

ENSAYO N° 8

COMPORTAMIENTO DEL COMPRESOR RECÍPROCO

Nombre: Javier Sanhueza

Asignatura: Laboratorio de máquinas.

Profesores: Cristóbal Galleguillos Ketterer - Tomás Herrera Muñoz

Fecha: 26 - 10 - 2020

## Índice

1.- Objetivo.....	2
2.- Trabajo de laboratorio. ....	2
3.- Desarrollo.....	3
4.- Gráficos .....	6
5 Conclusiones y observaciones al ensayo.....	13
6 Anexo.....	13

## 1.- Objetivo.

Analizar el comportamiento del compresor recíproco sometido a distintas condiciones de operación.

## 2.- Trabajo de laboratorio.

2.1 Instalar y preparar los instrumentos para medir: temperaturas, potencia indicada y eléctrica, tensión y corriente, flujos de aire y agua.

2.2 Poner en marcha el compresor y esperar un tiempo para que se estabilice su operación.

– Con la presión manométrica de descarga nominal, 7 [kp/cm<sup>2</sup>], tome las siguientes mediciones:

- \* Presión de descarga, [kp/cm<sup>2</sup>].
- \* Velocidad del compresor, [rpm].
- \* Temperatura de aspiración y de descarga de ambos cilindros, [°C].
- \* Diagramas indicados para cada cilindro.
- \* Temperatura del estanque de baja presión, [°C].
- \* Presión en el estanque de baja presión, [cmca].
- \* Temperaturas de entrada y salida del agua de refrigeración, [°C].
- \* Tiempo en llenarse el recipiente de volumen conocido, [s].
- \* Tensión y corriente eléctrica, [V] y [A] respectivamente.
- \* Potencia eléctrica, método de los dos Wattmetros, [kW].

– Se repiten las mediciones para las presiones 6, 5, 4, ..., hasta 1 [kp/cm<sup>2</sup>].

La presión atmosférica, 760.1 [mmHg], se mide al inicio del ensayo.

### 3.- Desarrollo.

Compresor						Estanque de		Agua de refrigeración			Motor Eléctrico					
Presión	Velocidad	Temperatura				baja presión		Temperatura		tiempo	Tensión	Corrientes			Potencia	
Pd	n	tecbp	tsebp	tecap	tecap	tebp	ΔP	tea	tsc	10 l	V	I1	I2	I3	W1	W2
[kp/cm <sup>2</sup> ]	[rpm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmca]	[°C]	[°C]	[s]	[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]
7,0	499,3	23	48	27	89	39	514	18	26,5	78	375	17,2	15,9	16	6,53	3,28
6,0	498,7	23	49	27	87	40	544	18,5	26,5	75	375	16,5	15,3	15,4	6,53	3,06
4,9	500,8	23	49	27	77	41	532	18,5	26,5	77	376	15,2	13,9	13,8	5,73	2,7
3,9	503,0	23	50	27	67	40	552	18,5	26,5	76	376	14,1	13,2	13,1	5,33	2,6
2,8	503,4	24	56	27	56	39	562	18,5	26,5	76	376	13,2	12,6	12,1	5	2,4
1,8	505,2	24	56	27	42	37	576	18,5	26,5	74	376	11,9	11,4	11	4,69	2,12
1,0	507,0	23	54	27	31	39	584	18,5	26,5	77	376	10,4	9,9	9,5	4,1	1,64

#### 3.1-Tabla de valores medidos.

Presion atmosferica: 1.033 kp/cm<sup>2</sup> constante durante todos los ensayos.

#### 3.2 Fórmulas

Capacidad:

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

#### ESTANQUE DE BAJA PRESIÓN

Donde:

V:	Capacidad, caudal de aire libre [m <sup>3</sup> /h]
α= 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]
Ta:	temperatura absoluta de aspiración del compresor [K]
T:	Temperatura absoluta del estanque de baja presión [K]
H:	presión en el manómetro diferencial [cm <sub>agua</sub> ]
Pa:	presión barométrica [cm <sub>agua</sub> ]

Cilindrada:

$$Cl = \frac{1}{4} * \pi * D_{CBP}^2 * L$$

Cl:	Cilindrada [m <sup>3</sup> ]
D <sub>CBP</sub> :	Diámetro cilindro de baja presión [m]
L:	Carrera [m]

Desplazamiento:

$$Dl = Cl * n$$

Dl: Desplazamiento por minuto [m<sup>3</sup>/min]  
n: Velocidad rotacional [rpm]

Rendimiento volumétrico real:

$$\eta_r = \frac{V}{60 * Dl} * 100$$

Rendimiento volumétrico convencional:

$$\eta_{VC} = \left( 1 - C \left( r^{\left( \frac{1}{k} \right)} - 1 \right) \right) * 100$$

