in - mounting flange for duct mounting (HA010205)

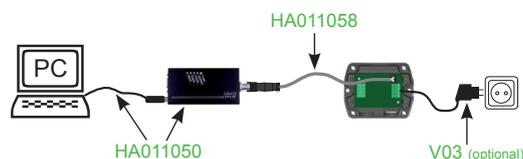
**Configuration equipment:** The configuration equipment allows air velocity adjustment of the sensor.

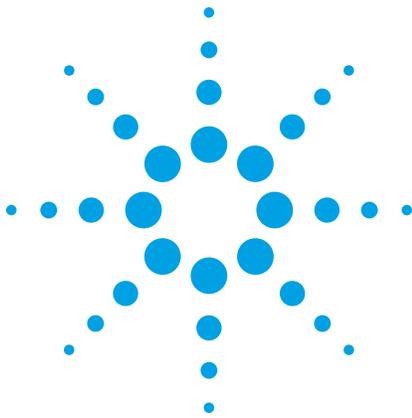
**Position 1:**  
- configuration adapter (incl. USB cable for PC) (HA011050)

**Position 2:**  
- cable for configuration adapter (HA011058)

**Position 3:**  
- configuration software: free download: [www.epluse.com/EE65](http://www.epluse.com/EE65)

**Position 4 - optional:**  
- power supply for EE65 (V03)





# Agilent 34970A Familia de unidades de adquisición de datos/ conmutación

Descripción de producto  
34970A  
34972A



**Rendimiento Agilent por una mínima parte del coste de otros sistemas de adquisición de datos independientes**

- Mainframe de 3 ranuras con multimetro digital de 6½ dígitos incorporado y 8 módulos conectables de conmutación y de control opcionales
- Mide y convierte 11 señales de entrada distintas: temperatura con termopares, RTD y termistores; tensión DC/AC; resistencia a 2 y 4 hilos; frecuencia y periodo; corriente DC/AC
- Opciones de I/O Gigabit LAN, USB, GPIB o RS-232 para facilitar la conectividad con el PC
- Interfaz gráfica web para monitorización y control mediante el ratón (34972A)
- Compatibilidad con unidades USB Flash para copiar/registrar datos en aplicaciones independientes (34972A)
- Incluye el software BenchLink Data Logger para configurar y controlar pruebas, mostrar resultados y recopilar datos para su posterior análisis



**Agilent Technologies**

# Contenido

3	Características
6	34970A/34972A: potencia y flexibilidad
7	La unidad 34970A/34972A para aplicaciones de adquisición de datos
10	Uso de la unidad 34970A/34972A para aplicaciones de equipos de prueba automatizados
11	Lista de características del equipo de prueba automatizado
12	Uso de la unidad 34970A/34972A para aplicaciones de conmutación
13	Personalice la unidad 34970A/34972A con módulos conectables
13	Guía de selección rápida de módulos
14	Calidad Agilent
15	Guía de interpretación de especificaciones
16	Especificaciones de precisión
18	Velocidad de medición de sistema
19	Especificaciones del sistema
19	Software Agilent BenchLink Data Logger incluido
20	Especificaciones de los módulos
21	Guía de selección de multiplexores (34901A, 34902A y 34908A)
23	Módulo de actuador (34903A)
23	Módulo de matriz (34904A)
24	Módulos de multiplexor de RF (34905A, 34906A)
25	Módulo multifunción (34907A)
26	Montaje en rack y dimensiones
27	Información para pedidos

# Características

## Precio y rendimiento sin competencia

Atrévase a comparar las unidades de adquisición de datos/ conmutación 34970A y 34972A de Agilent Technologies con otros de los sistemas de adquisición de datos disponibles en el mercado. Será difícil que encuentre un sistema que ofrezca el potente rendimiento de medida, la flexibilidad, las opciones de conectividad y la facilidad de uso de la unidad 34970A/34972A, incluso en sistemas que cuestan entre 3 y 5 veces más.

## ¿Qué puede esperar de un sistema de adquisición de datos con este precio? Medidas plenamente fiables

Hemos tomado el dispositivo de medida del multímetro digital de banco de trabajo más vendido y lo hemos integrado en un mainframe de 3 ranuras. Así, disfrutará del rendimiento de medida probado de Agilent, entradas universales con acondicionamiento de señal incorporado y flexibilidad modular, todo ello en un paquete de adquisición de datos compacto y económico. La unidad 34970A/34972A presenta 6½ dígitos (22 bits) de resolución, precisión de DCV básica del 0,004 % y ruido de lectura ultrabajo. Combine estas características con velocidades de barrido de hasta 250 canales/s y obtendrá la velocidad y precisión necesarias para terminar los trabajos con éxito y a la primera.

## Acondicionamiento de señal incorporado para obtener resultados a la primera

¿Necesita medir temperatura, tensión AC/DC, resistencia, frecuencia o corriente? Confíe en la unidad 34970A/34972A.

El multímetro digital con autorrango mide directamente 11 funciones distintas, sin que sea necesario realizar un costoso acondicionamiento de señal externo. Y nuestro diseño exclusivo permite una configuración por canal completa para conseguir la máxima flexibilidad y una configuración rápida y sencilla. Es como tener un multímetro digital de alto rendimiento e independiente tras cada canal.

## Conectividad estándar con el PC

Independientemente del uso de interfaces GPIB, RS-232, LAN o USB, la familia 34970A/34972A permite una conexión fácil con el PC. La unidad 34972A cuenta con interfaces Gigabit LAN y USB 2.0 incorporadas, por lo que puede conectarse a un PC moderno sin tener que adquirir tarjetas GPIB, cables o convertidores. Además, la conexión LAN estándar ofrece la ventaja adicional de una interfaz gráfica web que facilita la configuración de las medidas y la monitorización de los resultados utilizando un navegador web estándar.

## Cómodo almacenamiento de datos en unidad USB Flash

La unidad 34972A también presenta un puerto de memoria USB incorporado que permite utilizar unidades USB Flash para cargar configuraciones de BenchLink Data Logger en el 34972A y recopilar datos sin tener que conectarse a un PC. Los datos pueden registrarse directamente en la unidad USB Flash, ampliando así la memoria del instrumento, o copiarse desde la memoria interna para transferirlos a un ordenador en otro lugar.



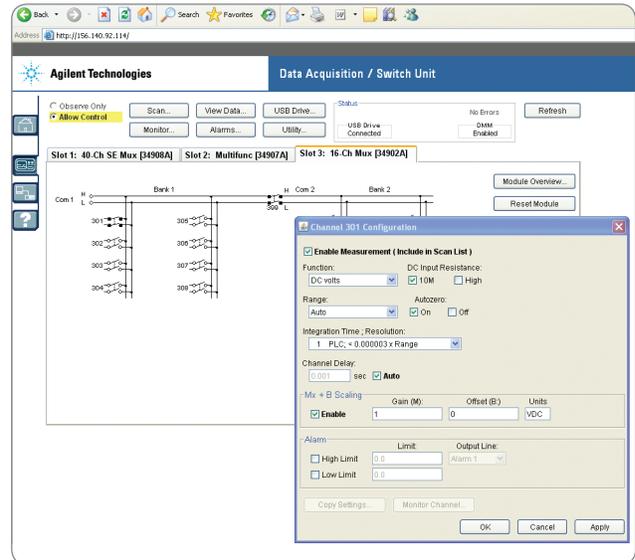
## Interfaz gráfica web fácil de usar (solo 34972A)

La interfaz gráfica web incorporada facilita el acceso y el control del instrumento utilizando un navegador web con Java, como Internet Explorer. Esta interfaz permite configurar medidas, definir y ejecutar listas de barrido, o monitorizar los resultados de medida desde cualquier lugar a través de la red. Solo tiene que introducir el nombre de host o la dirección IP en el campo URL del navegador para acceder a las funciones del instrumento, gracias al control por ratón situado en el mismo navegador.

- Especificar la configuración de medida por canal
- Definir y ejecutar exploraciones de conmutación
- Abrir, cerrar o monitorizar posiciones de conmutación
- Monitorizar lecturas de medida
- Ver y guardar datos
- Enviar comandos SCPI y ver el registro de comandos de I/O
- Ver la cola de errores
- Ver información del instrumento, como la configuración de módulos, recuentos de relé, revisiones de firmware y mucho más

Además, como la interfaz web está incorporada en el instrumento, puede acceder desde cualquier sistema operativo que admita navegadores web sin tener que instalar ningún software específico.

Para restringir el acceso, la unidad también dispone de protección por contraseña y bloqueo de LAN. La interfaz gráfica web facilita la configuración de medidas, configuración y ejecución de barridos o la solución de problemas en los diseños desde cualquier lugar a través de la red.

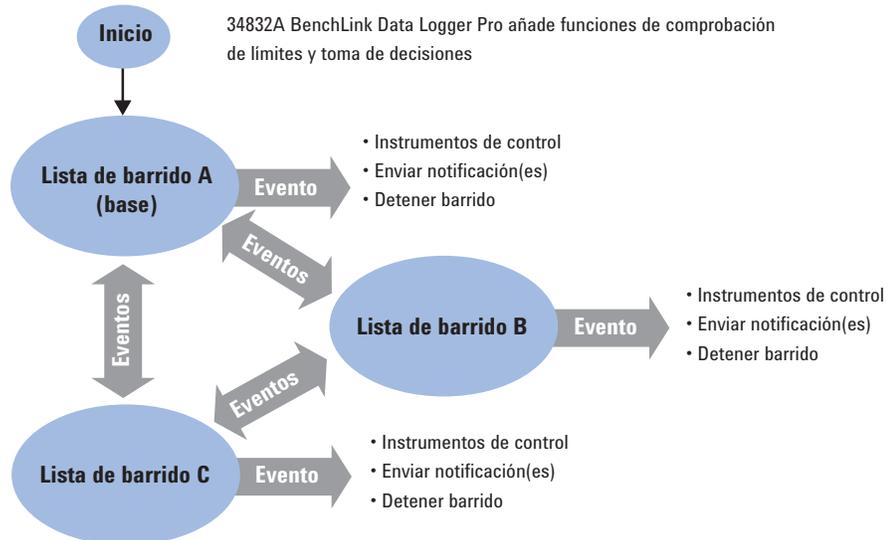


## Con el software gratuito BenchLink Data Logger ahorrará tiempo y dinero

Ya no es necesario perder tiempo escribiendo o configurando software. El software Agilent BenchLink Data Logger 3 le permite configurar pruebas y visualizar y analizar datos en tiempo real con la conocida interfaz de Microsoft® Windows®. Aún más, la aplicación de registro de datos está incluida en cada unidad estándar 34970A/34972A de Agilent.

### También disponible

El software BenchLink Data Logger Pro añade funciones de comprobación de límites y toma de decisiones para las aplicaciones más complejas. Solo tiene que identificar las medidas que desee adquirir, definir los límites y las acciones que se llevarán a cabo, e iniciar el proceso. Sus datos serán recopilados, evaluados y desencadenarán la acción correspondiente en tiempo real.



## Facilidad de uso máxima

Desde la configuración simplificada hasta la interfaz gráfica web de la 34972A, hemos hecho todo lo posible por facilitarle el trabajo. Una serie de sencillas mejoras, como conectores de terminal atornillado en los módulos, uniones de referencia de termopar incorporadas, una documentación de usuario bien organizada con multitud de ejemplos y consejos, y un kit Primeros pasos que le permitirá realizar medidas en cuestión de minutos, se combinan para aumentar la productividad, independientemente de la frecuencia con que use el instrumento.

## Configuraciones personalizadas que crecen a su ritmo

3 ranuras para módulos y 8 módulos de conmutación/control permiten personalizar la unidad 34970A/34972A en respuesta a sus demandas específicas. Solo tendrá que adquirir lo que necesite y agregar módulos a medida que crezca su aplicación.

## Compatibilidad entre 34970A y 34972A

La unidad de adquisición de datos/conmutación LXI 34972A es la versión LXI de la unidad 34970A. Sustituye a las interfaces GPIB y RS-232 con una conectividad moderna directamente al PC o al ordenador portátil.

Los 8 módulos conectables pueden utilizarse con cualquiera de las dos unidades, de forma que todas las medidas y cableados son compatibles. La unidad 34972A puede integrarse fácilmente en programas de pruebas existentes con solo cambiar la dirección del instrumento. Como el código del 34972A es un superconjunto del código de la unidad 34970A, una vez se cambie la dirección del instrumento, el programa de pruebas se ejecutará normalmente.

