

Informe 06 Laboratorio de máquinas:

Comportamiento del compresor de tornillo

Felipe Eduardo Trujillo Preuss

Escuela de Ingeniería Mecánica

felipe.trujillo.p@mail.pucv.cl

13 de Noviembre de 2020

1. Introducción

En este informe se ejecuta un análisis exhaustivo del comportamiento de un compresor de tornillo al variar la presión de descarga del sistema. El equipo se trata de un compresor GA 7 VSD FF de la marca Atlas Copco.

A partir del panel de control acoplado al equipo, es posible fijar las condiciones de operación, medir temperaturas, presiones, corriente y porcentaje de caudal total.

Con los datos disponibles se procede a calcular parámetros como la presión de descarga, caudal y velocidad. Posteriormente se corrigen los valores de caudal a magnitud referencial para comparar con lo indicado por el fabricante e inferir ciertos comportamientos.

2. Tabla de valores medidos

P.Desc	Veloc.	Temp Amb	Hum. Amb.	Temp Desc.	Punto Rocío	Temp. EBP	Pres. EBP	Corriente	Caudal	Pres. Atm
p _d	n	t _{amb}	H _{amb}	t _{desc}	PRP	t _{EBP}	Δh	I	Q	P _{atm}
[bar]	[rpm]	[°C]	%	[°C]	[°C]	[°C]	[mm _{ca}]	[A]	[%]	[mmH _g]
5,5	4315	18	59,4	73	4	20	476	17	98	759,5
6	4350	19	58,9	73	4	20	484	16	100	759,5
7	4350	18	58,6	75	4	21	464	17	100	759,5
8	4176	18	58,9	76	4	21,5	406	17	100	759,5
9	3984	19	58,9	77	4	21	348	17	100	759,5

Tabla 1. Valores medidos en el ensayo

3. Fórmulas

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

\dot{V} : Capacidad, caudal de aire libre [m^3/h].

α : 0,600 (coeficiente de caudal del diafragma).

S : Sección del orificio del diafragma [cm^2], 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 [cm_{agua}].

P_a : Presión barométrica [cm_{agua}].

Parámetros normalizados por ANSI/AMCA 210-99 y ANSI/ASHRAE 51-99

$$q_{NxRh} = q_x \frac{T_N}{T_x} \frac{P_x}{P_N}$$

q_{NxRh} : Caudal o capacidad en [m^3/hr], referido a condiciones estándar de presión y temperatura.

q_x : capacidad medida

T_x : temperatura absoluta medida

P_x : presión absoluta medida

T_N : temperatura normalizada

P_N : presión normalizada

$$q_{Nx} = q_{NxRh} \cdot \left(1 - \frac{Rh_x \cdot P_s}{P_{atm}}\right)$$

q_{Nx} : Caudal o capacidad en [m^3/hr], referido a condiciones estándar de presión, temperatura y humedad relativa.

Rh_x : humedad relativa medida

P_s : Presión de saturación del aire a la temperatura ambiente.

P_{atm} : presión atmosférica

$$q_N = q_{Nx} \cdot \frac{n}{n_x}$$

q_N : Caudal o capacidad en $[m^3/hr]$, referido a condiciones estándar y a velocidad de referencia.

n : Velocidad máxima de referencia, 4.350 [rpm].

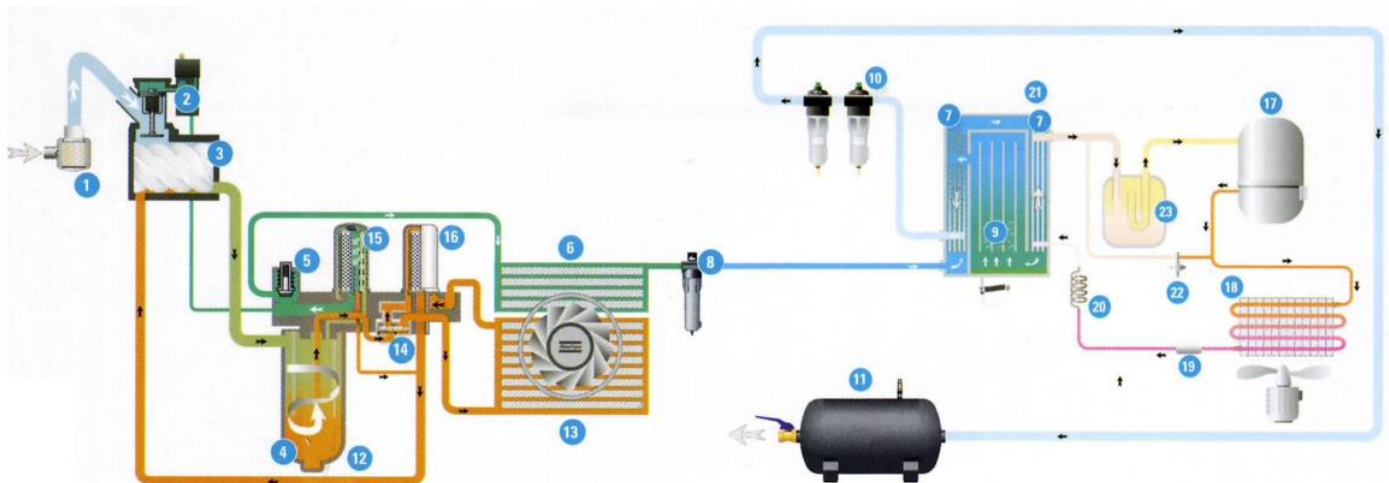
n_x : Velocidad medida.

