

Sesión N° 6

## Ensayo de comportamiento del compresor Tornillo

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)

Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 3

Nombre: 8501

Fecha: 8 de noviembre del 2020

## 1 Resumen

Los valores obtenidos para caudal corregido en el ensayo de compresor de tornillo fueron los siguientes:

	Normalización de capacidad con respecto a la velocidad de rotación del compresor	
$p_d$		
[bar]	N[rpm]	$q_N[\frac{m^3}{h}]$
5,5	4350	74,7330337
6	4350	75,0132112
7	4350	72,7495269
8	4350	70,3216191
9	4350	68,2272021

Tabla4: Tabla que muestra los valores de caudales con sus respectivas correcciones finales.

- Se aprecian leves diferencias en los caudales con los valores límites dado por el fabricante.
- Se infiere que los errores son producto del cambio de unidades y de la modificación a la norma ISO 1217.
- Pese a los errores de arrastre cometidos se pudo apreciar un buen comportamiento en la línea de tendencia del compresor ensayado vs las obtenidas por los valores de fábrica. En general se pudo apreciar la disminución del caudal al aumentar la presión de descarga.
- Se observa que la masa de agua retirada cumple con las expectativas, al realizar la comparación con el contenido de humedad de aire que entra y sale del compresor.

## 2 Índice

### Contenido

1 Resumen .....	2
2 Índice .....	3
3 Introducción .....	5
4 Objetivos.....	6
5 Metodología/Procedimientos.....	7
6 Resultados.....	9
6.1 Caudal corregido. ....	9
6.2 Comparación entre el caudal ensayado y los valores obtenidos del fabricante.....	10
6.3 Contenido de humedad del aire que entra y que sale del compresor .....	10
7 Conclusión.....	12
7.1 Caudal:.....	12
7.2 Contenido de humedad del aire que entra y que sale del compresor .....	12
8 Referencias.....	13
9 Anexo .....	14
9.1 Diagrama de flujo GA7 VSD FF.....	14
9.2 Formulas: .....	15
9.2.1 Capacidad.....	15
9.2.3 Capacidad respecto a la presión y la temperatura: .....	15
9.2.4 Capacidad respecto a la humedad relativa: .....	16
9.2.5 Capacidad respecto a la velocidad de rotación del compresor. (1) .....	16
9.2.6 Error experimental (2): .....	16
9.3 Tablas .....	17
9.3.1 Datos del ensayo de compresor de tornillo. ....	17
9.3.2 Datos normalizados de la capacidad respecto a la presión y la temperatura. ..	17

9.3.3 Datos normalizados de la capacidad respecto a la humedad relativa. ....	18
9.3.4 Datos normalizados de la capacidad con respecto a la velocidad de rotación del compresor.....	18
9.3.5 Datos calculados de contenido de humedad del aire que entra y sale del compresor.....	19

### 3 Introducción

En el siguiente informe presenta un análisis comparativo entre el compresor de tornillo modelo GA7 VSD FF con los valores de fábrica.

Las mediciones se realizaron bajo las normas ANSI/AMCA 210-99 y ANSI/ASHRAE 51-99 pero los valores obtenidos fueron modificados para la norma ISO 1217, para la comparación con los valores dados por el fabricante.

## 4 Objetivos

- a) Analizar el comportamiento del compresor de tornillo como máquina de una instalación industrial.
- b) Determinar la capacidad a distintas presiones.

## 5 Metodología/Procedimientos.

Antes de iniciar la experiencia se definen parámetros del compresor de tornillo de una instalación industrial ensayado, los cuales son:

- Modelo: GA7 VSD FF<sup>1</sup>.
- No tiene válvulas.
- Velocidad máxima de rotación: 4.350 [rpm].
- Transmisión por correas.
- Factor de potencia motor eléctrico: 0,9 [-].
- Corriente Límite: 17 [A].
- Rango de presión: 5,5 a 12,7 [bar].
- Presión nominal: 7 [bar].