Ejemplo:

Cambiar:

```
Set inst1.IO = ioMgr.Open("GPIB0::9::INSTR")
```

A:

```
Set inst1.IO = ioMgr.Open("TCPIP0::156.140.77.230::inst0::INSTR")
```

	34970A	34972A
8 módulos disponibles	•	•
Drivers para LabView	•	•
Drivers IVI-C, IVI-COM	•	•
BenchLink Data Logger	•	•
BenchLink Data Logger Pro opcional	•	•
Interfaz gráfica web		•
Gigabit LAN		•
USB 2.0		•
Puerto de memoria USB		•
GPIB	•	
RS-232	•	

# Más potencia y flexibilidad de la que nunca haya podido imaginar

El multímetro digital interno de 6½ dígitos (22 bits) mide 11 funciones sin acondicionamiento externo de la señal

Intuitivo panel frontal con menús de autogüía y orientados a tareas

La memoria no volátil de 50 000 lecturas conserva los datos cuando no hay energía

Modo de monitorización para supervisar las pruebas en marcha

Función de escalado para convertir datos brutos en las unidades definidas por el usuario

Límites de alarma HI/LO en cada canal de entrada más 4 salidas de alarma TTL

Reloj en tiempo real con batería para marcar los barridos y la información temporal de las medidas



## 34972A



- Hasta 96 puntos de cruce de matriz o 120 canales single-ended
- Ocho módulos conectables de conmutación y de control a elegir
- Agilent BenchLink Data Logger 3, drivers IVI-CC, IVI-COM y drivers para Agilent VEE y NI LabView incluidos

USB

Puerto de memoria USB para registrar/transferir datos a una unidad USB Flash

Puertos LAN y USB incorporados para conexión inmediata a un PC

## 34970A

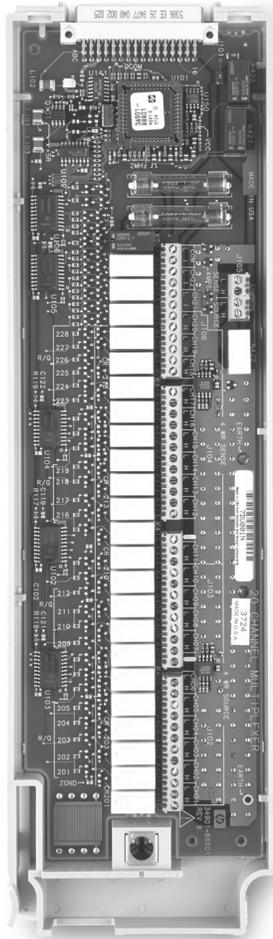


GPIB

Interfaces GPIB y RS-232 incorporadas en 34970A

# La unidad 34970A/34972A de Agilent ofrece una versatilidad sin precedentes para aplicaciones de adquisición de datos

En el pasado, había que elegir: por un lado, podíamos disfrutar del funcionamiento sencillo y el bajo coste de un registrador de datos; por otro lado, estaba la flexibilidad y el alto rendimiento de los sistemas de adquisición de datos modulares. Con la unidad de adquisición de datos/conmutación 34970A/34972A de Agilent ya no tiene que elegir: dispondrá de una interfaz de usuario sencilla con un coste por canal mínimo, flexibilidad modular, conectividad estándar y un rendimiento de medida impresionante.



¿Es ingeniero de I+D y necesita caracterizar su último diseño? ¿O un ingeniero de fabricación y quiere construir un sistema de pruebas o solucionar los problemas de un proceso? La unidad de adquisición de datos/conmutación 34970A/34972A ofrece la mejor relación precio-rendimiento de medida.

## Un registrador de datos

Configurada con un multiplexor de relé de 20 canales, la unidad 34970A/34972A se convierte en un potente y económico registrador de datos para aplicaciones de caracterización simples. Aún más, las interfaces LAN y USB de la unidad 34972A hacen que resulte ideal para configurar y controlar aplicaciones de registro de datos en ubicaciones remotas. Para más información sobre el uso de la unidad 34970A/34972A para aplicaciones de registro de datos, consulte la página 8.

## Una entrada de adquisición de datos

La unidad 34970A/34972A constituye un sistema de prueba automatizado con un excelente rendimiento de medida, con la precisión, resolución y velocidad necesarias. Para obtener información de aplicación, consulte la página 10.

## Un sistema de conmutación

Solicite el mainframe sin el multímetro digital interno y tendrá una solución de enrutamiento de señales de alta calidad a un precio aún menor. Para más información, consulte la página 12.

## Un registrador de datos fácil de usar para aplicaciones de monitorización y caracterización

Los registradores de datos se utilizan para monitorizar múltiples señales (temperatura, tensión, etc.) durante largos periodos de tiempo para identificar irregularidades. Las aplicaciones de ejemplo incluyen la monitorización de cámaras climáticas, inspección de componentes, pruebas para banco de trabajo, solución de problemas en procesos y realización de perfiles de temperatura.

La unidad 34970A/34972A de Agilent resulta fácil de usar en multitud de aplicaciones de registro de datos y monitorización, ya sea de forma independiente o con un ordenador. Su diseño flexible y modular le permite utilizar de 20 a 120 canales, pudiendo agregarse canales de actuador, I/O digitales y salida analógica para simplificar el control. Su tamaño compacto, sus

robustas características y el puerto de memoria USB de la unidad 34972A hacen que resulte perfecta para aplicaciones portátiles. También puede utilizar las interfaces GPIB (IEEE 488) o RS-232 de la unidad 34970A para sistemas heredados o la unidad 34972A con interfaces LAN y USB estándar para simplificar la conexión sencilla a un PC y dar soporte a aplicaciones remotas. El modelo 34972A puede configurarse en ubicaciones remotas para acceder a él a través de la interfaz web en una conexión de red o a través de su puerto USB, copiando las configuraciones de instrumento y los resultados de los datos de medida en una unidad USB Flash.

## Medidas mejores con menos esfuerzo

¿Está cansado de los rendimientos de medida mediocres que ofrece la mayoría de registradores de datos y paneles de adquisición de datos conectables? La unidad 34970A/34972A ofrece 6½ dígitos de resolución y precisión de DCV básica a un año del 0,004 %.

## Simplifique la recopilación de datos con el software Agilent BenchLink Data Logger 3

¿Necesita funciones de registro de datos basadas en PC pero no quiere invertir horas en programación? El software BenchLink Data Logger 3 es la respuesta. Esta aplicación basada en Windows está diseñada para recopilar y analizar medidas en el PC en un momento. Puede utilizarla para configurar las pruebas, adquirir y archivar datos de medida, y realizar visualizaciones y análisis en tiempo real de las medidas entrantes.

Un entorno de hojas de cálculo muy familiar facilita la configuración y el control de las pruebas. Y un amplio conjunto de gráficos a todo color ofrece distintas opciones para analizar y mostrar los datos, todo con una gran facilidad de manejo con el ratón. Configure distintos gráficos: de banda continua, histogramas, de barras o de dispersión, resultados individuales por canal y mucho más. Además, como es lógico, puede utilizar BenchLink Data Logger 3 para trasladar fácilmente datos a otras aplicaciones para su posterior análisis o para incluirlos en sus presentaciones e informes.

El software BenchLink Data Logger puede ejecutarse conectado al ordenador, de forma independiente en el instrumento o incluso en red, utilizando la interfaz LAN de la unidad 34972A.

Channel	Name	Scan	Monitor	Function	Range	Res.	Addr.	Scale	Scan	Offset	Label	Test	High	Low	Shutdown
101 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	100V	4.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
102 Channel	Enter Name	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Frequency	100V	4.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
103 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
104 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
105 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
106 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
107 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
108 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
109 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
110 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
111 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
112 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
113 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
114 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
115 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
116 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
117 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
118 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
119 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Vrms	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 VDC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
120 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Current	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 ADC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
121 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Current	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 ADC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select
122 Channel	Enter Name	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DC Current	Auto	5.5	Select	<input type="checkbox"/>	1	0 ADC	Off	<input type="checkbox"/>	0	0	Select



Y la 34970A/34972A mide y convierte 11 señales de entrada distintas:

- Temperatura con termopares, RTD y termistores
- Tension DC y AC
- Resistencia a 2 y 4 hilos
- Frecuencia y periodo
- Corriente DC y AC

Además, cada canal se configura de forma independiente. Esto significa que puede configurar el canal 1 para DCV, el canal 2 para un termopar de tipo K y los canales 3 y 13 para la medida RTD a 4 hilos, todo en el mismo módulo y en un único barrido. Para conversiones lineales personalizadas, utilice la función de escalado  $Mx + B$  en cualquier canal. Incluso puede visualizarse una etiqueta personalizada de 3 caracteres, como RPM o PSI, para identificar sus unidades de medida.

## Alarmas versátiles

Las alarmas también están disponibles por cada canal. Introduzca un límite alto, un límite bajo o ambos. La unidad 34970A/34972A compara cada lectura con sus límites e identifica las medidas fuera de rango. Puede asignar una de las 4 salidas de alarma TTL a cualquier canal de entrada para disparar luces de alarma externas, sirenas o para enviar un pulso TTL al sistema de control, todo ello sin necesidad de tener un PC conectado.

## Barridos más simples

La unidad 34970A/34972A genera automáticamente una lista de barrido que incluye todas las entradas configuradas (incluyendo las entradas digitales del módulo multifunción 34907A de Agilent) en orden ascendente según el número de canal. Puede definir el ritmo de los barridos ajustando el temporizador interno de la unidad 34970A/34972A para que realice un barrido automático a intervalos regulares, pulsando manualmente un botón del panel frontal o enviando un comando de software o un pulso de disparo TTL externo.

## Monitoree cualquier entrada

Un modo de visualización especial monitoriza un canal de entrada seleccionado, actualizando continuamente la pantalla con nuevas lecturas, incluso durante un barrido. O bien, si se utiliza la unidad 34972A con LAN incorporada, los canales se pueden monitorizar en red usando la interfaz gráfica web. Resulta ideal para vigilar una entrada clave o para solucionar problemas en el sistema antes de una prueba.

## La memoria no volátil y la unidad USB Flash añaden portabilidad y comodidad

Todas las lecturas se registran con información temporal automáticamente y se almacenan en una memoria no volátil de 50 000 lecturas: suficiente para guardar los datos de más de una semana de trabajo (20 canales explorados cada 5 minutos). La memoria no volátil conserva los datos incluso tras cortar la alimentación, por lo que puede usar la unidad 34970A/34972A para recopilar datos en una ubicación remota y luego cargarlos en un PC. Y si necesita aún más memoria, el puerto USB de la unidad 34972A puede utilizarse para registrar los datos directamente en una unidad USB Flash o copiarlos desde la memoria de lectura sin tener que conectar un ordenador.

### Lista de características del registro de datos

- De 1 a 120 canales de entrada analógica
- Medidas de tensiones DC y AC, de temperatura con termopar, RTD y termistor, resistencia a 2 y 4 hilos, corriente DC y AC, frecuencia y periodo
- 6½ dígitos (22 bits) de resolución con precisión de DCV básica a un año del 0,004 %
- 50 000 lecturas de memoria no volátil, incluido registro en función del tiempo
- Escala y alarmas disponibles en cada canal
- Panel frontal con todas las funciones para una configuración independiente, solución de problemas y visualización de datos
- Software BenchLink Data Logger 3 para configuración y análisis de datos
- Almacenamiento no volátil para 5 estados de instrumentos completos
- Interfaces LAN o USB incorporadas para dar soporte a las aplicaciones de registro de datos remoto (solo 34972A)

## Un sistema de adquisición de datos potente y flexible para pruebas automatizadas

La unidad 34970A/34972A le ofrece la resolución, precisión, repetibilidad y velocidad que pueden esperarse de un sistema de adquisición de datos Agilent. Proporciona la potencia de medida que usted necesita, además de enrutamiento de señales y capacidad de control, en un formato flexible y modular que puede crecer y adaptarse a sus distintas aplicaciones.

### Medidas con potencia

El multímetro digital interno de 6½ dígitos aporta a la unidad 34970A/34972A la potencia y rendimiento de un multímetro digital independiente de alto rendimiento, pero con un coste mucho menor y en mucho menos espacio. Resulta tan preciso como el mejor multímetro digital de banco de trabajo del mercado: precisión de DCV básica a un año del 0,004 %, precisión de ACV básica a un año del 0,06 % y precisión de resistencia básica a un año del 0,01 %. Nuestra tecnología A/D patentada Multi-slope III ofrece una linealidad increíble (2 ppm de lectura +1 ppm de rango) junto con 22 bits de resolución real. Y gracias a la integración de A/D, también ofrece un excelente rechazo del ruido, toda una ventaja frente a los ruidosos módulos conectables para PC y A/D's de muestreo. Olvidese de tener que promediar grupos de muestras para localizar los datos reales deseados. Y si necesita altas velocidades de barrido, la unidad 34970A/34972A es capaz de ofrecer medidas totalmente convertidas a velocidades de hasta 250 canales/s.