C: Porcentaje de espacio muerto [-]

$$C = \frac{\text{Volumen espacio Muerto}_{CBP}}{Cl}$$

Rendimiento volumétrico convencional indicado:

$$\eta_{VCI} = \frac{l_{\text{Capacidad}}}{l_{Cl}} * 100$$

Presión media Indicada:

$$Pmi = \frac{A_{DICXP}}{L_{DICXP}} * K_{\text{Resorte CXP}} \text{ [kp/cm}^2\text{]}$$

A<sub>DICXP</sub>: Área diagrama indicado del cilindro que corresponda [cm<sup>2</sup>]  
L<sub>DICXP</sub>: Largo diagrama indicado del cilindro que corresponda [cm]  
K<sub>DICXP</sub>: Constante resorte indicador de diagramas del cilindro que corresponda. [¿?]

Potencia Indicada:

$$N_{iCXP} = \frac{P_{miCXP} * A_{CXP} * L * n * 9,80665}{60 * 1000} [kW]$$

$A_{CXP}$   
L

Área del cilindro que corresponda [cm<sup>2</sup>]  
Carrera del compresor [m]

Corriente media:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} [A]$$

Potencia eléctrica:

$$N_{Elec} = W_1 + W_2 [kW]$$

Caudal de agua:

$$V_{agua} = \frac{10}{\tau} * 60 [l/min] \quad [l/min]$$

Calor transferido:

$$Q = \rho * V_{agua} * c * (t_s - t_E) [kcal/min]$$

$\rho$   
c

Densidad del agua [kg/m<sup>3</sup>]  
Calor específico del agua [kcal/kg] o [J/kg]

Valores extraídos de los diagramas:

DIAGRAMAS INDICADOS		
CBP	CAP	CBP y CAP
Área	Área	$L_d$
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[mm]
0,000519	0,0005565	66
0,0004907	0,0005112	66
0,0004954	0,000447	66
0,0004723	0,0003709	66
0,0004893	0,0002664	66
0,0004746	0,0001414	66
0,0004405	0,0000507	66

3.3-Tabla de área y largo de los diagramas del compresor.

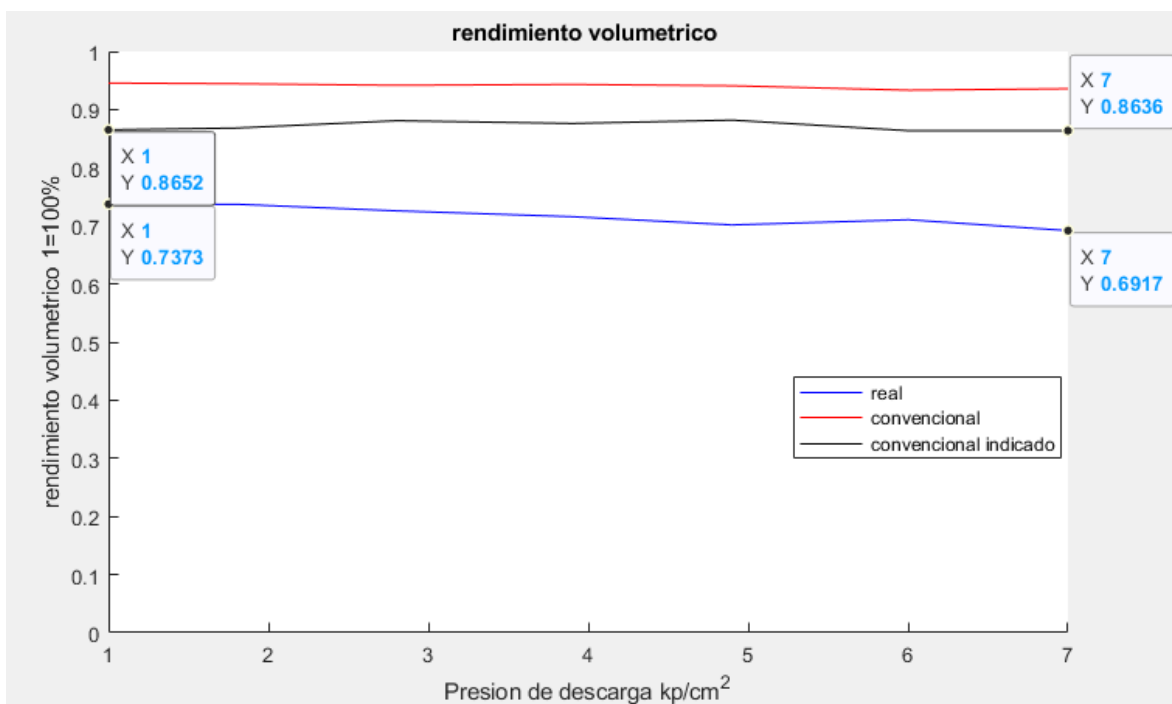
Pd	Cl	DI	V	$\eta_{VR}$	$\eta_{VC}$	$\eta_{VCI}$	PMI - CBP	PMI - CAP
kp/cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /h	1=100%	1=100%	1=100%	kp/cm <sup>2</sup>	kp/cm <sup>2</sup>
7.00	2950.74	1.77	73.48	0.69	0.94	0.86	1.31	2.81
6.00	2950.74	1.77	75.47	0.71	0.93	0.86	1.24	2.58
4.90	2950.74	1.77	74.52	0.70	0.94	0.88	1.25	2.26
3.90	2950.74	1.77	76.03	0.72	0.94	0.88	1.19	1.87
2.80	2950.74	1.77	77.09	0.73	0.94	0.88	1.24	1.35
1.80	2950.74	1.77	78.30	0.74	0.94	0.87	1.20	0.71
1.00	2950.74	1.77	78.32	0.74	0.95	0.87	1.11	0.26