Las normas utilizadas para el ensayo son:

- Normas ANSI/AMCA 210-99 y ANSI/ASHRAE 51-99: establecen como condiciones estándar al aire a una temperatura de 293, 15 [K], una presión de 101.325 [Pa] y una humedad relativa del 50 [%].
- Norma ISO 1217: Los valores dados por el fabricante se refieren a aire FAD. Temperatura de 293,15 [K], presión de 1 [bar] y humedad relativa de 0 [%].

Para la realización de la experiencia se siguieron los siguientes pasos:

- Poner en marcha la instalación, programando el compresor a una presión de 7 [bar].
- Cerrar la descarga del estanque de almacenamiento.
- Descargar parcialmente el estanque y observar cómo actúan los sistemas automáticos.
- Programar el compresor a una presión de 5,5 [bar] y regular el caudal de descarga para que se mantenga a esa presión con el máximo caudal posible.
- Medir:
  - Presión de descarga, [bar].
  - Velocidad del compresor, [rpm].

---

<sup>1</sup> En el anexo 9.1 se aprecia un diagrama de flujo con sus respectivos componentes y una descripción general de su funcionamiento.

- Temperatura ambiente, [°C].
  - Temperatura de descarga del compresor, [°C].
  - Temperatura de PRP secador, [°C].
  - Temperatura del estanque de baja presión, [°C].
  - Presión en el estanque de baja presión, [cmca].
  - Corriente eléctrica, [A].
- Se repiten las mediciones para las presiones 6, 7, 8 y 9 [bar].

Para los cálculos correspondientes se utilizaron las fórmulas del anexo 9.2 y las tablas del anexo 9.3



## 6 Resultados.

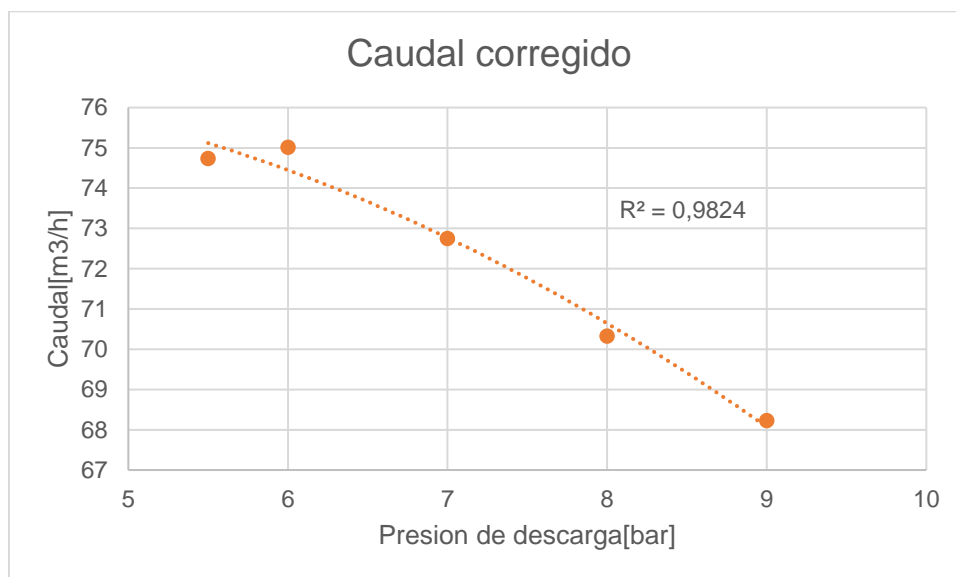
Compresor de Tornillo ensayado.

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos del ensayo realizado a un compresor de tornillo modelo GA7 VSD FF y su comparación con los datos proporcionados por el fabricante.

### 6.1 Caudal corregido.

En la Grafico1 se representa el caudal corregido  $(1)$  vs presión de descarga. En este se aprecia que el máximo caudal se alcanza a los  $75,013[\frac{m^3}{h}]$  a una presión de descarga de 6[bar] mientras que el mínimo caudal se alcanza a los  $68,227[\frac{m^3}{h}]$  a una presión de descarga de 9[bar]. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error  $(2)$  para caudal corregido de 1,76% , respecto al ideal, estando dentro de los márgenes.