La sección de entrada del multímetro digital está aislada ópticamente y protegida de la circuitería con referencia tierra y de la interfaz de ordenador de la unidad 34970A/34972A, con un máximo de 300 V de aislamiento de entrada. Esto es importante a la hora de reducir los errores de tensión de modo común y de tierra debidos a largos tendidos de cable y fuentes de medida flotantes.

## Funcionalidad flexible

El multímetro digital está instalado dentro del chasis, en lugar de situarse en una de las ranuras, dejando las 3 ranuras del mainframe libres para módulos de conmutación y de control. Puede elegir entre 8 módulos distintos (consulte la página 13) para conseguir la precisión de funcionalidad necesaria y la flexibilidad deseada para futuras expansiones.

La versatilidad del multímetro digital interno le permite medir 11 tipos de entradas de forma sencilla y económica. Las tareas de conversión y acondicionamiento de señal incorporadas convierten los datos brutos directamente en información real. Cada canal de medida se puede configurar de forma independiente, por lo que se pueden establecer distintas funciones de medida, factores de escala y límites de alarma, incluso en canales adyacentes. También pueden seleccionarse para cada canal funciones de medida avanzadas, como compensación de offset, tiempo de integración variable y retardo.

### Consiga mejores medidas con el acondicionamiento de señal incorporado

La arquitectura de la unidad 34970A/34972A de Agilent ofrece ventajas frente a otras soluciones de adquisición de datos que requieren módulos externos o conectables de acondicionamiento de señal para gestionar funciones distintas de DCV:

- Minimiza el cableado externo y, en consecuencia, el potencial de entrada de ruido y errores en el sistema.
- Reduce los costes ocultos y el coste general del sistema al evitar cables innecesarios, equipos de diagnóstico y elementos de acondicionamiento de señal.
- Simplifica la configuración, agilizándola y simplificándola con menos conexiones y componentes.
- Elimina la necesidad de conjeturas en los análisis de error. La precisión de las medidas puede especificarse para que incluya todos los errores relativos al sistema.
- Mejora la fiabilidad, con menos interconexiones y menos piezas que puedan fallar.

## Drivers

Saque el máximo partido al tiempo de desarrollo de software para sistemas de pruebas. La unidad 34970A/34972A dispone de drivers compatibles con C, C#, Visual Basic, Visual Studio, Agilent VEE y National Instruments LabView® para facilitar la integración en su sistema de pruebas. Las interfaces estándar RS-232 y GPIB de la unidad 34970A, o LAN y USB de la 34972A, así como el lenguaje de programación SCPI, facilitan aún más esta integración.

## Lista de características del equipo de prueba automatizado

- Mainframe de tarjetas con 3 ranuras y multímetro digital interno de 6½ dígitos (22 bits)
- Precisión de DCV básica a un año del 0,004 %; precisión de ACV del 0,06%
- Hasta 120 medidas unipolares o 96 puntos de cruce de matriz en un instrumento de media anchura de rack de 3½" de altura
- Ocho módulos de conmutación y de control incluyen multiplexores de radiofrecuencia y baja frecuencia, conmutadores matriciales y de actuación, entrada y salida digital, salida analógica y registro de eventos
- Velocidades de barrido de hasta 250 canales/s
- Interfaces GPIB y RS-232 de 115 kbaudios estándar (34970A)
- Interfaz gráfica web para acelerar el desarrollo de pruebas y monitorizar pruebas de forma remota (34972A)
- Drivers disponibles para dar soporte a Agilent VEE y National Instruments LabView
- Función de mantenimiento de relé para el mantenimiento del sistema



Sistema compacto de adquisición de datos de 60 canales

## Conmutación de alta calidad y bajo coste para pruebas automatizadas

Si no necesita las capacidades de medida incorporadas de la unidad 34970A/34972A, ahorre costes solicitándola sin el multímetro digital. Así conseguirá la unidad de conmutación más económica del mercado. Es la solución ideal para enrutar señales de prueba desde y hacia el dispositivo sometido a prueba (DUT) y determinados instrumentos, como multímetros digitales externos, osciloscopios, contadores y fuentes de alimentación. Además, si sus necesidades cambian, puede agregar el multímetro digital después.

## La funcionalidad que necesita

Hemos invertido mucho tiempo en definir y diseñar los módulos de la unidad 34970A/34972A para abarcar una amplia gama de necesidades de conmutación y enrutamiento de señales con el menor número de módulos posible. ¿El resultado? Pedidos simplificados y una configuración más sencilla. Y, al mismo tiempo, conseguimos mejorar el rendimiento y la densidad. Los módulos de la unidad 34970A/34972A pueden conmutar de microvoltios a 300 voltios, de DC a 2 GHz, y con densidades de hasta 120 canales single-ended o 96 puntos de cruce de matriz por unidad. Además, también existen funciones de control simples, como salidas analógicas, salidas digitales de colector abierto y relés de forma C aislados para controlar dispositivos de potencia superior.



*Sistema de conmutación de bajo coste para pruebas automatizadas*

## Barrido sencillo

La unidad 34970A/34972A puede realizar barridos de forma sencilla con instrumentos externos. Genera una lista de barrido que incluye todas las entradas de multiplexor de baja frecuencia habilitadas. Los barridos se controlan con la entrada externa de "avance de canal" o con la tecla "Step" del panel frontal.

## Conexión a la red de la empresa

La interfaz LAN de la unidad 34972A permite conectar fácilmente el instrumento a la red de la empresa para recopilar datos de medida en una base de datos central, acceder remotamente a la configuración del instrumento o monitorizar los datos de medida desde cualquier punto de la red.

## Personalice su 34970A/34972A de Agilent con módulos conectables

Una completa selección de módulos conectables le permite elegir entre distintas funciones de medida, conmutación y control de alta calidad. Los módulos incluyen multiplexores de RF y baja frecuencia, un conmutador matricial, un conmutador de uso general y un módulo multifunción que incluye entrada/salida digital, salida analógica y funciones de totalizador. Puede combinar los módulos a voluntad para obtener la funcionalidad precisa que necesita y luego cambiar o agregar más canales a medida que crezca la aplicación.

Los módulos para la unidad 34970A/34972A están diseñados para que las pruebas resulten más sencillas, rápidas y fiables. ¿Cómo? Así:

### Mayor producción

Nuestra arquitectura exclusiva incorpora un microprocesador de altas prestaciones en cada módulo, aligerando así la carga del procesador del mainframe y minimizando las comunicaciones de conexión para agilizar la producción.

## Más canales en menos espacio

La construcción de montaje en superficie y el diseño altamente integrado minimizan el espacio necesario para los circuitos de interfaces y controladores de relé. Los conectores de los módulos de alta densidad ahorran el espacio de conexión y en las placas que normalmente necesita un bloque de terminales. Utilizamos la tecnología más avanzada para sacar el máximo partido al espacio en placa disponible, ofreciéndole hasta 40 canales single-ended en aproximadamente el mismo espacio utilizado por muchos bloques de terminales de sistemas de adquisición de datos.

### Conexiones cómodas

Los conectores de terminal atornillado en los módulos facilitan el cableado. El enrutamiento de cables con alivio de tracción incorporado y los puntos de sujeción aseguran el cableado contra tirones accidentales. Un bus analógico interno enruta las señales desde cualquiera de los multiplexores de baja frecuencia directamente al multímetro digital interno, sin necesidad de conexiones externas.

Utilice la siguiente tabla para localizar los módulos que responden a sus necesidades.

## Guía de selección rápida de módulos para las unidades 34970A y 34972A de Agilent

Descripción del modelo	Tipo	Velocidad (canales/s)	Tensión máx.	Intensidad máx.	Ancho de banda	Desviación térmica	Comentarios	Página
<b>34901A</b> Multiplexor de 20 canales + 2 canales de corriente	Armadura a 2 hilos (seleccionable 4 hilos)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 $\mu$ V	Unión fría de referencia incorporada con 2 canales de corriente adicionales (22 en total)	21
<b>34902A</b> Multiplexor de 16 canales	Lengüeta a 2 hilos (seleccionable 4 hilos)	250 <sup>[1]</sup>	300 V	50 mA	10 MHz	< 6 $\mu$ V	Unión fría de referencia incorporada	21
<b>34903A</b> Actuador/ conmutador para uso general de 20 canales	SPDT/Forma C	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 $\mu$ V		23
<b>34904A</b> Matriz 4 x 8	Armadura a 2 hilos	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 $\mu$ V		23
<b>34905A</b> Multiplexor de RF dual de 4 canales y 50 $\Omega$	Común bajo (no terminado)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 $\mu$ V	1 GHz de ancho de banda mediante un cable adaptador de BNC a SMB	24
<b>34906A</b> Multiplexor de RF dual de 4 canales y 75 $\Omega$	Común bajo (no terminado)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 $\mu$ V	1 GHz de ancho de banda mediante un cable adaptador de BNC a SMB	24
<b>34907A</b> Módulo multifunción	2 puertos I/O digitales de 8 bits		42 V	400 mA			Drenaje abierto	25
	Contador de eventos de 26 bits		42 V		100 KHz		Umbral de entrada seleccionable	
	2 salidas analógicas de 16 bits		$\pm$ 12 V	10 mA	DC		Salida total máx. de 40 mA por unidad	
<b>34908A</b> Multiplexor single-ended de 40 canales	Armadura a un hilo (común bajo)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 $\mu$ V	Unión fría de referencia incorporada Sin medidas a 4 hilos	21

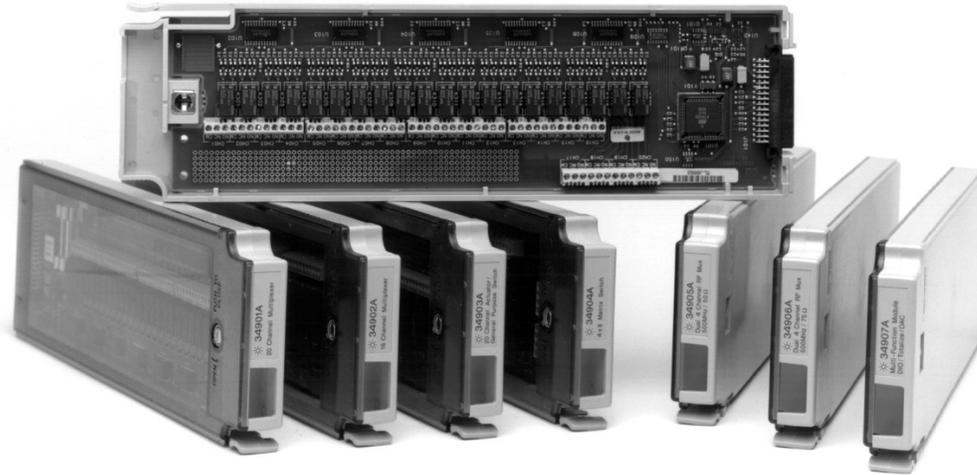
[1] Hasta 250 canales/s a la memoria interna. Consulte las velocidades de barrido para conocer las condiciones y velocidades de medida de cada instrumento.

## Calidad Agilent

Sabemos que usted no puede permitirse tiempos de inactividad por fallos de hardware y mantenimiento no programado en el instrumento. Por eso, nuestros ingenieros diseñaron la 34970A/34972A con la fiabilidad en mente: una carcasa robusta, moderna construcción de montaje total en superficie, cantidad de piezas reducida y comprobación rigurosa y exhaustiva de todos los aspectos del producto.

## Un mantenimiento de relés sin conjeturas

La 34970A/34972A utiliza nuestro sistema propio de mantenimiento de relés para ayudarle a predecir el fin del ciclo de vida de los relés y evitar costosos tiempos de inactividad en la línea de producción. Cuenta automáticamente cada cierre de conmutación individual y lo guarda en la memoria no volátil de cada módulo. Puede consultar el número total de ciclos en cada canal para poder programar el mantenimiento y evitar fallos erráticos por desgaste.



