

Sesión N° 7

Análisis breve de un compresor de gas de tornillo  
rotativo en la Industria Petrolera.

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)

Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 3

Nombre: Gustavo Sáez Millar

Diego Valenzuela Salazar

Fecha: 7 de diciembre del 2020

# 1 Resumen

Los compresores de gas de tornillo rotativo son impulsados por un motor de combustión interna que utiliza gasolina o diésel. Se les puede encontrar en unidad portátil o fija y son los más demandados por el mercado debido a su adaptabilidad sencilla y múltiple uso, además de ser más eficaces y económicos que los sistemas hidráulicos.

Entre sus ventajas más importantes podemos destacar:

- Fácil acceso para mantenimiento y limpieza
- Reducción de ruido
- Nivel de aceite mínimo comparado a otros compresores
- Ventilador independiente
- Transmisión por correa poly-v
- Refrigeración controlada por sonda
- Pre-filtro
- Cuadro eléctrico y placa electrónica para evitar acumulación de polvo.

Finalmente podemos concluir que el compresor de tornillo tiene un excelente rendimiento y desempeño, funcionando perfectamente en distintas aplicaciones. Además, el mantenimiento es mínimo, pero cuando se requiere es necesario hacer una buena inversión y encontrar personal altamente especializado en el tema.

## 2 Índice

1 Resumen .....	2
2 Índice .....	3
3 Introducción .....	4
4 Objetivos.....	5
5 Metodología/Procedimientos.....	6
6 Resultados.....	8
6.2 Comparación entre los caudales ensayados y los valores obtenidos por los fabricantes .....	8
6.3 Análisis en la industria.....	9
6.3.1 Descripción del proceso.....	9
6.3.2 Fluido principal asociado.....	10
6.3.3 Fluido secundario.....	11
7 Conclusión.....	12
7.1 Caudal.....	12
7.2 Fluidos. ....	12
8 Referencias.....	13
9 Anexo .....	14
9.1 Diagrama de flujo GA7 VSD FF y HGF10000.....	14
9.2 Formulas: .....	16
9.2.1 Capacidad.....	16
9.2.2 Capacidad respecto a la velocidad de rotación del compresor. (1) .....	16
9.2.3 Error experimental (2): .....	17
9.3 Tablas .....	17
9.3.1 Datos de ensayos de compresores de tornillo.....	17

### 3 Introducción

En el presente informe se realizará un breve estudio del compresor de gas de tornillo rotativo.

Se buscará comprender cómo funcionan, las partes que lo componen y también las ventajas que poseen por sobre otras alternativas, como por ejemplo los sistemas hidráulicos. Se conoce poco sobre ellos: tienen amplias funciones, en diferentes campos de aplicaciones, tales como la industria de alimentos y bebidas, electrónica, fabricación, madera, farmacéutica, entre otros.

Todo esto, aunque muchos lo dudan, tiene un gran impacto que facilita y hace nuestras vidas más sencillas.

## 4 Objetivos

- a) Analizar el comportamiento del compresor de tornillo como máquina de una instalación industrial.
- b) Realizar un análisis contemplando las presiones de descarga y caudales de un compresor HG10000, y compararlo con un modelo GA45 VSD FF.

## 5 Metodología/Procedimientos.

Antes de iniciar el análisis comparativo se definen los parámetros de dos compresores de tornillo de una instalación industrial, los cuales son:

### **Modelo: GA45 VSD FF<sup>1</sup>.**

- No tiene válvulas.
- Velocidad máxima de rotación: 4.350 [rpm].
- Transmisión por correas.
- Potencia motor: 45 [kW]
- Factor de potencia motor eléctrico: 0,9 [-].
- Corriente Límite: 17 [A].
- Rango de presión: 4 a 12,5 [bar].
- Presión nominal: 7 [bar].

### **Modelo: HG10000**

- No tiene válvulas.
- Velocidad máxima de rotación: [2650-5400] [rpm].
- Potencia motor: 67 [kW]
- Rango de presión: 1,37 a 24,13 [bar].
- Rango de caudal: [24 – 600] [ $\frac{m^3}{min}$ ]
- Lubricación del bastidor: bomba con filtro roscado
- Presión nominal: 7 [bar].

Las normas utilizadas para el análisis comparativo 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 [%].

---

<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.

Se hizo un análisis comparativo de caudales para dos compresores de tornillos de la Industria Petrolera.

Pasos a considerar para el correcto entendimiento del análisis estudiado.