Pese a presentar un error dentro de márgenes aceptables se observa que no se cumple la tendencia esperada de disminución de caudal al ir aumentado la presión de descarga en todos los puntos.



Grafica1: Representación de caudal corregido vs presión de descarga del ensayo realizado

## 6.2 Comparación entre el caudal ensayado y los valores obtenidos del fabricante

En el Grafico2 se presenta la comparación entre los valores obtenidos en el ensayo de Caudal con sus correcciones correspondientes vs los valores entregados por el fabricante para el modelo GA7 VSD FF. En este se aprecia que el caudal máximo dado por el fabricante<sup>2</sup> se alcanza a los  $78,8[\frac{m^3}{h}]$  a una presión de descarga de  $5,5[bar]$  mientras que el mínimo caudal se alcanza a los  $51,12[\frac{m^3}{h}]$  a una presión de descarga de  $12,5[bar]$ . La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error<sub>(2)</sub> experimental para el Caudal ensayado de 0.118% respecto al Caudal dado por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

Pese a presentar un error dentro de márgenes aceptables se observa que a una presión de descarga de  $9[bar]$  el caudal ensayado supera los límites impuesto por el fabricante.

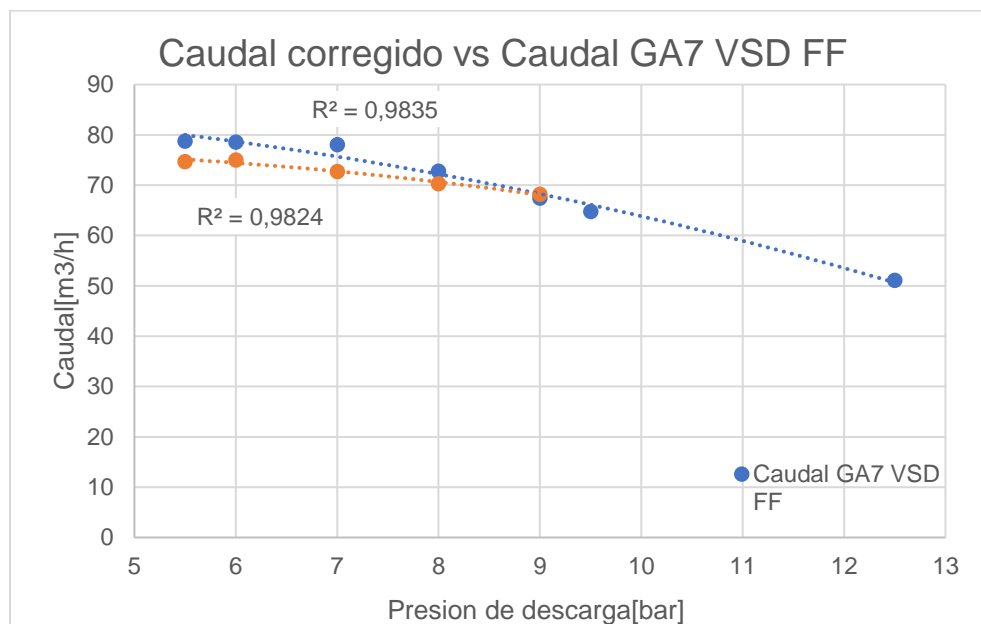


Grafico2: Representación de caudal ensayado vs caudal entregado por el fabricante.

## 6.3 Contenido de humedad del aire que entra y que sale del compresor

En la Tabla9.3<sup>3</sup> se ven representados los valores de entrada y salida del compresor correspondiente al contenido de humedad en el aire. En este se logra apreciar que a

<sup>2</sup> En el anexo 9.4 se encuentra las tablas de valores dado por el fabricante junto a otros datos de interés.