## Guía de interpretación de especificaciones

En las siguientes páginas se enumeran las especificaciones técnicas de la unidad de adquisición de datos/conmutación 34970A/34972A de Agilent y sus módulos. Las explicaciones y ejemplos siguientes resultan útiles para saber interpretar estas especificaciones:

- La precisión de medida se especifica en forma de porcentaje de lectura más porcentaje de rango, donde la lectura será el valor de medida real y el rango será el nombre de la escala (1 V, 10 V, etc.), no el valor máximo en esa escala (1,2 V, 12 V, etc.).
- Las precisiones de medida del multímetro digital incluyen todos los errores de conmutación. Los errores de conmutación también se enumeran por separado en la sección de especificaciones de los módulos. Las precisiones de medida de temperatura incluyen errores de conversión ITS-90. Las precisiones de termopar incluyen también el error de unión de referencia.
- Las precisiones se enumeran en especificaciones a 24 horas, 90 días o un año. Esto se refiere al periodo de tiempo desde la última calibración del instrumento. Utilice la especificación que coincida con su ciclo de calibración. Las especificaciones de 24 horas resultan útiles para determinar el rendimiento relativo a corto plazo.

### Ejemplo 1: precisión de DCV básica

Cálculo de la precisión de la siguiente medida:

9 V DC de entrada  
10 V DC de rango  
Especificaciones de precisión a un año  
Temperatura de funcionamiento normal (18 a 28 °C)

En la página siguiente, la precisión a un año es: 0,0035 % de lectura + 0,0005 % de rango

Lo que se traduce en:  
 $(0,0035/100 \times 9 \text{ V}) +$   
 $(0,0005/100 \times 10 \text{ V}) = 365 \mu\text{V}$

Para una precisión total de:  
 **$365 \mu\text{V} / 9 \text{ V} = 0,0041 \%$**

### Ejemplo 2: temperatura de funcionamiento extrema

Si la 34970A/34972A se utiliza fuera de su rango de temperatura de entre 18 y 28 °C, deben considerarse errores adicionales de variación de temperatura. Partiremos de las mismas condiciones del ejemplo 1, pero a una temperatura de funcionamiento de 35 °C.

Una vez más, la precisión básica es:  
 $0,0035 \%$  de lectura +  $0,0005 \%$  de rango =  $365 \mu\text{V}$ .

Ahora, multiplicamos el coeficiente de temperatura de 10 V (en la página siguiente) por el número de grados fuera del rango operativo para añadir el error adicional:  
 $(0,0005 \%$  de lectura +  $0,0001 \%$  de rango) / °C  $\times (35 \text{ °C} - 28 \text{ °C}) =$   
 $(0,0005 \%$  de lectura +  $0,0001 \%$  de rango) / °C  $\times 7 \text{ °C} =$   
 $0,0035 \%$  de lectura +  $0,0007 \%$  de rango =  $385 \mu\text{V}$

Así, el error total es:

**$365 \mu\text{V} + 385 \mu\text{V} = 750 \mu\text{V}$  o  $0,008 \%$**

### Ejemplo 3: precisión de medida de termopar

Calcular el error de lectura de termopar total es fácil con la unidad 34970A/34972A: solo hay que añadir la precisión de medida de la lista a la precisión de su transductor. Los errores de conmutación, conversión y unión de referencia ya están incluidos en la especificación de medida.

Para este ejemplo, partiremos de la base de una lectura de entrada de termopar de tipo J de 150 °C.

En la página siguiente, el error total es:

Precisión de la sonda de termopar +  $1,0 \text{ °C}$

El fabricante de la sonda especifica una precisión de  $1,1 \text{ °C}$  o  $0,4 \%$ , lo que sea mayor.

Así, el error total es:

**$1,0 \text{ °C} + 1,1 \text{ °C} = \text{total de } 2,1 \text{ °C}$ , o el  $1,4 \%$**

### Ejemplo 4: precisión de ACV

La función de ACV mide el valor de RMS real de la forma de onda de entrada, independientemente de la forma de la onda. Las precisiones enumeradas presuponen una entrada de onda sinusoidal. Para ajustar las precisiones de ondas no sinusoidales, utilice el sumador de factor de cresta de la lista.

Para este ejemplo, asumiremos una entrada de ondas cuadradas de  $\pm 1 \text{ V}$  con un ciclo de trabajo del 50 % y una frecuencia de 1 kHz.

La precisión para una senoide de 1 V y 1 kHz es:

$0,06 \%$  de lectura +  $0,04 \%$  de rango

Una onda cuadrada de ciclo de trabajo del 50 % tiene un factor de cresta de

$\text{Valor pico} / \text{valor RMS} = 1 \text{ V} / 1 \text{ V} = 1$

Tomando como referencia la tabla de factores de cresta, añadimos:

$0,05 \%$  de lectura

La precisión total es:

**$0,11 \%$  de lectura +  $0,04 \%$  de rango =  $1,5 \text{ mV}$  o  $0,15 \%$**

## Especificaciones de precisión del 34970A/34972A ± (% de lectura + % de rango)<sup>[1]</sup>

Incluye error de medida, error de conmutación y error de conversión del transductor

Rango <sup>[3]</sup>		Frecuencia, etc.	24 horas <sup>[2]</sup> 23 °C ±1 °C	90 días 23 °C ±5 °C	Un año 23 °C ±5 °C	Coefficiente de temperatura 0 °C–18 °C, 28 °C–55 °C
<b>Tensión DC</b>						
100,0000 mV			0,0030 + 0,0035	0,0040 + 0,0040	0,0050 + 0,0040	0,0005 + 0,0005
1,000000 V			0,0020 + 0,0006	0,0030 + 0,0007	0,0040 + 0,0007	0,0005 + 0,0001
10,00000 V			0,0015 + 0,0004	0,0020 + 0,0005	0,0035 + 0,0005	0,0005 + 0,0001
100,0000 V			0,0020 + 0,0006	0,0035 + 0,0006	0,0045 + 0,0006	0,0005 + 0,0001
300,000 V			0,0020 + 0,0020	0,0035 + 0,0030	0,0045 + 0,0030	0,0005 + 0,0003
<b>RMS reales de tensión AC <sup>[4]</sup></b>						
Todos los rangos a partir de 100,0000 mV a 100,0000 V		3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,03	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	0,100 + 0,004
		5 Hz-10 Hz	0,35 + 0,03	0,35 + 0,04	0,35 + 0,04	0,035 + 0,004
		10 Hz-20 kHz	0,04 + 0,03	0,05 + 0,04	0,06 + 0,04	0,005 + 0,004
		20 kHz-50 kHz	0,10 + 0,05	0,11 + 0,05	0,12 + 0,05	0,011 + 0,005
		50 kHz-100 kHz	0,55 + 0,08	0,60 + 0,08	0,60 + 0,08	0,060 + 0,008
		100 kHz–300 kHz <sup>[5]</sup>	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	0,20 + 0,02
300,0000 V		3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,05	1,00 + 0,08	1,00 + 0,08	0,100 + 0,008
		5 Hz-10 Hz	0,35 + 0,05	0,35 + 0,08	0,35 + 0,08	0,035 + 0,008
		10 Hz-20 kHz	0,04 + 0,05	0,05 + 0,08	0,06 + 0,08	0,005 + 0,008
		20 kHz-50 kHz	0,10 + 0,10	0,11 + 0,12	0,12 + 0,12	0,011 + 0,012
		50 kHz-100 kHz	0,55 + 0,20	0,60 + 0,20	0,60 + 0,20	0,060 + 0,020
		100 kHz–300 kHz <sup>[5]</sup>	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	0,20 + 0,05
<b>Resistencia <sup>[6]</sup></b>						
100,0000 Ω		Fuente de corriente de 1 mA	0,0030 + 0,0035	0,008 + 0,004	0,010 + 0,004	0,0006 + 0,0005
1,000000 kΩ		1 mA	0,0020 + 0,0006	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001
10,00000 kΩ		100 μA	0,0020 + 0,0005	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001
100,0000 kΩ		10 μA	0,0020 + 0,0005	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001
1,000000 MΩ		5,0 μA	0,002 + 0,001	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0010 + 0,0002
10,00000 MΩ		500 nA	0,015 + 0,001	0,020 + 0,001	0,040 + 0,001	0,0030 + 0,0004
100,0000 MΩ		500 nA    10 MΩ	0,300 + 0,010	0,800 + 0,010	0,800 + 0,010	0,1500 + 0,0002
<b>Frecuencia y periodo <sup>[7]</sup></b>						
100 mV a 300 V		3 Hz-5 Hz	0,10	0,10	0,10	0,005
		5 Hz-10 Hz	0,05	0,05	0,05	0,005
		10 Hz-40 Hz	0,03	0,03	0,03	0,001
		40 Hz-300 kHz	0,006	0,01	0,01	0,001
<b>Corriente DC (solo 34901A)</b>						
10,00000 mA		< 0,1 V de carga	0,005 + 0,010	0,030 + 0,020	0,050 + 0,020	0,002 + 0,0020
100,0000 mA		< 0,6 V	0,010 + 0,004	0,030 + 0,005	0,050 + 0,005	0,002 + 0,0005
1,000000 A		< 2 V	0,050 + 0,006	0,080 + 0,010	0,100 + 0,010	0,005 + 0,0010
<b>RMS reales de corriente AC (solo 34901A)</b>						
10,00000 mA y <sup>[4]</sup> 1,000000 A		3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	0,100 + 0,006
		5 Hz-10 Hz	0,30 + 0,04	0,30 + 0,04	0,30 + 0,04	0,035 + 0,006
		10 Hz-5 kHz	0,10 + 0,04	0,10 + 0,04	0,10 + 0,04	0,015 + 0,006
100,0000 mA <sup>[8]</sup>		3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,5	1,00 + 0,5	1,00 + 0,5	0,100 + 0,06
		5 Hz-10 Hz	0,30 + 0,5	0,30 + 0,5	0,30 + 0,5	0,035 + 0,06
		10 Hz-5 kHz	0,10 + 0,5	0,10 + 0,5	0,10 + 0,5	0,015 + 0,06
<b>Temperatura</b>						
Temperatura	Tipo	Precisión a un año <sup>[9]</sup>	Precisión a un año de rango ampliado <sup>[9]</sup>	Coeficiente de temperatura/°C		
Termopar <sup>[10]</sup>	B	De 1 100 °C a 1 820 °C	1,2 °C	De 400 °C a 1 100 °C	1,8 °C	
	E	De -150 °C a 1 000 °C	1,0 °C	De -200 °C a -150 °C	1,5 °C	
	J	De -150 °C a 1 200 °C	1,0 °C	De -210 °C a -150 °C	1,2 °C	
	K	De -100 °C a 1 200 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	0,03 °C
	N	De -100 °C a 1 300 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	
	R	De 300 °C a 1 760 °C	1,2 °C	De -50 °C a 300 °C	1,8 °C	
	S	De 400 °C a 1 760 °C	1,2 °C	De -50 °C a 400 °C	1,8 °C	
	T	De -100 °C a 400 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	
RTD	R <sub>n</sub> de 49 Ω a 2,1 kΩ	De -200 °C a 600 °C			0,003 °C	
Termistor	2,2 k, 5 k, 10 k	De -80 °C a 150 °C			0,002 °C	

[1] Especificaciones para una hora de calentamiento y 6½ dígitos, filtro de AC lento

[2] Con relación a los estándares de calibración

[3] 20 % por encima del rango en todos los rangos salvo 300 VDC y rangos AC, y 1 ADC y rangos de corriente AC

[4] Para una entrada de onda sinusoidal > 5 % del rango. Para entradas del 1 % a 5 % del rango y de < 50 kHz, añádase un 0,1 % de error adicional de rango

[5] Normalmente, 30 % de error de lectura a 1 MHz, limitado a 1 x 10<sup>9</sup> V Hz

[6] Especificaciones para función de resistencia a 4 hilos o resistencia a 2 hilos usando escalado para eliminar el offset. Sin escalado, añádase un error adicional de 4 Ω en la función de resistencia a 2 hilos

[7] Entrada > 100 mV. Para entradas de 10 mV a 100 mV, multiplíquese el % de error de lectura x 10

[8] Especificado solo para entradas >10 mA

[9] Para la precisión de medida total, añádase el error de la sonda de temperatura

[10] Especificaciones de termopar no garantizadas si está presente el módulo 34970A

## Características de medida [7]

### Tensión DC

Método de medida	Integración continua Convertidor A/D Multi-slope III
Linealidad A/D	0,0002 % de lectura + 0,0001 % de rango
Resistencia de entrada	
Rangos de 100 mV, 1 V, 10 V	A elegir, 10 MΩ o > 10 000 MΩ
Rangos de 100 V, 300 V	10 MΩ ±1 %
Corriente de polarización de entrada	< 30 pA a 25 °C
Protección de entrada	300 V en todos los rangos