En análisis se dispone de forma ficticia para los valores dados por los fabricantes. La comparación se ajustó de acuerdo a parámetros de estandarización dado en primer lugar por los fabricantes y en segundo lugar por la norma propuesta anteriormente

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 ficticio realizado a un compresor de tornillo modelo GA45 VSD FF vs un compresor de tornillo rotativo serie HG10 modelo HG10000 y su comparación con los datos proporcionados por los fabricantes.

### 6.2 Comparación entre los caudales ensayados y los valores obtenidos por los fabricantes

En el Grafico1 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 GA45 VSD FF y HG10000.

GA45 VSD FF:

- En este se aprecia que el caudal máximo dado por el fabricante<sup>2</sup> se alcanza a los  $565[\frac{m^3}{h}]$  a una presión de descarga de 4[bar] mientras que el mínimo caudal se alcanza a los  $410[\frac{m^3}{h}]$  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 1,55% respecto al Caudal dado por el fabricante, 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 aumentando la presión de descarga en todos los puntos.

HG10000

- En este se aprecia que el caudal máximo dado por el fabricante<sup>3</sup> se alcanza a los  $600[\frac{m^3}{h}]$  a una presión de descarga de 4[bar] mientras que el mínimo caudal se alcanza a los  $480[\frac{m^3}{h}]$  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

---

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



ensayado de 0,79% respecto al Caudal dado por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

- Al igual que el modelo GA45 VSD se observa un error dentro de márgenes aceptables, pero no se cumple la tendencia esperada de disminución de caudal al ir aumentando la presión de descarga en todos los puntos.
- Se observa valores de caudal mas alto a presiones más bajas, como además una disminución progresiva a medida que la presión aumenta, pero con valores de caudal más altos que los observados para el modelo GA45 VSD.

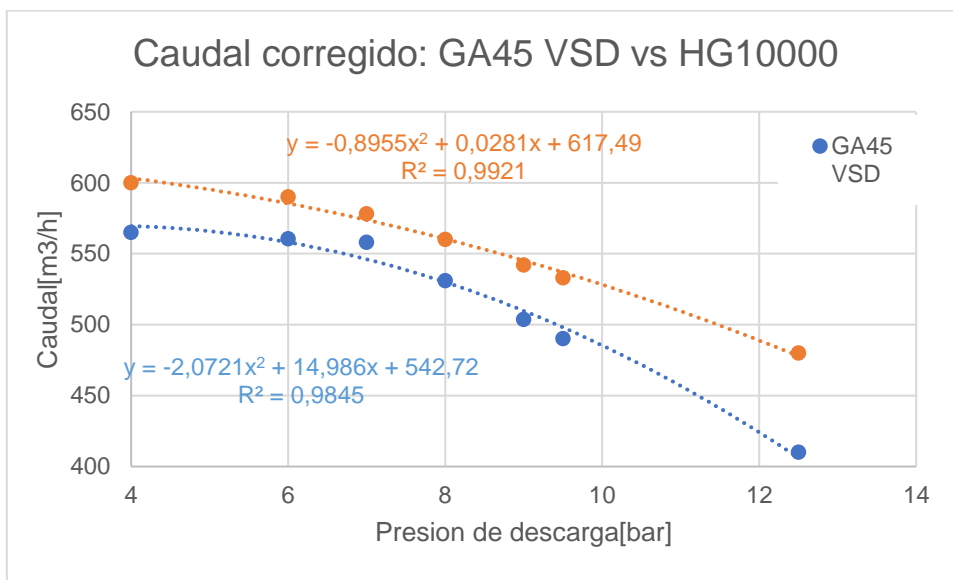


Gráfico1: Representación de caudales estudiados mediante un ensayo teórico vs caudal entregado por el fabricante.

### 6.3 Análisis en la industria

En esta sección se abarcará de manera general los puntos mas importantes observados en la optimización del sector industrial de Petróleo y Gas, comparándolos con los modelos de compresores estudiados.