4. Tabla de valores calculados

P.Desc	Caudal Calculado		Caudal normalizado a T y P	Caudal Normalizado a HR	Caudal Normalizado Veloc.	Veloc.
p _d	Q		q _{NxRh}	q _{Nx}	q _N	n
[bar]	[m3/h]	[%]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[rpm]
5,5	71,78	98	72,23	70,91	71,48	4315
6	72,63	100	72,83	71,70	71,70	4350
7	70,75	100	71,19	69,90	69,90	4350
8	66,12	100	66,53	65,33	68,05	4176
9	61,48	100	61,65	60,69	66,27	3984

Tabla 2. Valores calculados del ensayo

5. Descripción



■ Aire de aspiración	■ Agua
■ Mezcla de aire/aceite	■ Mezcla de refrigerante gas/líquido
■ Aceite	■ Refrigerante gas caliente, alta presión
■ Aire comprimido sin agua libre	■ Refrigerante gas frío, baja presión
■ Aire comprimido húmedo	■ Refrigerante líquido a alta presión
■ Aire comprimido seco	■ Refrigerante líquido a baja presión

CIRCUITO DE AIRE

1. Filtro de aspiración de aire
2. Válvula de aspiración de aire
3. Elemento de compresión
4. Depósito separador de aire/aceite
5. Válvula de presión mínima
6. Refrigerador posterior
7. Intercambiador de calor aire/aire
8. Separador de agua (sólo versiones Pack)
9. Separador de agua con purgador
10. Filtros DD/PD (opcionales)
11. Depósito de aire

CIRCUITO DE ACEITE

12. Aceite
13. Refrigerador de aceite
14. Válvula termostática
15. Separador de aceite
16. Filtro de aceite

CIRCUITO DE REFRIGERANTE

17. Compresor de refrigerante
18. Condensador
19. Filtro de refrigerante líquido
20. Capilar
21. Evaporador
22. Válvula de derivación de gas caliente
23. Válvula de aspiración de aire

Primeramente, el aire ingresa al sistema por la esquina superior derecha (vista detrás del panel de control) pasando por una rejilla. Al avanzar los sólidos en suspensión u otros componentes que acarrea el aire chocan con una placa vertical, de manera que obliga al flujo dirigirse hacia arriba para volver a bajar a un nuevo compartimento.

Los múltiples cambios de dirección del aire existen por su efecto de filtración por impacto, vale decir, las partículas de mayor tamaño caen por gravedad y son retiradas del flujo progresivo.

Luego de estos compartimentos, un ventilador permite la circulación del aire hacia el espacio principal donde se encuentra el compresor, motor eléctrico y radiador. Es necesario destacar que este flujo de aire cumple tres funciones: refrigerar el motor eléctrico, proveer de aire a todo el panel electrónico para su refrigeración y por último la alimentación de aire al compresor.