### RMS reales de tensión AC

Método de medida	RMS reales con acoplamiento AC: mide el componente de AC de la entrada con un máximo de 300 VDC de polarización en cualquier rango	
Factor cresta	Máximo de 5:1 a escala completa	
Errores de factor cresta adicionales (onda no sinusoidal)	Factor cresta 1-2	0,05 % de lectura
	Factor cresta 2-3	0,15 % de lectura
	Factor cresta 3-4	0,30 % de lectura
	Factor cresta 4-5	0,40 % de lectura
Impedancia de entrada	1 MΩ ±2 % en paralelo con 150 pF	
Protección de entrada	300 Vrms en todos los rangos	

### Resistencia

Método de medida	Resistencia a 2 o 4 hilos a elegir Fuente de corriente referenciada a la entrada LO	
Compensación de offset	En rangos de 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ a elegir	
Resistencia máx. del cableado	10 % del rango por hilo para rangos de 100 Ω y 1 kΩ. 1 kΩ en el resto de rangos	
Protección de entrada	300 V en todos los rangos	

### Frecuencia y periodo

Método de medida	Sistema de cálculo recíproco
Rangos de tensión	Igual que la función de tensión AC
Intervalo de puerta	1s, 100 ms o 10 ms
Timeout de medida	Límite LF de 3 Hz, 20 Hz, 200 Hz a elegir

### Corriente DC

Resistencia de shunt	5Ω para 10 mA, 100 mA; 0,1 Ω para 1 A
Protección de entrada	Fusible de 1A 250 V en el módulo 34901A

### RMS reales de corriente AC

Método de medida	Acoplamiento directo al fusible y la resistencia de shunt. Medida de RMS reales con acoplamiento AC (mide solo los componentes AC)
Resistencia de shunt	5 Ω para 10 mA; 0,1 Ω para 100 mA, 1 A
Protección de entrada	Fusible de 1 A 250 V en el módulo 34901A

### Termopar

Conversión	Compensación de software ITS-90
Tipo de unión de referencia	Interna, fija o externa
Comprobación de termopar abierto	Seleccionable por canal. Abierto > 5 kΩ

### Termistor

Series 44004, 44007, 44006

### RTD

$\alpha = 0,00385$  (DIN) y  $\alpha = 0,00391$

### Rechazo del ruido de medida de 60 (50) Hz [1]

Rechazo en modo común (CMRR) de DC	140 dB
Rechazo en modo común (CMRR) de AC	70 dB

### Tiempo de integración

	Rechazo en modo normal [2]
200 plc/3,33 s (4 s)	110 dB [3]
100 plc/1,67 s (2 s)	105 dB [3]
20 plc/333 ms (400 ms)	100 dB [3]
10 plc/167 ms (200 ms)	95 dB [3]
2 plc/33,3 ms (40 ms)	90 dB
1 plc/16,7 ms (20 ms)	60 dB
< 1 plc	0 dB

## Características de funcionamiento [4]

### Velocidades de medida de un canal [5]

Función	Resolución [6]	34970A/34972A lecturas/s
DCV, resistencia	6½ dígitos (10 plc)	6 (5)
a 2 hilos	5½ dígitos (1 plc)	54 (47)
	4½ dígitos (0,02 plc)	500
Termopar	0,01 °C (10 plc)	6 (5)
	0,1 °C (1 plc)	52 (47)
	(0,02 plc)	280
RTD, termistor	0,01 °C (10 plc)	6 (5)
	0,1 °C (1 plc)	49 (47)
	1 °C (0,02 plc)	200
ACV	6½ lento (3 Hz)	0,14
	6½ medio (20 Hz)	1
	6½ rápido (200 Hz)	8
	6½ [6]	100
Frecuencia, periodo	6½ dígitos (1 s puerta)	1
	5½ dígitos (100 ms)	9
	4½ dígitos (10 ms)	70

[1] Para 1 kΩ no balanceado en el cable del LO

[2] Para frecuencia de línea de alimentación ±0,1 %

[3] Para frecuencia de línea de alimentación ±1 %, utilícese 80 dB o ±3 %, utilícese 60 dB

[4] Velocidades de lectura para funcionamiento a 60 Hz y (50 Hz)

[5] Para función fija y rango, lecturas en memoria, escala y alarmas desactivadas, AZERO desactivado, registro de datos USB desactivado

[6] Límite máximo con ajustes de retardos predeterminados de estabilización anulados

[7] Tensión de aislamiento (entre canales, canal-tierra) 300 VDC, RMS AC

[8] 6½ dígitos = 22 bits, 5½ dígitos = 18 bits, 4½ dígitos = 15 bits

## Velocidades de lectura de un canal a interfaz I/O o memoria interna

	34970A		34972A
	a memoria lecturas/s	a GPIB o RS-232 lecturas/s	a LAN, USB o memoria lecturas/s
Lecturas ASCII de un canal	500	440	500
Un canal con escala cambiante (p. ej., MEAS dcV 10/MEAS dcV 1)	25	25	25
Un canal con función cambiante (p. ej., MEAS dcV/MEAS Ohms)	12	12	12

## Velocidades de medida de barrido a interfaz I/O o memoria interna

	34970A		34972A
	a memoria canales/s	a GPIB o RS-232 canales/s	a LAN, USB o memoria canales/s
<b>Barrido de canales DCV o resistencia</b>			
34901A/34908A	60	60	60
34902A	250	210	240
34902A en y desde la memoria (con INIT, FETCh)	—	180	240
34902A con información temporal (con MEAS)	—	150	240
34902A con escala y alarmas	220	190	220
34902A DCV y resistencia en canales alternos	80	80	80
<b>Barrido de canales ACV <sup>(2)</sup></b>			
34901A/34908A	50	50	50
34902A	100	90	100
<b>Temperatura de barrido: canales de TC o termistor</b>			
34901A/34908A	50	50	50
34902A	160	150	150
<b>Barrido de canales de totalizador/entrada digital</b>			
34907A Entrada digital	275	250	275
34907A Totalizador	240	210	240

## Salida de datos de memoria <sup>(3)(4)</sup>

(FETCh de 50 000 lecturas)

Un canal <sup>(1)(2)</sup>	34970A		34972A	
	Sobre GPIB lecturas/s	Sobre RS-232 lecturas/s	Sobre USB lecturas/s	Sobre LAN o memoria lecturas/s
Lecturas	800	600	55 K	120 K
Lecturas con información temporal	450	320	35 K	60 K
Lecturas con todas las opciones de formato ACTIVADAS	310	230	25 K	50 K

[1] Velocidades para 4½ dígitos, retardo 0, display desactivado, registro de datos USB desactivado, puesta a cero automática desactivada, a menos que se indique lo contrario. Para obtener el mejor rendimiento de I/O, utilícese el comando MEAS. RS-232 a 115 Kbaudios.

[2] Máximo, con retardos predeterminados rechazados.

[3] Se asume un formato de tiempo relativo (tiempo desde el inicio del barrido).

[4] Velocidades típicas asumiendo un PC con poca carga y tráfico adicional limitado en las I/O. Velocidades de LAN asumiendo el uso de conexión enchufable; VX111 será inferior.

[5] Para función fija y rango, lecturas en memoria, escala/alarmas/puesta a cero desactivadas.

## Especificaciones del sistema

<b>Entradas de barrido</b>	
Analógicas	Canales de multiplexores 34901A, 34902A y 34908A
Digitales	34907A: Entradas digitales y totalización
Lista de barrido	Explora canales en orden ascendente
<b>Disparo de barrido</b>	
Fuente	Intervalo, externa, pulsación de botón, software o alarma de canal en monitor
Recuento de barrido	De 1 a 50 000 o continuo
Intervalo de barrido	De 0 a a 99 horas; pasos de 1 ms
Retardo de canal	De 0 a 60 segundos por canal, pasos de 1 ms
Retardo de disparo externo	< 300 $\mu$ s. Con monitor activado < 200 ms
Jitter de disparo externo	< 2 ms
<b>Alarmas</b>	
Entradas analógicas	Hi, Lo, o Hi + Lo evaluadas en cada barrido
Entradas digitales	Adaptación a máscara patrón o cambio de estado en entradas digitales del 34907A Totalización en 34907A: límite alto sólo
Canal de monitorización	Alarma evaluada en cada lectura
Salidas de alarma	4 compatibles con TTL
Latencia	Lógica TTL Hi o Lo a elegir en caso de fallo 5 ms (típica)
<b>Memoria</b>	
Batería	34970A, 4 años de duración típica <sup>[1]</sup> , 34972A Batería sustituible por el usuario Sustitución recomendada una vez al año durante CAL
Lecturas	50 000 lecturas internas con información temporal Legibles durante el barrido
Estados	Cinco estados de instrumento con etiqueta de usuario
Cola de alarmas	Hasta 20 eventos con número de canal, lectura e información temporal
Unidad USB Flash	Soporte para formatos FAT o FAT 32
<b>Características del sistema</b>	
Funciones matemáticas por canal	Escalado Mx + B individual y mín./máx./promedio calculados en tiempo real
Recuperación en caso de fallo de alimentación	Reanudación automática del barrido
Mantenimiento de relés	Recuento de cada cierre de relé y almacenamiento en módulo, reinicializable por el usuario
Reloj de tiempo real	Respaldo por batería, 4 años de duración típica <sup>[1]</sup>
<b>Especificaciones generales</b>	
Fuente de alimentación	100 V/120 V/220 V/240 V $\pm$ 10 %
Frecuencia de línea de alimentación	45 Hz a 66 Hz con detección automática
Consumo de energía	12 W (25 VA pico)
Temperatura de funcionamiento	Precisión completa de 0 a 55 °C Precisión completa con 80 % de humedad relativa a 40 °C
Temperatura de almacenamiento	De -40 a 70 °C <sup>[1]</sup>
Peso	Neto: 3,6 kg
Seguridad	Conformidad con CSA, UL-1244, IEC 1010 Cat. I
RFI y ESD	CISPR 11, IEC 801/2/3/4

[1] El almacenamiento a temperaturas superiores a 40 °C reducirá la duración de la batería

[2] Software suministrado en CD-ROM

[3] La interfaz y el driver se deben adquirir e instalar por separado

[4] Requiere la biblioteca de comandos VISA para IEEE-488

## Software

### Agilent 34825A BenchLink Data Logger 3

(incluido con el multímetro digital opcional)

#### Requisitos del sistema <sup>[2]</sup>

Sistema operativo	Windows Vista®, XP SP2, 2000 SP4 (sin soporte para ediciones Home), Adobe® Acrobat® Reader V5.0 o superior (para ver la documentación) Microsoft Internet Explorer V6.0 o superior (necesario si se utiliza Windows NT)
Controlador	Pentium® 4 a 800 MHz o superior recomendado, mín. Pentium III a 500 MHz
RAM	256 MB o superior recomendada, mín. 128 MB
Espacio en disco	200 MB recomendados, mín. 100 MB
Pantalla	Resolución de 1 024 x 768 recomendada, 256 colores

#### Interfaces de ordenador <sup>[3]</sup>

<b>34970A</b>	
GPIB	Agilent y National Instruments PCI-GPIB
RS-232 (puerto serie)	PC COM 1-4
<b>34972A</b>	
LAN	10/100/1000 BaseT
USB	USB 2.0

#### Características del Agilent BenchLink

Configuración	Página de configuración de canal similar a una hoja de cálculo Carga y descarga de configuraciones de instrumento Canales calculados con $\pm$ %, dB, dBm, dBV, $x^2$ , $\sqrt{x}$ y completo, galga extensiométrica de 1/2, o 1/4 de puente
Pantallas gráficas	Visualización de datos en tiempo real e históricos Agregar, eliminar, tamaño y configuración en tiempo real Gráfico de banda continua con marcadores e indicación de alarma, gráficos de barras y dispersión, histogramas con estadísticas, medidor de barras y tabla de datos
Controles gráficos	Controles deslizantes, conmutadores, botones y luces LED
Comprobación de límite/alarma	Inicio/parada de barrido según la condición de alarma Control del estado de relé del 34903A o salida digital del 34907A cuando se da la alarma
Datos	Transmitidos (almacenados) en tiempo real a disco Exportación automática de datos y configuraciones Copia de datos o gráficos en el portapapeles de Windows Exportación de los datos seleccionados en formatos .CVS, .XML o .TXT
Registro de eventos	Entrada automática de alarmas y errores

#### Soporte de drivers de instrumentos para lenguajes de programación

Drivers IVI-C o IVI-COM	Compatible con Windows 7, Vista SP1, XP SP2 (32 bits) IO Libraries 14.1 o superiores Compatible con Agilent VEE, Visual Basic, C/C#, Visual Studio, National Instruments LabWindows CVI y LabVIEW
Driver para LabVIEW (VI) driver	LabVIEW 7.0 o superior 800 MHz o superior recomendado, mínimo 600 MHz.