<sup>3</sup> En el anexo 9.4 se encuentra la tabla comparativa de valores obtenidos para la entrada y salida de humedad de aire del compresor.

medida que sube la presión de descarga la masa de agua que sale es menor, indicando que el proceso de posterior compresión y refrigeración al que se somete el aire esta dentro de los márgenes esperados. Se genera la máxima eficiencia de 99.385% a una presión de 9[bar].

P.Des	Hum. Amb	Hum. después de la compresión y refrigeración	masa agua retirada	Eficiencia
$p_d$	masa (agua entra)	masa (agua sale)	masa (agua)	
[bar]	$\left[\frac{g_w}{Kg_{gas}}\right]$	$\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$	$\left[\frac{g_w}{Kg_{gas}}\right]$	%
5,5	7,66	0,96	7,54	98,433
6	8,13	0,9	8,02	98,647
7	7,56	0,85	7,47	98,810
8	7,6	0,75	7,53	99,079
9	8,13	0,63	8,08	99,385

Tabla5: Extractó de tabla comparativa de valores obtenidos para la entrada y salida de humedad de aire del compresor.

## 7 Conclusión.

### 7.1 Caudal:

- El compresor de Tornillo ensayado modelo GA7 VSD FF presento un comportamiento bueno respecto a los valores presentados por el fabricante, pese a presentar puntos en los cuales se excedía de los límites máximos impuestos. Estos errores pueden haberse debido a los procedimientos en los sistemas de unidades utilizados y en la modificación de parámetros para ser adaptados a la norma ISO 1217.
- Se aprecian errores de arrastres en comparación a los valores dados por el fabricante, evidente en los puntos de conflictos ya mencionados; como por ejemplo el mencionado en el Grafico2, en donde el caudal ensayado supera el límite máximo impuesto por el fabricante a los 9[bar].
- Se observa que a medida que aumenta la presión el caudal baja. Este parámetro es claramente evidente en la normalización<sup>4</sup> con respecto a la presión y la temperatura, ya que a medida que aumenta la presión de descarga, se observa que en el estanque de baja presión la temperatura aumenta levemente, pero disminuye la presión. Esto indica que el caudal se ve inversamente afectado por el aumento de la presión de descarga, generando una disminución del volumen entregado.

### 7.2 Contenido de humedad del aire que entra y que sale del compresor

Se logra apreciar la importancia de un punto de rocío<sup>5</sup> adecuado para encontrar la temperatura optima de condensación del agua en el aire a una presión y humedad relativa determinada por el ensayo.

Se evidencia una eficiencia considerable en la extracción de agua con un máximo de masa de agua retirada de  $8.08 \left[ \frac{g_w}{Kg_{as}} \right]$  a una presión de 9[bar] con una eficiencia de 99.385%.

Se puede concluir que el sistema de filtros funciona correctamente infiriendo residuos en el aire inferiores a 3 ppm.

---

<sup>4</sup> En el anexo 9.2 se encuentran la formulas utilizadas para cauda y su posterior corrección.

<sup>5</sup> Para una definición más extensa diríjase al anexo 9.1.

## 8 Referencias.

- Guía de <<FLUIDS AND LUBRICATION EQUIPMENT, Bombas de pistón liviano>> de RAASM.
  - Catalogo de <<Process Equipment Catalog, Bombas de diafragma>> de GRACO
  - Catalogo del Fabricante para modelos GA7-75 VSD <<Compresores de tornillo rotativos con inyección de aceite>> de Atlas Copco.
  - Guía de <<COMPRESOR DE TORNILLO GA7 VSD FF>> de Ramiro Mege Thierry.
  - Mundo compresor:
    - Compresor de tornillo: <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/como-funciona-compresor-tornillo-lubricado#:~:text=Los%20compresores%20de%20tornillo%20son%20equipos%20de%20desplazamiento%20positivo.&text=Esta%20forma%20de%20comprimir%20el,un%20flujo%20de%20aire%20continuo.>
- FP Eficiencia energética y energía solar térmica:
- Cómo funciona un compresor de tornillo:  
<https://www.youtube.com/watch?v=pBNIFjEnjuU>
- Texto guía:
    - Termodinámica 6th edición, Yunus A. Cengel.