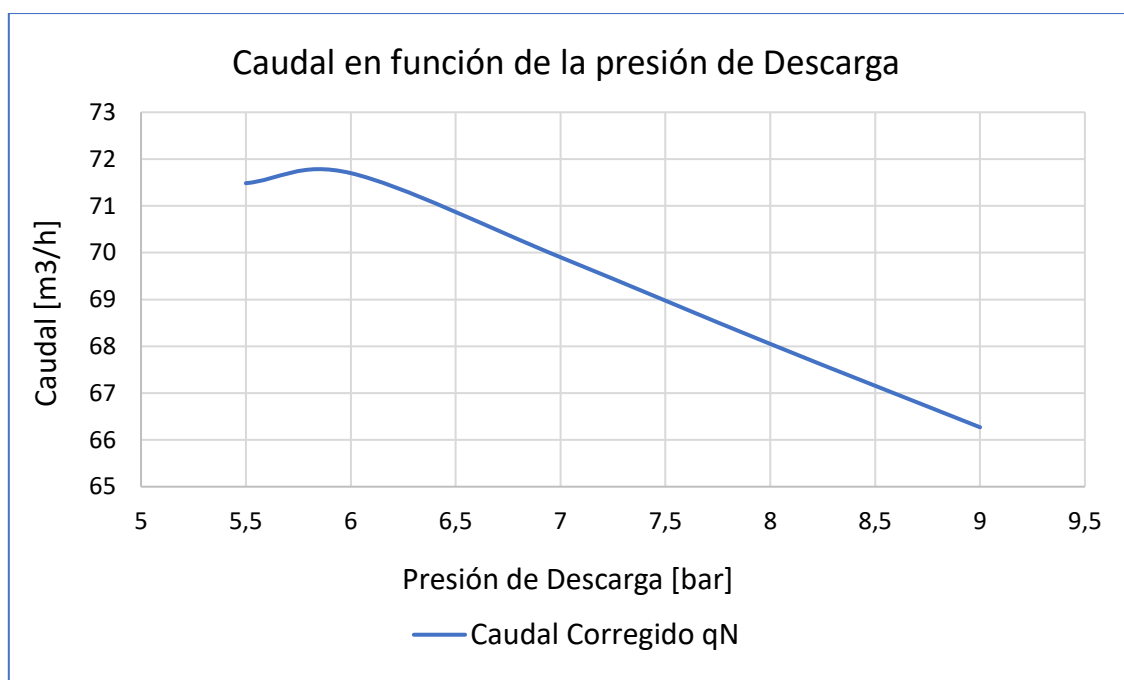
Seguidamente, el aire entra en un filtro de aspiración capaz de retener impurezas. La válvula de admisión regula la cantidad de aire que ingresa efectivamente a la cámara de compresión. Al llegar al compresor, los tornillos comprimen el aire generando un aumento en la presión y temperatura.

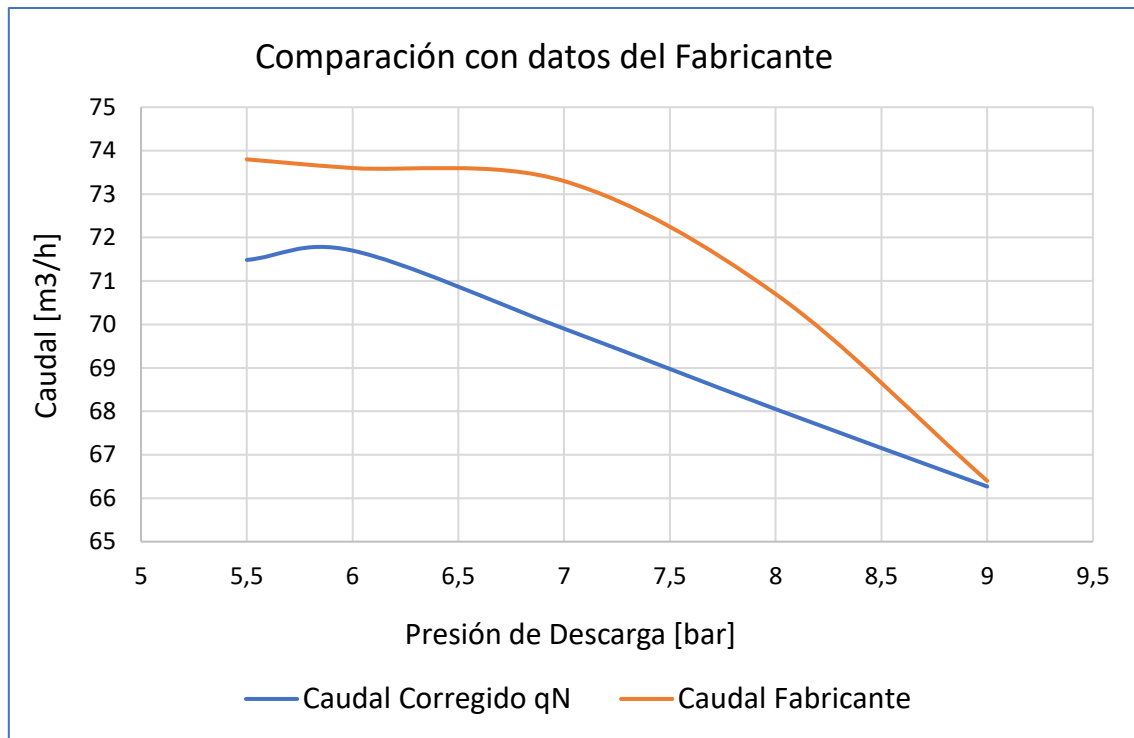
Una vez obtenido el aire comprimido, fluye por una manguera hasta un filtro, para luego ser ingresado al separador centrífugo, en el cual se desacoplan las partículas de lubricante que se puedan encontrar en el aire. La acción centrífuga produce que las partículas pesadas de lubricante se peguen a las paredes y caigan hasta el fondo, por otro lado, las partículas más pequeñas se retiran en un filtro posterior.