#### 6.3.1 Descripción del proceso

Se dará una descripción de los usos más típicos para cada modelo

HG 10000 (Utilización en aplicaciones Upstream)

- Antes de que pueda comenzar la perforación, la exploración sísmica ayuda a desenterrar los depósitos de hidrocarburos tanto en tierra como en alta mar. Una

vez que los geólogos identifican y evalúan una ubicación prospectiva, la exploración y la perforación de producción pueden comenzar. El procesamiento y tratamiento del petróleo crudo lo hace seguro y viable para procesos petroquímicos posteriores

- Algunas aplicaciones son:
  - Obtención de gas
  - Compresión de gas en boca de pozo
  - Bombeo de gas combustible
  - Recuperación de vapor
  - Re presurización de gas inerte
  - Gases de vertedero

#### GA45 VSD (Aplicaciones Downstream)

- Aplicaciones en refinería y petroquímica. Su objetivo es la eliminación de azufre, calentamiento de procesos, regeneración de catalizadores, recuperación de hidrógeno, aire y purificación de instrumentos, entre otros.
- La etapa final implica la distribución al mercado de la energía y sus industrias. El gas natural comprimido es un combustible alternativo popular, y los propulsores de gas combustible alimentan las turbinas en las plantas de energía impulsadas este combustible natural.

Pese a que ambos compresores están presentes en ambas aplicaciones, son mas utilizadas por sus características de funcionamiento y construcción a los ya mencionados.

#### 6.3.2 Fluido principal asociado

El compresor de tornillo desplaza aire en sentido positivo, y la forma de comprimir es continua, a diferencia de su antecesor (de pistón) que tenía una fase de aspiración y otra de compresión. Esto hace que en el compresor de tornillo se produzca un flujo de aire continuo.

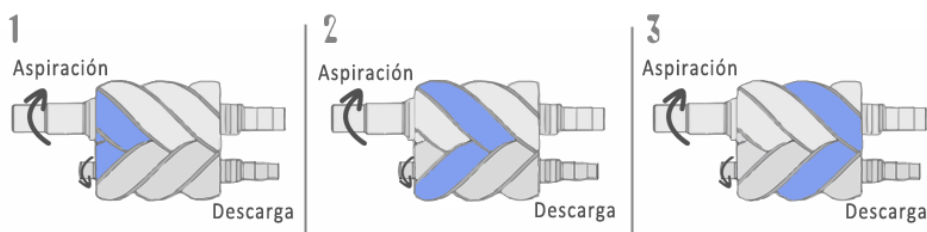


Figura1: Representación del proceso de compresión en un compresor de tornillo.

### 6.3.3 Fluido secundario

Se comparan dos compresores de tornillo con y sin inyección de aceite.

Compresor de tornillo con inyección de aceite: Los compresores de tornillo con inyección de aceite proporcionan aire comprimido de alta calidad, son fáciles de instalar y requieren un mínimo de trabajo de instalación en el sitio. Debido a que pueden soportar condiciones severas, son ideales a bordo de embarcaciones marinas (si la aplicación no requiere aire exento de aceite con certificación de Clase 0).

Compresores de tornillo sin aceite: Los compresores de tornillo sin aceite ofrecen la máxima fiabilidad y eficiencia incluso en las condiciones más duras. Los compresores de tornillo sin aceite también se pueden diseñar con un techo a prueba de fuego y controles adicionales.

Los compresores estudiados utilizan aceite como medio de lubricación y refrigeración para los distintos elementos.

Los componentes nombrados a continuación son los que participan de forma directa con el fluido secundario(aceite):

#### HG10000

- Bomba de aceite integrada para aplicaciones con baja diferencia de presión, con o sin eje de ventilado
- Módulos con enfriador de aceite, posee un enfriador, conjunto de depósito de gas/aceite, válvula térmica, ventilador, conjunto de filtro de aceite, válvula de presión mínima y mirilla de vidrio que están montados en una sub-base de acero con componentes conectados.

#### GA45 VSD

- Prefiltros.
- Termóstato tropical.
- Utilización aceite grado alimenticio.
- Filtro UD+.
- Aceite RXD para mejorar la tasa de transferencia de calor.

## 7 Conclusión.

### 7.1 Caudal.

- Los compresores de Tornillo ensayados para los modelos GA45 VSD FF y HG10000 presentaron un comportamiento bueno respecto a los valores dados por los fabricantes, pese a presentar puntos en los cuales se excedía de los límites máximos impuestos. Estos errores pueden deberse a los procedimientos en los sistemas de unidades utilizados y en la modificación de parámetros para ser adaptados a las normas impuestas, como además a las interpolaciones realizadas
- 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 Grafico1, en donde el caudal ensayado supera el límite máximo impuesto por el fabricante a los 6[bar] para el modelo Ga45 VSD y de 7[bar] para el modelo HG10000.
- 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 Fluidos.

El compresor de tornillo desplaza aire en sentido positivo. La forma de comprimir continua de este tipo de compresores (a diferencia de los de pistón) hacen que se produzca un flujo de aire continuo.