## Especificaciones de los módulos

Las especificaciones de precisión de la unidad 34970A/34972A de Agilent ya incluyen los errores de unión de referencia y offset de conmutación que aparecen más abajo. Estos errores se enumeran por separado para determinar el error del sistema con dispositivos de medida externos.

Es posible insertar un máximo de 3 módulos, en cualquier combinación, en un único mainframe. Las conexiones del

multímetro digital interno de la unidad 34970A/34972A solo están accesibles a través de los multiplexores de baja frecuencia 34901A, 34902A y 34908A.

Los terminales atornillados del módulo aceptan tamaños de cable de calibre 16 a 22. Se recomienda el cable de calibre 20 para aplicaciones con un alto número de canales. Los multiplexores de RF 34905A y 34906A utilizan conectores SMB. Con cada módulo de RF se suministra un juego estándar de (10) cables adaptadores de BNC a SMB para facilitar las conexiones BNC.

		Multiplexor			Actuador	Matriz	Multiplexor de RF		Multifunción
		34901A	34902A <sup>[1]</sup>	34908A	34903A	34904A	34905A	34906A	34907A
<b>General</b>									
Número de canales		20 + 2 2/4 hilos	16 2/4 hilos	40 1 hilo	20 SPDT	4 x 8 2 hilos	Dual 1 x 4 50 Ω 75 Ω		Para conocer las especificaciones del módulo, consulte la página 25
Se conecta al multímetro digital interno		•	•	•					
Velocidad de barrido		60 canales/s	250 canales/s <sup>[1]</sup>	60 canales/s					
Velocidad de apertura/cierre		120/s	120/s	70/s	120/s	120/s	60/s		
<b>Entrada</b>									
Tensión (DC, RMS AC) <sup>[2]</sup>		300 V	300 V	300 V	300 V	300 V	42 V		
Corriente (DC, RMS AC)		1 A	50 mA	1 A	1 A	1 A	0,7 A		
Potencia (W, VA)		50 W	2 W	50 W	50 W	50 W	20 W		
<b>Características de DC</b>									
Tensión de offset <sup>[3]</sup>		< 3 uV	< 6 uV	< 3 uV	< 3 uV	< 3 uV	< 6 uV		
Canal R inicialmente cerrado <sup>[3]</sup>		< 1 Ω	< 1 Ω	< 1 Ω	< 0,2 Ω	< 1 Ω	< 0,5 Ω		
Aislamiento entre canales, canal-tierra		> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 1 GΩ		
<b>Características de AC</b>									
Ancho de banda <sup>[4]</sup>		10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	2 GHz <sup>[5]</sup>	2 GHz <sup>[5]</sup>	
Pérdidas de inserción (dB)	10 MHz	—	—	—	—	—	-0,1	-0,1	
	100 MHz	—	—	—	—	—	-0,4	-0,4	
	500 MHz	—	—	—	—	—	-0,6	-0,5	
	1 GHz	—	—	—	—	—	-1	-1	
	1,5 GHz	—	—	—	—	—	-1,2	-1,5	
	2 GHz	—	—	—	—	—	-3	-2	
ROE	0-9,99 MHz	—	—	—	—	—	1,02	1,02	
	10-99,99 MHz	—	—	—	—	—	1,05	1,05	
	100-499,99 MHz	—	—	—	—	—	1,20	1,25	
	500-999,99 MHz	—	—	—	—	—	1,20	1,40	
	1-1,499 GHz	—	—	—	—	—	1,30	1,40	
	1,5-2 GHz	—	—	—	—	—	1,40	2,00	
Crosstalk entre canales (dB) <sup>[4]</sup>	10 MHz	-45	-45	-18 <sup>[6]</sup>	-45	-33	-100	-85	
	100 MHz	—	—	—	—	—	-85	-75	
	500 MHz	—	—	—	—	—	-65	-65	
	1 GHz	—	—	—	—	—	-55	-50	
	1,5 GHz	—	—	—	—	—	-45	-40	
	2 GHz	—	—	—	—	—	-35	-35	
Tiempo de subida								< 300 ps	
Retardo de señal								< 3 ns	
Capacitancia	HI - LO	< 50 pF	< 50 pF	< 50 pF	< 10 pF	< 50 pF	< 20 pF		
	LO - Tierra	< 80 pF	< 80 pF	< 80 pF	< 80 pF	< 80 pF	—		
Límite voltio-hertzio		10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>10</sup>		
<b>Otros</b>									
Precisión de unión fría de termopar <sup>[3]</sup>	(típica)	0,8 °C	0,8 °C	0,8 °C <sup>[8]</sup>					
Duración de conmutador	Sin carga (típica)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	5 M	5 M	
	Carga nominal (típica) <sup>[7]</sup>	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	
Temperatura	De funcionamiento	Todas las tarjetas — De 0 a 55 °C							
	De almacenamiento	Todas las tarjetas — De -20 a 70 °C							
Humedad	(sin condensación)	Todas las tarjetas — 40 °C al 80 % de humedad relativa							

[1] No recomendado para la conexión a una línea AC sin supresión de transitorios externa. Hasta 250 canales/s a la memoria interna. Consulte las velocidades de barrido para conocer las condiciones y velocidades de medida de cada instrumento.  
[2] Entre canales o canal a tierra

[3] Errores incluidos en las especificaciones de precisión de medida del multímetro digital  
[4] Fuente de 50 Ω, carga de 50 Ω  
[5] Especificación de ancho de banda directo a conectores SMB en tarjeta de multiplexor de RF  
[6] El aislamiento en los canales 1 a 20 o bancos 21 a 40 es de -40 dB  
[7] Se aplica únicamente a cargas resistivas  
[8] Medidas de termopar no recomendadas con el módulo 34908A debido a la configuración Común bajo

## Guía de selección de multiplexores

Elija entre la amplia funcionalidad del 34901A, la alta velocidad de barrido del 34902A o la densidad tipo single-ended del 34908A. Estos 3 módulos son la única forma de conexión al multímetro digital interno de la unidad 34970A/34972A. También pueden utilizarse para barridos con instrumentos externos.

Todos los módulos de multiplexor abren los relés antes de comenzar un barrido, para así garantizar que solo haya un canal (o par de canales) cerrado cada vez. Los módulos 34901A y 34902A admiten múltiples cierres de canal si no están configurados para el barrido.

El 34908A no admite múltiples cierres de canal en ningún momento.

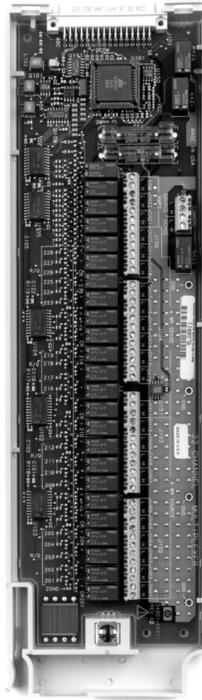
### 34901A

#### Multiplexor para uso general de 20 canales

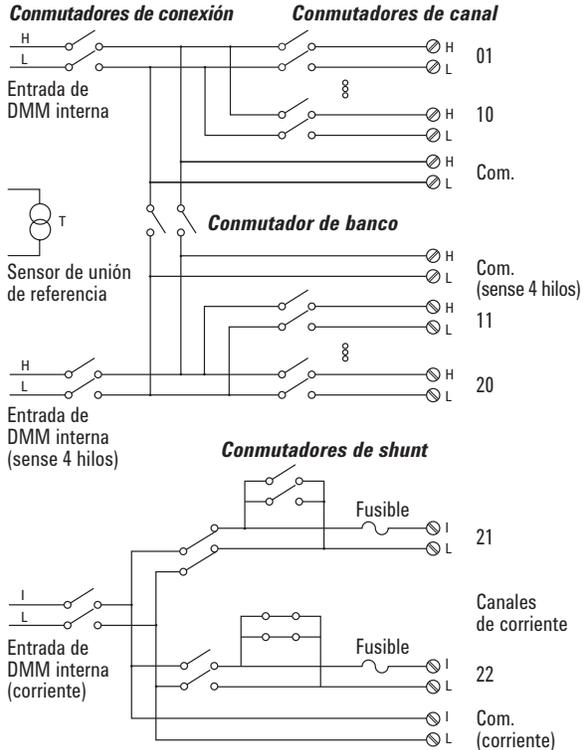
- Barrido de 60 canales/s
- Barrido a 2 y 4 hilos
- Unión de referencia de termopar incorporada
- Conmutación de 300 V

El multiplexor 34901A de Agilent es el aparato más versátil para barridos generales. Combina una densa conmutación multifunción con velocidades de barrido de 60 canales/segundo para responder a una amplia gama de aplicaciones de adquisición de datos.

En el mismo módulo pueden mezclarse canales a 2 y 4 hilos. Dos entradas con fusible adicionales (22 canales en total) enrutan hasta 1 A de corriente hacia el multímetro digital interno, permitiendo corrientes AC y DC sin tener que usar resistencias shunt externas.



	34901A	34902A	34908A
<b>Número de canales</b>	20 + 2	16	40
<b>Velocidad de barrido máx.</b>	60 canales/s	250 canales/s	60 canales/s
<b>Número de contactos</b>	2 o 4	2 o 4	1
<b>Temperatura</b>			
Termopar	•	•	•
RTD a 2 hilos	•	•	•
RTD a 4 hilos	•	•	
Termistor	•	•	•
Tensión DC	•	•	•
Tensión AC	•	•	•
Resistencia a 2 hilos	•	•	•
Resistencia a 4 hilos	•	•	
Frecuencia	•	•	•
Periodo	•	•	•
Corriente DC	•		
Corriente AC	•		



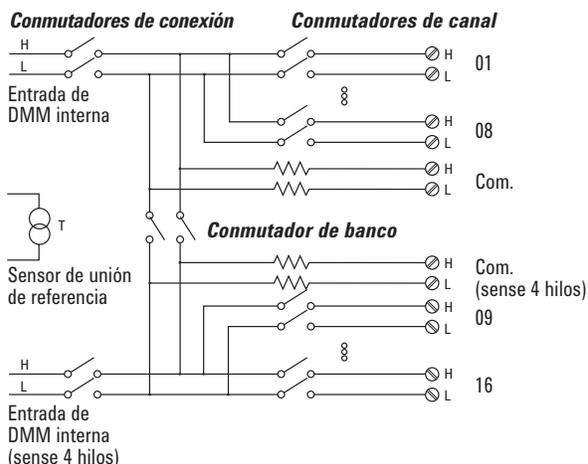
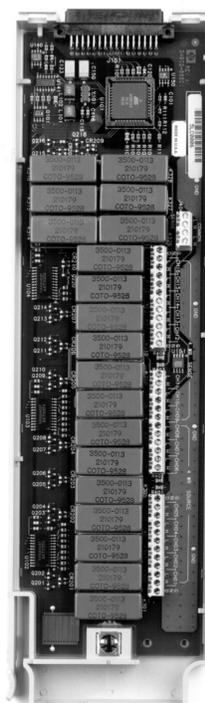
## 34902A

### Multiplexor de alta velocidad de 16 canales

- Barrido de hasta 250 canales/s
- Barrido a 2 y 4 hilos
- Unión de referencia de termopar incorporada

El 34902A de Agilent utiliza relés de láminas para conseguir velocidades de barrido de hasta 250 canales por segundo. Utilice este módulo para aplicaciones de prueba automatizadas de alto rendimiento, así como para registro de datos de alta velocidad y tareas de monitorización.

16 entradas a 2 hilos se conmutan hasta 300 V. Los canales a 2 y 4 hilos se pueden mezclar en el mismo módulo. Para medir corrientes se necesitan resistencias shunt suministradas por el usuario.