Luego el aire ingresa a un intercambiador de calor, donde se le retira calor y por consiguiente se decrementa su temperatura. De manera análoga el lubricante es enfriado y devuelto al suministro del compresor. El aire pasa hacia un secador frigorífico donde nuevamente es enfriado por acción de un sistema de refrigeración por compresión con R134-a. Adicionalmente, en este secador se produce la evacuación de partículas de agua que se pudieran haber condensado, con un purgador electrónico.

Una vez que el aire está filtrado y seco se dirige hacia el estanque de acumulación, que, a su vez, posee dos filtros agregados en su salida. Finalmente, el aire seco comprimido llega al estanque de baja presión donde se puede medir el caudal, presión de descarga, entre otros parámetros.

6. Gráficos





[6.1] ¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Para las condiciones de operación dadas, las magnitudes de caudal normalizado se presentan como inferiores a la curva máxima establecida por el fabricante, diferencia dada que se constituye como acorde a lo esperado. Ambas curvas poseen un comportamiento similar y con ello se afirma que los valores efectivamente se encuentran en el rango correspondiente.

Ahora bien, la última medición efectuada a 9 [bar], presenta un punto de encuentro en la tendencia, ya que el caudal nominal calculado de $66,27 \text{ [m}^3/\text{h}]$ es similar al valor de $66,40 \text{ [m}^3/\text{h}]$ propuesto por el fabricante. Esto se explica debido a que la velocidad de trabajo se situó en un valor intuido por el fabricante, lo que genera un caudal corregido bastante acorde a las condiciones de trabajo.

[6.2] ¿Qué comentario surge de lo anterior?

Las magnitudes de los datos de caudal nominales calculados se encuentran por debajo del máximo indicado por el fabricante. Esta diferencia siempre existe, pero debiese ser mínima o no considerable, fenómeno contrario a lo acontecido en este ensayo. Las diferencias de magnitud se produjeron por las condiciones ambientales de nuestro laboratorio con respecto a las instalaciones del fabricante. Si bien se implementó un algoritmo correctivo de los parámetros clave, no es suficiente para obtener datos exactamente iguales a los del fabricante.

7. Punto de rocío a presión (PRP)

[7.1] ¿Qué significa el punto de rocío?

Se define como la condensación parcial de vapor de agua cuando se reduce la temperatura en un cuerpo, como la condensación observada en ventanas o tuberías que transportan agua fría. Básicamente la temperatura del cuerpo es tan baja que el aire circundante se satura en humedad relativa, vale decir, se encuentra a un 100% de humedad y no es capaz de sostener un exceso. Por ello, cualquier disminución de temperatura produce la condensación de una porción de humedad que no puede ser retenida por el aire (rocío).

[7.2] Calcule el contenido de humedad del aire que entra y sale del compresor

Es posible obtener la humedad relativa del aire en la salida, para cada presión de descarga, mediante un despeje en la siguiente ecuación:

$$T_{PR} = \left(\frac{HR}{100} \right)^{1/8} \cdot (110 + T) - 110$$

T_{PR} : temperatura del punto de rocío [°C]

T : temperatura del aire [°C]

Mediante el uso de la tabla A-4 para agua saturada y/o calculadoras automáticas (https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/p_vapor_saturacion/p_vapor_saturacion.html) es posible obtener la presión de saturación del aire a una cierta temperatura. Una vez recopilados estos datos, se procede a calcular la humedad absoluta a través de la ecuación:

$$w = \frac{0,622 \cdot \phi \cdot P_{sat}}{P - \phi \cdot P_{sat}}$$

w : humedad absoluta

ϕ : humedad relativa calculada

Finalmente, efectuando los cálculos correspondientes, se llega a los resultados pertinentes:

p_d	HR_{amb}	$HR_{descarga}$	P_{sat} Entrada	P_{sat} Salida	H. Absoluta Entrada	H. Absoluta Salida
[bar]	%	%	[kPa]	[kPa]	[kg-agua/kg-aseco]	[kg-agua/kg-aseco]
5,5	59,4	2,3	2,069	35,475	0,0014	0,0009
6	58,9	2,3	2,202	35,475	0,0013	0,0008
7	58,6	2,1	2,069	38,592	0,0011	0,0007
8	58,9	2,0	2,069	40,236	0,0009	0,0006
9	58,9	1,9	2,202	41,938	0,0009	0,0006

Tabla 3. Valores de humedad y contenido de humedad en la admisión y descarga