También destacamos que existen los compresores de tornillo con y sin inyección de aceite. Los primeros proporcionan aire comprimido de alta calidad y son fáciles de instalar, mientras que los segundos ofrecen una máxima fiabilidad y eficiencia incluso en las condiciones más adversas.

---

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

## 8 Referencias.

- Guía de <<FLUIDS AND LUBRICATION EQUIPMENT, Bombas de pistón liviano>> de RAASM.
  - Catalogo del Fabricante para modelos HG10000 y HGF10000<< Compresores de gas de tornillo rotativo>>
    - <https://www.gardnerdenver.com/es-cl/leroi/products/hg10-and-hgf10-series>
  - 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 y HGF10000.

#### **DIAGRAMA DE FLUJO GA 37-75 VSD<sup>+</sup>**

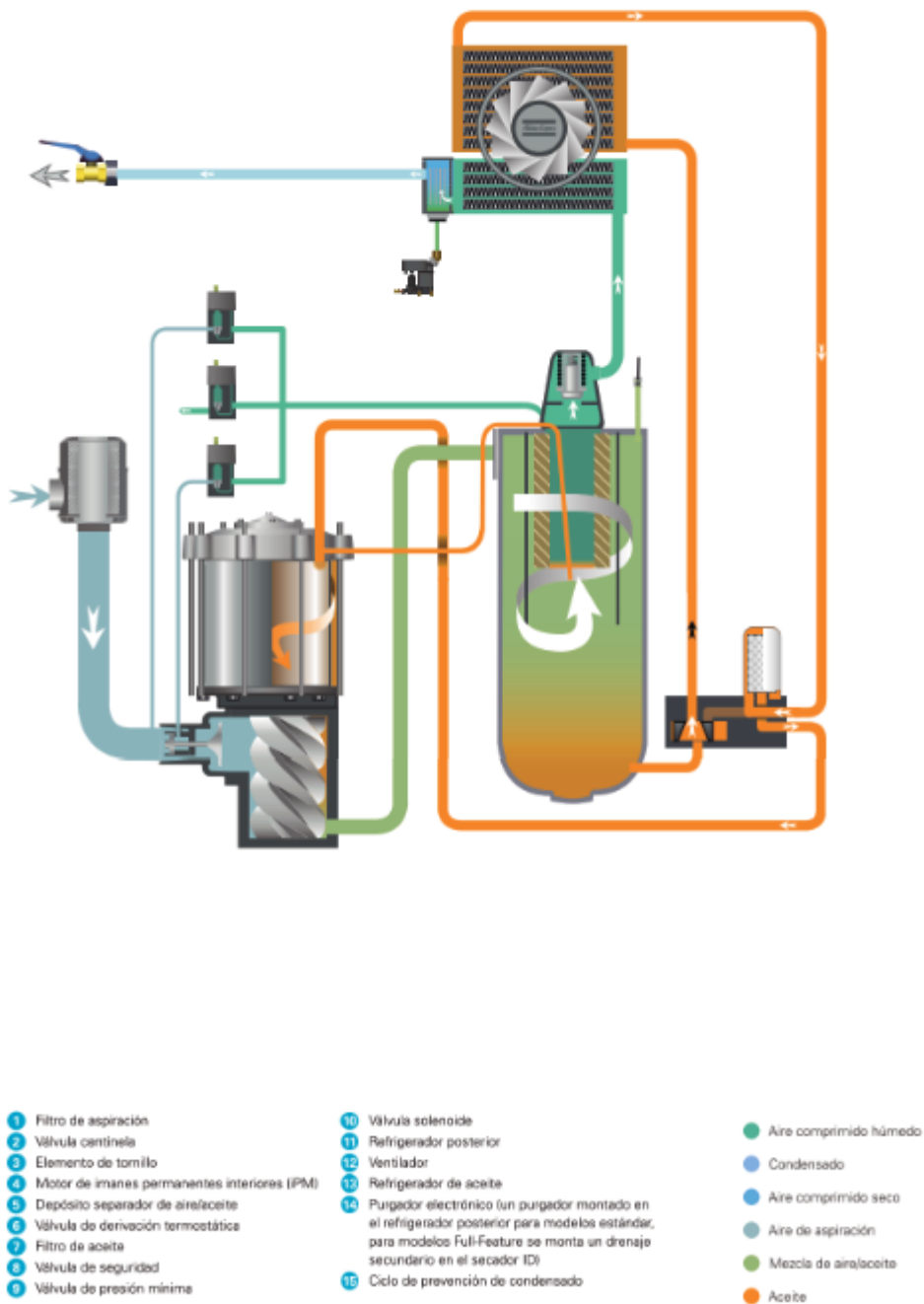
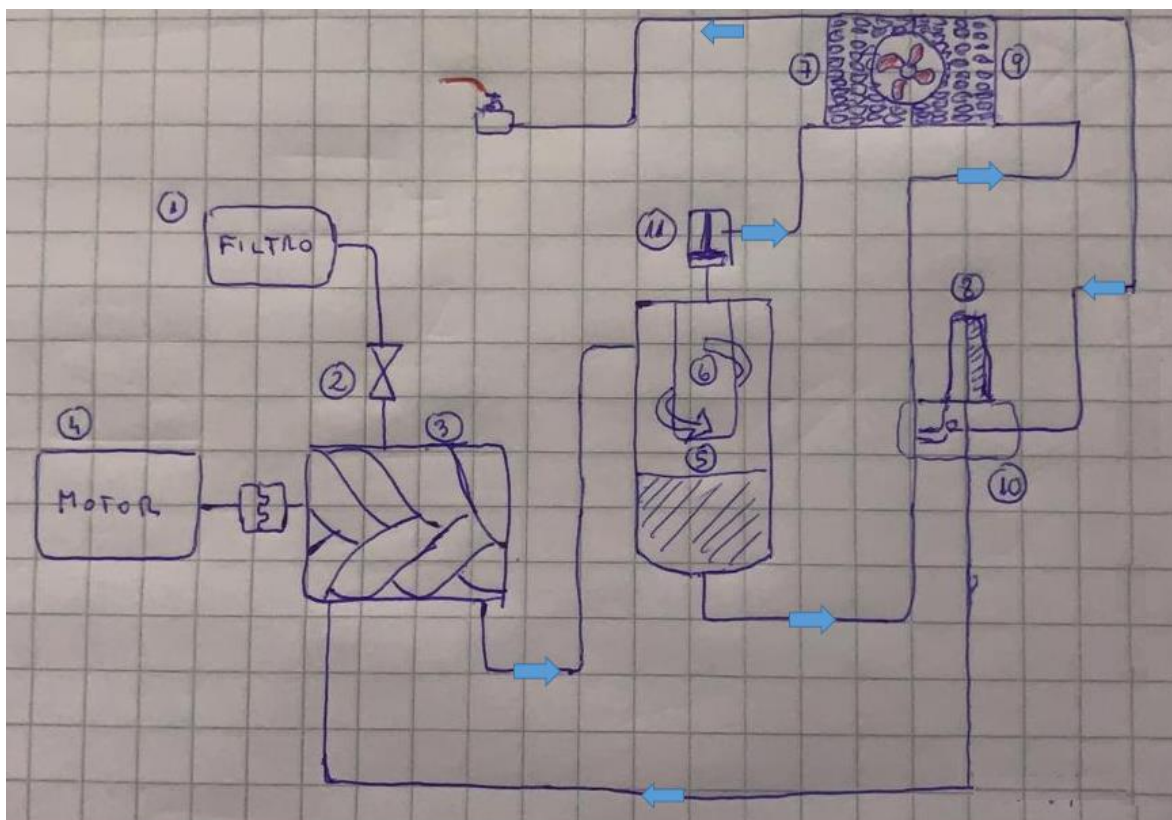


Ilustración 1: Diagrama de flujo de máquina de desplazamiento positivo modelo GA7 VSD FF.



#	Item	#	Item
1	Filtro	7	Intercambiadores de Calor
2	Válvula	8	Sistema de Filtrado
3	Rotores	9	Refrigerador
4	Motor de Accionamiento	10	Válvula Termostática
5	Recipiente Receptor	11	Válvula de Retención y Mínima Presión
6	Filtro Separador		

Ilustración 2: Diagrama de flujo de máquina de desplazamiento positivo modelo HGF10000.

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 4 ppm, según cada fabricante).

## 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]

### 9.2.2 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.

### 9.2.3 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 de ensayos de compresores de tornillo.

HG100000		GA45 VSD	
P.Des	Caudal	P.Des	Caudal
$p_d$	Q	$p_d$	Q
[bar]	[m <sup>3</sup> /h]	[bar]	[m <sup>3</sup> /h]
4	600	4	565
6	590,00	6	560,33
7	578	7	558
8	560	8	530,8
9	542	9	503,6
9,5	533	9,5	490
12,5	480	12,5	410

Tabla1: Los valores entregados son productos de interpolación por lo cual no están exentos de errores.