*Nota: No recomendado para la conexión a una línea AC sin supresión de transitorios externa.*

## 34908A

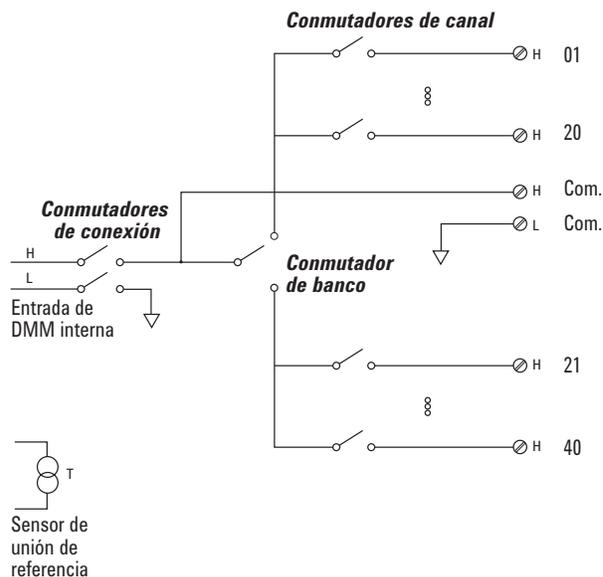
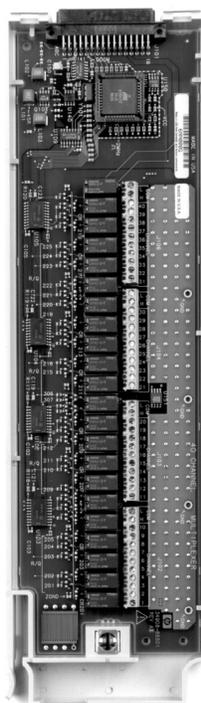
### Multiplexor single-ended de 40 canales

Barrido de 60 canales/s

- Conmutación de un solo hilo para aplicaciones de común bajo
- Unión de referencia de termopar incorporada

Utilice el 34908A de Agilent para obtener la mayor densidad en aplicaciones de común bajo, como pruebas de batería, caracterización de componentes y pruebas para banco de trabajo.

Cada módulo conmuta 40 entradas de un hilo. Se admiten todas las medidas internas a 2 hilos, excepto la de corriente. La conexión baja del módulo está aislada de tierra y puede flotar hasta 300 V.



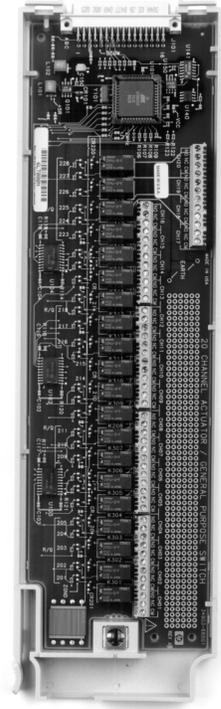
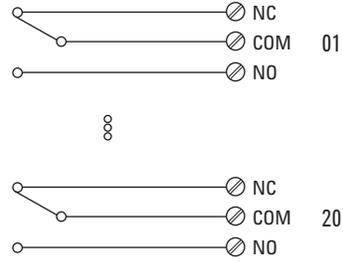
*Nota: Los termopares deben estar aislados eléctricamente entre sí para evitar bucles de corriente y los correspondientes errores de medida.*

## 34903A

### Actuador/conmutador para uso general de 20 canales

- Relés de enganche SPDT (forma C)
- 300 V, actuación y control de 1 A

Este módulo de conmutación para uso general tiene 20 relés independientes monopolares y de doble puerto (SPDT). Utilícelo para realizar ciclos de alimentación en los dispositivos sometidos a prueba (DUT), indicadores de control y luces de estado, y para actuar relés de potencia externos y solenoides. Combínelo con módulos matriciales y multiplexores para construir sistemas de conmutación personalizados. Sus contactos de 300 V y 1 A pueden gestionar hasta 50 W, lo suficiente para muchas aplicaciones de conmutación de líneas de alimentación.



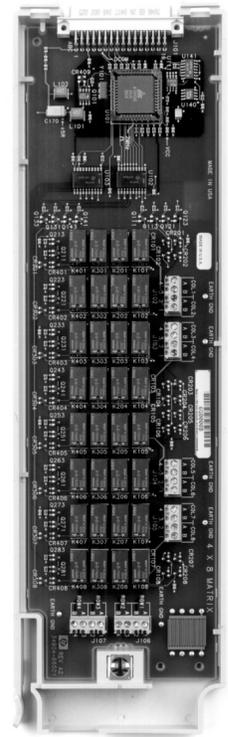
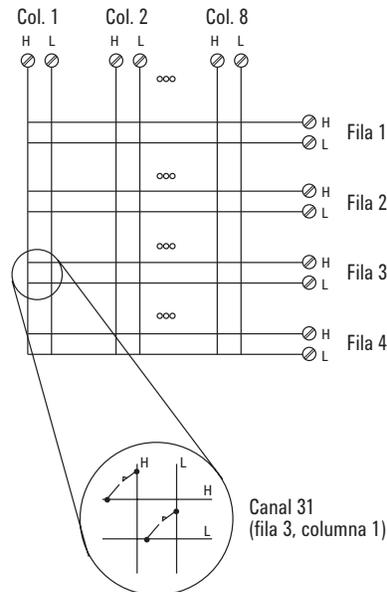
## 34904A

### Conmutador matricial 4x8 a 2 hilos

- 32 puntos de cruce a 2 hilos
- Conmutación de 300 V y 1 A

El módulo 34904A de Agilent ofrece la ruta de conexión más flexible entre el DUT y el equipo de pruebas, permitiendo conectar distintos instrumentos en múltiples puntos del DUT al mismo tiempo.

Es posible conectar filas o columnas entre distintos módulos para formar matrices de 8x8, 4x16 o aún mayores, con un máximo de 96 puntos de cruce en una única trama.



## 34905A 50 Ω

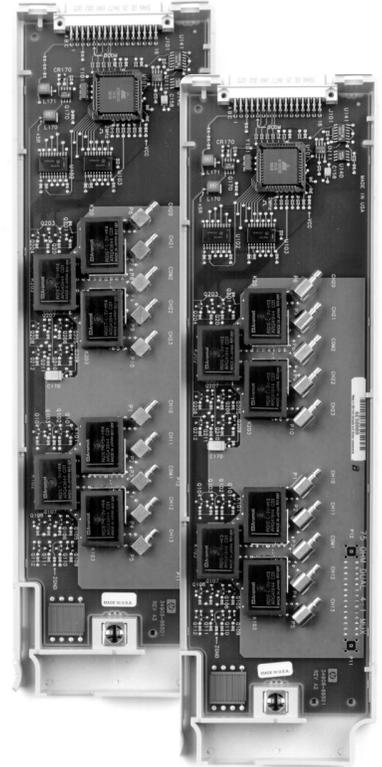
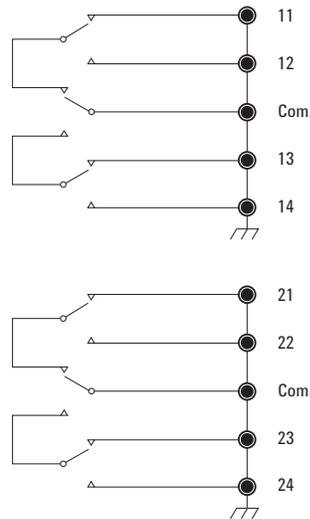
## 34906A 75 Ω

### Multiplexores de RF de 4 canales dobles

- Ancho de banda de 2 GHz
- Cables adaptadores de BNC a SMB incluidos

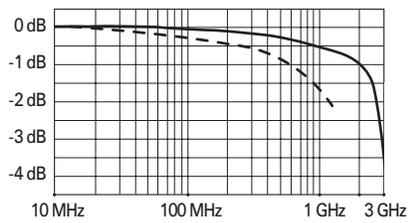
Los multiplexores de RF 34905A y 34906A de Agilent ofrecen capacidades de conmutación de banda ancha para señales pulsadas y de alta frecuencia. Utilícelos para enrutar señales de prueba entre el DUT y el generador de señales, osciloscopio, analizador de espectro u otro instrumento.

Los multiplexores de RF se organizan en forma de 2 multiplexores 1x4 independientes, cada uno con una protección común y un conductor central conmutado. Las conexiones se pueden realizar directamente a las entradas SMB con ancho de banda útil de 2 GHz o a los adaptadores de BNC a SMB suministrados con un ancho de banda de 1 GHz. Para aplicaciones que necesiten topologías aún mayores, es posible agrupar múltiples bancos en cascada, creando un multiplexor 16:1 en una sola unidad.

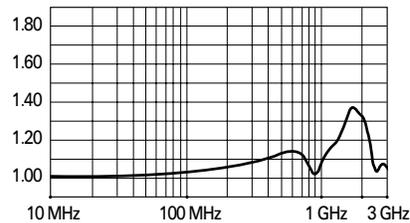


### Gráficos de rendimiento AC típicos de un multiplexor de 50 Ω

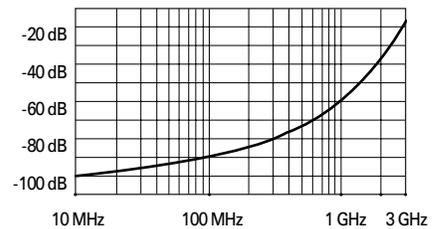
**Pérdidas de inserción**



**ROE**

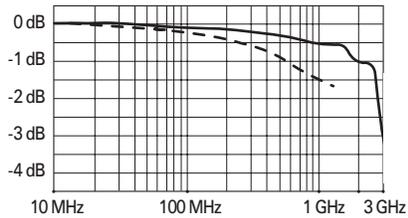


**Crosstalk**

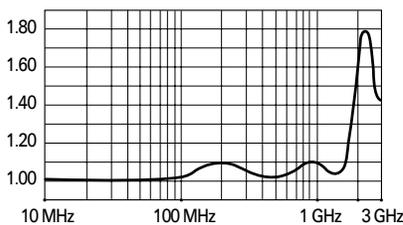


### Gráficos de rendimiento AC típicos de un multiplexor de 75 Ω

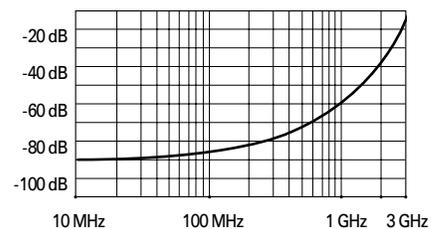
**Pérdidas de inserción**



**ROE**



**Crosstalk**



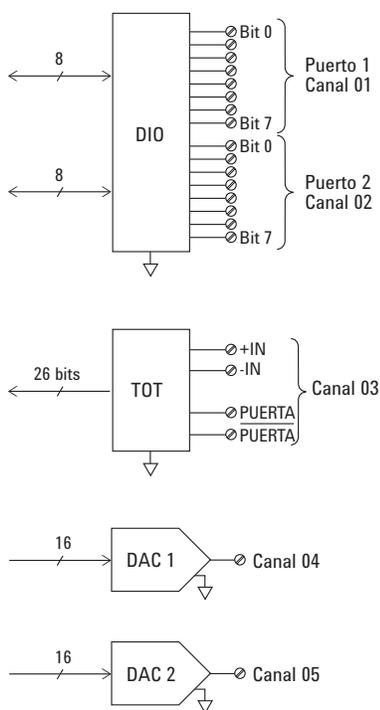
- Directamente a la tarjeta
- - - Usando los cables adaptadores suministrados

## 34907A

### Módulo multifunción

- 16 bits de entrada y salida digital
- Entrada de totalizador de 100 kHz
- Dos salidas analógicas de  $\pm 12$  V

El módulo 34907A de Agilent admite una gran flexibilidad para diversas aplicaciones de detección y control. Combina 2 puertos de 8 bits de entrada y salida digitales, un totalizador controlado de 100 kHz y 2 salidas analógicas de  $\pm 12$  V, todo ello en un único módulo con referencia a tierra. Las entradas digitales y la entrada de totalizador pueden incluirse en un barrido. Los límites de alarma de las entradas digitales y del contador de eventos se evalúan de forma continua, capturando y registrando las condiciones de alarma incluso entre barridos.



## Entrada/salida digital

Utilice las salidas digitales con una fuente de alimentación externa para controlar atenuadores y conmutadores de microondas, solenoides, relés de potencia, indicadores y mucho más. Utilice las entradas digitales para detectar la conmutación de límite y el estado de bus digital. No hay complejos modos de handshake; las lecturas y escrituras se inician desde el panel frontal o el bus.

Puerto 1, 2	8 bits, entrada o salida, sin aislamiento
Vin(L)	< 0,8 V (TTL)
Vin(H)	> 2,0 V (TTL)
Vout(L)	< 0,8 V @ Iout = -400 mA
Vout(H)	> 2,4 V @ Iout = 1 mA
Vin(H) máx	< 42 V con polarización de drenaje abierto externa
Alarma	Adaptación a máscara patrón o cambio de estado
Velocidad	4 ms (máx.) de muestreo de alarma
Latencia	5 ms (típica) para salida de alarma de 34970A
Velocidad de lectura/escritura	95/s

## Entrada de totalización

Recuento de eventos desde dispositivos como fotointerruptores, conmutadores de límite y sensores de efecto Hall.