## 9 Anexo

### 9.1 Diagrama de flujo GA7 VSD FF

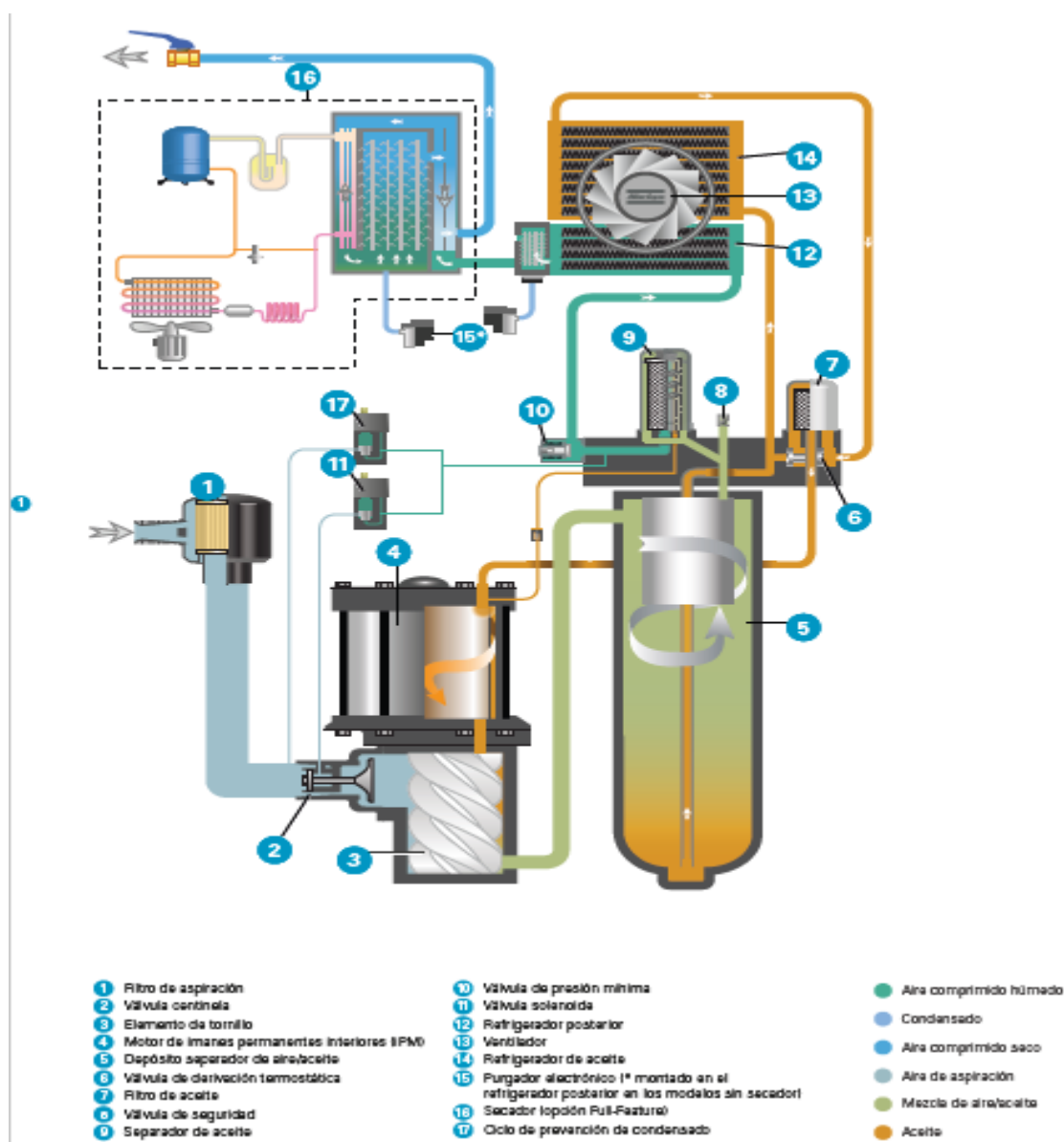


Ilustración 1: Diagrama de flujo de máquina de desplazamiento positivo modelo GA7 VSD FF.

#### Descripción breve:

El aire es aspirado por el compresor a través de la válvula y el filtro, entrando en el tornillo por la zona de aspiración. Una vez en su interior, el aire circula a través del elemento de tornillo y es comprimido sobre el recipiente de separación aire/aceite. El aire comprimido, dentro del separador de aire/aceite, entra de forma forzada y realiza un giro brusco, con la finalidad de conseguir que se separe la mayor cantidad de aceite posible. Una forma de

mejorar la eficiencia de esa separación es mediante la utilización de un filtro con propiedades coalescentes que permite que el aire comprimido salga al exterior. Esto elimina el resto de aceite en la corriente de aire hasta un residual muy pequeño (inferior a 3 ppm, según cada fabricante).

Punto de rocío: El término "punto de rocío a presión" se utiliza cuando se mide la temperatura del punto de rocío de los gases a presiones más elevadas que la presión atmosférica. Se refiere a la temperatura del punto de rocío de un gas bajo presión. Esto es importante porque, al cambiar la presión de un gas, se modifica la temperatura del punto de rocío del gas.

## 9.2 Formulas:

### 9.2.1 Capacidad

$$\dot{V} = 8,62 * \alpha * S * T_a * \sqrt{\frac{H}{T * P_a}}$$

Donde:

$\dot{V}$ : Capacidad, caudal de aire libre [m<sup>3</sup>/h]

$\alpha$  = 0,600 coeficiente de caudal del diafragma

S: sección del orificio del diafragma en [cm<sup>2</sup>], el diámetro del orificio es de 22 [mm]

$T_a$ : temperatura absoluta de aspiración del compresor [K]

T: Temperatura absoluta del estanque de baja presión [K]

H: presión en el manómetro diferencial [cmagua]

$P_a$ : presión barométrica [cmagua]

### 9.2.3 Capacidad respecto a la presión y la temperatura:

$$Q_{N \times RH} = q_x * \frac{T_N * P_x}{T_x * P_N}$$

Donde:

$q_x$ : Capacidad

$T_N$ : Temperatura normalizada.

$P_N$ : Presión normalizada.

$P_x$ : Presión absoluta.

$T_x$ : Temperatura absoluta.

#### 9.2.4 Capacidad respecto a la humedad relativa:

$$q_{Nx} = q_{NxRH} * (1 - \frac{xRh * P_s}{P_{atm}})$$

Donde:

$q_{NxRH}$ : Capacidad respecto a la presión y la temperatura

$xRh$ : Humedad relativa

$P_s$ =Presión de saturación

$P_{atm}$ =Presión atmosférica.

#### 9.2.5 Capacidad respecto a la velocidad de rotación del compresor. (1)

$$q_N = q_{Nx} * \frac{N}{N_x}$$

Donde:

$q_{Nx}$ = Capacidad respecto a la humedad relativa.

$N$ =velocidad máxima de rotación del compresor.

$N_x$ = velocidad medida de rotación del compresor.

#### 9.2.6 Error experimental (2):

Para el cálculo de errores experimentales se utilizó la siguiente formula:



$$\text{Error} = \frac{\text{valor experimental} - \text{valor teorico}}{\text{valor teorico}} * 100$$