Mantiene un total actualizado que se puede leer a través del panel frontal o de forma programática en cualquier momento. Con 26 bits de resolución, puede contar eventos a toda velocidad durante casi 11 minutos sin desbordamiento.

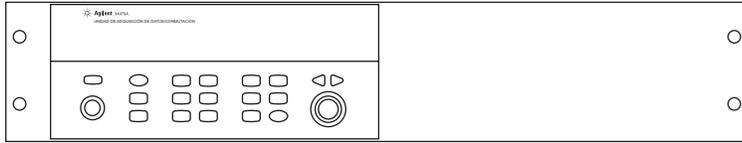
Recuento máx.	$2^{26} - 1$
Entrada de totalización	Flanco creciente o de bajada de 100 kHz (máx.), programable
Nivel de señal	1 Vp-p (mín.) 42 Vpk (máx.)
Umbral	0 V o TTL, jumper a elegir
Entrada de puerta	TTL-Hi, TTL-Lo, o ninguna
Reinicio de recuento	Manual o lectura + reinicio
Velocidad de lectura	85/s

## Salida analógica

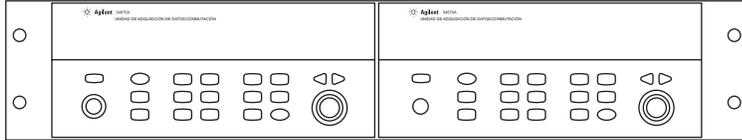
Utilice las 2 salidas analógicas calibradas electrónicamente como fuente de tensiones de polarización en el DUT, para controlar las fuentes de alimentación analógicas programables o utilice las salidas como puntos de referencia para los sistemas de control. Las salidas se programan directamente en voltios, ya sea desde el panel frontal o desde el bus.

DAC 1, 2	$\pm 12$ V, sin aislamiento
Resolución	1 mV
IOUT	10 mA máx.
Tiempo de estabilización	1 ms para 0,01 % de salida
Precisión	$\pm$ (% de salida + mV)
1 año $\pm 5$ °C	0,25 % + 20 mV
Coefficiente de temperatura	$\pm$ (0,015 % + 1 mV)/°C

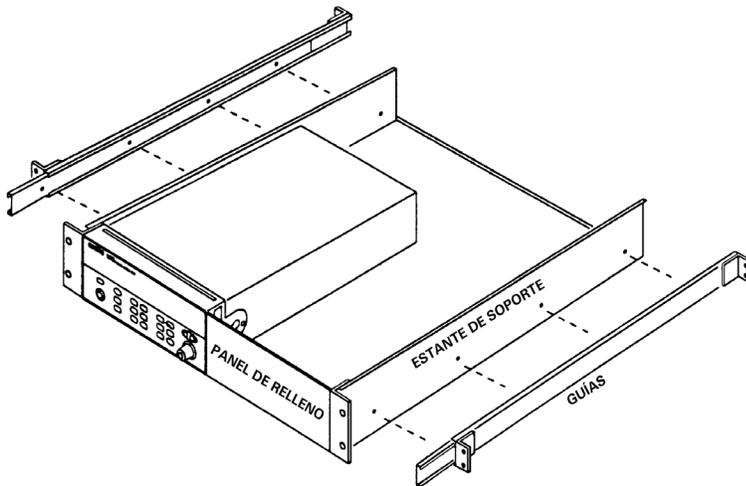
## Montaje en rack y dimensiones



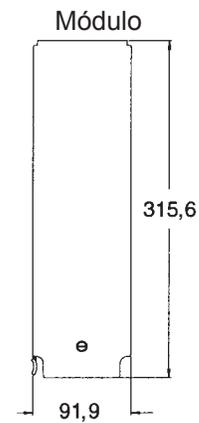
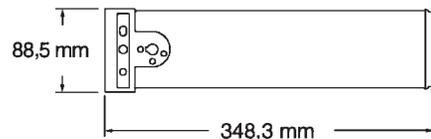
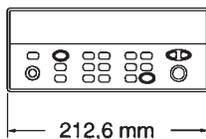
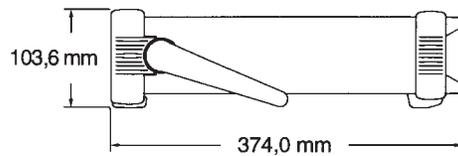
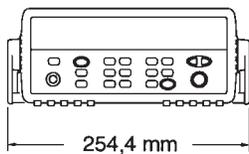
Para montaje en rack de un solo instrumento, solicite el kit de adaptador 5063-9240 (opción 1CM).



Para montar en rack 2 instrumentos juntos, solicite el kit de fijación 5061-9694 y el kit de bridas 5063-9212.



Para instalar 1 o 2 instrumentos en una balda deslizante, solicite la balda 5063-9255 y el kit deslizante 1494-0015 (para un instrumento independiente, solicite también el panel de relleno 5002-3999).



## Información para pedidos

### Mainframe

- 34970A** Unidad de adquisición de datos/conmutación con RS-232 y GPIB
- 34972A** Unidad de adquisición de datos/conmutación con LAN y USB

Los 2 mainframes incluyen multímetro digital interno de 6½ dígitos, manual de funcionamiento y de servicio (en CD-ROM), informe de pruebas, cable de alimentación eléctrica y paquete de inicio rápido (incluye el software Agilent BenchLink Data Logger 3, termopar y destornillador). Los módulos son necesarios para el funcionamiento y se adquieren por separado.

**Opción 001** Sin multímetro digital interno igual que el anterior, pero sin multímetro digital ni paquete de inicio rápido. Solicite la ref. 34970-80010 para ampliar con un multímetro digital más adelante.

- Opción 1CM** Kit para montaje en rack
- Opción A6J** Calibración compatible con ANSI Z540
- Opción 0B0** Sin juego de manuales
- Opción AB0** Taiwán: manual en chino
- Opción AB1** Corea: manual en coreano
- Opción AB2** China: manual en chino
- Opción ABA** Inglés: manual en inglés
- Opción ABD** Alemania: manual en alemán
- Opción ABE** España: manual en español
- Opción ABF** Francia: manual en francés
- Opción ABJ** Japón: manual en japonés
- Opción ABZ** Italia: manual en italiano

### Módulos

- 34901A** Multiplexor de armadura de 20 canales
- 34902A** Multiplexor de lengüeta 16 canales
- 34903A** Actuador/conmutador para uso general de 20 canales
- 34904A** Conmutador matricial 4x8 de 2 hilos
- 34905A** Multiplexor de RF de 4 canales doble, 50 Ω
- 34906A** Multiplexor de RF de 4 canales doble, 75 Ω
- 34907A** Módulo multifunción
- 34908A** Multiplexor single-ended de 40 canales

### Accesorios

- 34830A** Paquete de software BenchLink Data Logger Pro opcional que añade funciones de comprobación de límites y toma de decisiones para aplicaciones más complejas.
- 34307A** Termopares de tipo J en paquetes de 10 unidades
- 34308A** Termistores de 10 kΩ en paquetes de 5 unidades
- 34161A** Bolsa para accesorios
- 34131A** Estuche de transporte rígido
- E5810A** Gateway LAN/GPIB para uso con 34970A
- 82357B** Convertidor USB/GPIB para uso con 34970A
- 34970-80010** Kit de instalación de multímetro digital. Totalmente calibrado con informe de pruebas y kit de inicio rápido
- 34905-60001** Kit de 10 cables adaptadores de SMB a BNC, 50 Ω
- 34906-60001** Kit de 10 cables adaptadores de SMB a BNC, 75 Ω

Adaptadores USB: si necesita llevar el puerto de memoria USB hasta el panel frontal, considere el uso de un adaptador USB, como el modelo **USBAM-USBAM de VPI** o el modelo **ECF504-UABS de L-COM**.

## Documentación relacionada

	Número de publicación
<i>Agilent 34830A BenchLink Data Logger Pro Software for 34970A</i>	5989-7622EN
<i>Practical Temperature Measurements, nota de aplicación</i>	5965-7822EN
<i>Agilent 34980A Multifunction Switch/Measure, hoja de datos</i>	5989-1437EN
<i>Making High Accuracy Temperature Measurements with the 34970A</i>	5988-8152EN

Para localizar más notas de aplicación y demostraciones de productos, consulte las siguientes páginas web:

[www.agilent.com/find/34972A](http://www.agilent.com/find/34972A)

[www.agilent.com/find/34970A](http://www.agilent.com/find/34970A)

## Despeje todas sus dudas

Nuestros servicios de reparación y calibración le devolverán su equipo funcionando como si fuera nuevo, en los plazos acordados. Podrá sacar el máximo partido de sus equipos Agilent a lo largo de toda su vida útil. Sus equipos serán reparados por técnicos formados por Agilent que utilizan los procedimientos de calibración de fábrica más avanzados, diagnósticos automáticos de reparación y piezas originales. Podrá depositar toda su confianza en las medidas que obtenga en cualquier momento.

Agilent ofrece una amplia gama de servicios adicionales especializados de medida y prueba para sus equipos, como asistencia inicial durante la puesta en marcha, educación y formación in situ, diseño, integración de sistemas y administración de proyectos.

Si desea más información sobre los servicios de reparación y calibración, visite:

[www.agilent.com/find/removealldoubt](http://www.agilent.com/find/removealldoubt)



### Agilent Email Updates

[www.agilent.com/find/emailupdates](http://www.agilent.com/find/emailupdates)

Reciba la información más reciente sobre los productos y aplicaciones que seleccione.



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

LXI es el sucesor basado en LAN de GPIB y proporciona una conectividad más rápida y eficiente. Agilent es miembro fundador del consorcio LXI.

## Distribuidores de Agilent

[www.agilent.com/find/channelpartners](http://www.agilent.com/find/channelpartners)

Consiga lo mejor de ambos mundos: la experiencia y variedad de productos de medida de Agilent junto con la comodidad que le brindan sus distribuidores.

*Windows, MS Windows, Windows Vista y Windows NT son marcas comerciales de Microsoft Corporation registradas en EE. UU. Microsoft es una marca comercial de Microsoft Corporation registrada en EE. UU.*

*Adobe, el logotipo de Adobe, Acrobat y el logotipo de Acrobat son marcas comerciales de Adobe Systems Incorporated.*

*Pentium es una marca comercial de Intel Corporation en los EE. UU. y otros países.*

*LabView es una marca comercial registrada de National Instruments.*

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)  
[www.agilent.com/find/34970A](http://www.agilent.com/find/34970A)  
[www.agilent.com/find/34972A](http://www.agilent.com/find/34972A)

Para obtener más información sobre los productos, aplicaciones o servicios de Agilent Technologies, póngase en contacto con su oficina local de Agilent. La lista completa se puede encontrar en:

[www.agilent.com/find/contactus](http://www.agilent.com/find/contactus)

### América

---

América Latina	305 269 7500
Canadá	(877) 894-4414
Estados Unidos	(800) 829-4444

### Asia Pacífico

---

Australia	1 800 629 485
China	800 810 0189
Corea	080 769 0800
Hong Kong	800 938 693
India	1 800 112 929
Japón	0120 (421) 345
Malasia	1 800 888 848
Singapur	1 800 375 8100
Tailandia	1 800 226 008
Taiwán	0800 047 866

### Europa y Oriente Próximo

---

Alemania	49 (0) 7031 464 6333
Austria	43 (0) 1 360 277 1571
Bélgica	32 (0) 2 404 93 40
Dinamarca	45 70 13 15 15
España	34 (91) 631 3300
Finlandia	358 (0) 10 855 2100
Francia	0825 010 700*

\*0,125 €, tarifas de red fija

Irlanda	1890 924 204
Israel	972-3-9288-504/544
Italia	39 02 92 60 8484
Países Bajos	31 (0) 20 547 2111
Reino Unido	44 (0) 118 9276201
Suecia	0200-88 22 55
Suiza	0800 80 53 53

Otros países europeos:

[www.agilent.com/find/contactus](http://www.agilent.com/find/contactus)

Revisión: 1 de octubre de 2009

Especificaciones y descripciones de productos que aparecen en este documento sujetas a cambios sin previo aviso.

© Agilent Technologies, Inc.  
1998, 2000, 2004, 2005, 2010  
Impreso en Estados Unidos, March 8, 2010  
5965-5290ESE



**Agilent Technologies**