### 9.3 Tablas

#### 9.3.1 Datos del ensayo de compresor de tornillo.

P.Des	Veloc.	Temp	Hum.	Temp	Punto	Temp.	Pres.	Corriente	Caudal	Pres.		
		Amb	Amb.	Desc.	Rocío	EBP	EBP			Atm		
p <sub>d</sub>	n	t <sub>amb</sub>	H <sub>amb</sub>	t <sub>desc</sub>	PRP	t <sub>EBP</sub>	Δh	I	Q	P <sub>atm</sub>	Patm	$\dot{V}$
[bar]	[rpm]	[°C]	%	[°C]	[°C]	[°C]	[mm <sub>ca</sub> ]	[A]	[%]	[mmH <sub>2</sub> O]	[cmagua]	$\frac{m^3}{h}$
5,5	4315	18	59,4	73	4	20	476	17	98	759,5	1032,573212	71,7808594
6	4350	19	58,9	73	4	20	484	16	100	759,5	1032,573212	72,6301522
7	4350	18	58,6	75	4	21	464	17	100	759,5	1032,573212	70,7497143
8	4176	18	58,9	76	4	21,5	406	17	100	759,5	1032,573212	66,1241223
9	3984	19	58,9	77	4	21	348	17	100	759,5	1032,573212	61,4814949

Tabla1: Los valores medidos aparecen destacado en color amarillo, mientras que las conversiones y valores calculados se muestran con color verde.

#### 9.3.2 Datos normalizados de la capacidad respecto a la presión y la temperatura.

p <sub>d</sub>	Normalización de la Capacidad con respecto a la presión y la temperatura				
	[bar]	Tn[k]	Pn[cmagua]	Tx(absoluta en K)	Px(absoluta en cmagua )
5,5	293,15	1033,2559	293,15	1080,17321	75,04023101
6	293,15	1033,2559	293,15	1080,97321	75,98432188
7	293,15	1033,2559	294,15	1078,97321	73,62893263
8	293,15	1033,2559	294,65	1073,17321	68,32903751
9	293,15	1033,2559	294,15	1067,37321	63,29565075

Tabla2: Datos calculados que representan los distintos valores de caudal normalizados respecto a presión y temperatura.

### 9.3.3 Datos normalizados de la capacidad respecto a la humedad relativa.

$t_{amb}$	Normalización de la capacidad con respecto a la humedad relativa			
	[°C]	Presión de saturación (mmhg)	Presión de saturación (cmagua)	$q_{Nx}[\frac{m^3}{h}]$
18		15,48	21,0457318	74,1317334
19		16,48	22,4052752	75,0132112
18		15,48	21,0457318	72,7495269
18		15,48	21,0457318	67,5087544
19		16,48	22,4052752	62,4867065

Tabla3: Datos calculados que representan los distintos valores de caudal normalizados respecto a la humedad relativa.

### 9.3.4 Datos normalizados de la capacidad con respecto a la velocidad de rotación del compresor.

p <sub>d</sub>	Normalización de capacidad con respecto a la velocidad de rotación del compresor		
	[bar]	n(rpm)	q <sub>N</sub> <sup>m<sup>3</sup></sup> <sub>[<sup>h</sup>]</sub>
5,5		4350	74,7330337
6		4350	75,0132112
7		4350	72,7495269
8		4350	70,3216191
9		4350	68,2272021

Tabla4: Datos calculados que representan los distintos valores de caudal normalizados respecto a la velocidad de rotación del compresor.

9.3.5 Datos calculados de contenido de humedad del aire que entra y sale del compresor.

P.Des	Temp	Hum. Amb.		Punto	Densidad aire seco	Hum. después de la compresión y refrigeración	masa agua retirada	Eficiencia
	Amb			Rocío				
$p_d$	$t_{amb}$	$H_{amb}$	masa (agua entra)	PRP	$\rho$	masa (agua sale)	masa (agua)	
[bar]	[°C]	%	$[\frac{g_w}{Kg_{as}}]$	[°C]	$[\frac{Kg}{m^3}]$	$[\frac{m_w}{m_{as}^3}]$	$[\frac{g_w}{Kg_{as}}]$	%
5,5	18	59,4	7,66	4	8,18	0,96	7,54	98,433
6	19	58,9	8,13	4	8,18	0,9	8,02	98,647
7	18	58,6	7,56	4	10,07	0,85	7,47	98,810
8	18	58,9	7,6	4	11,33	0,75	7,53	99,079
9	19	58,9	8,13	4	12,58	0,63	8,08	99,385

Tabla5: Tabla comparativa de valores obtenidos para la entrada y salida de humedad de aire del compresor.