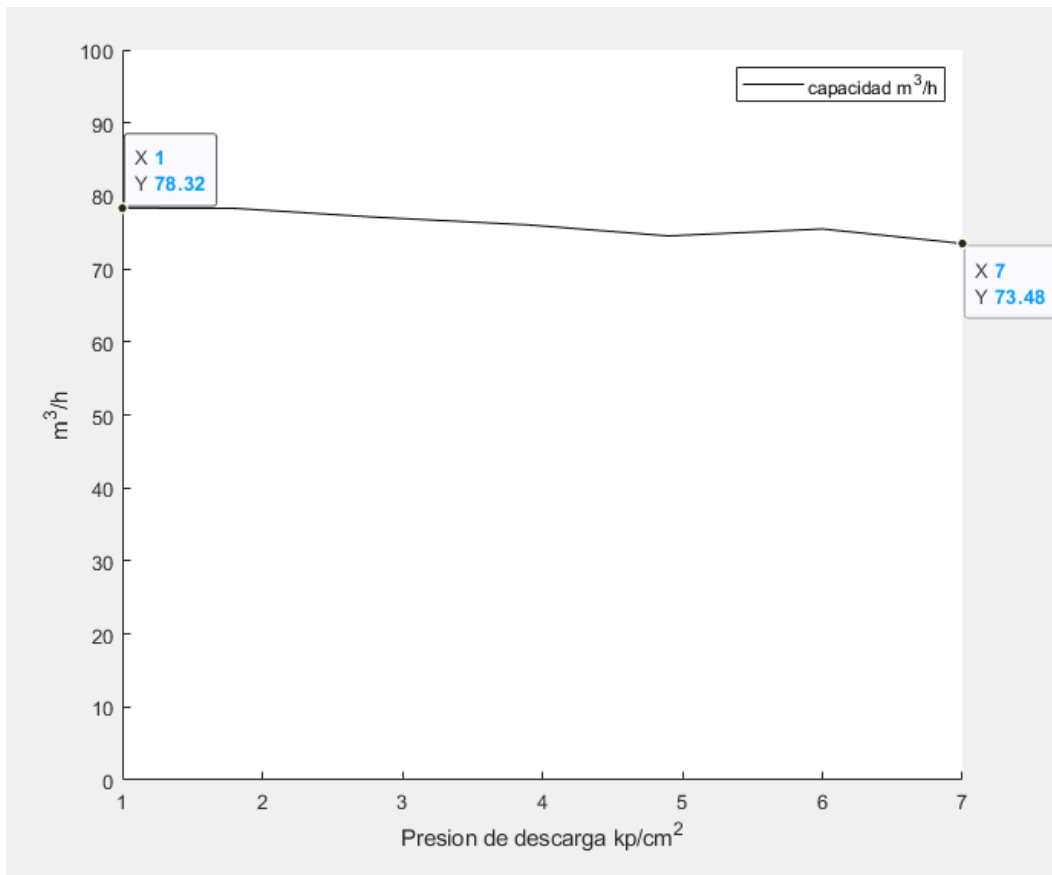
Pd	Ni-CBP	Ni-CBP	Ni-CBP	I	Ni-CBP	N-elect	Q
kp/cm <sup>2</sup>	kW	kW	kW	A	kW	kW	Kw
7.00	3.79	3.41	7.20	16.37	9.81	0.13	4.55
6.00	3.59	3.13	6.71	15.73	9.59	0.13	4.46
4.90	3.62	2.74	6.36	14.30	8.43	0.13	4.34
3.90	3.45	2.27	5.72	13.47	7.93	0.13	4.40
2.80	3.58	1.63	5.21	12.63	7.40	0.13	4.40
1.80	3.47	0.87	4.33	11.43	6.81	0.14	4.52
1.00	3.22	0.31	3.53	9.93	5.74	0.13	4.34

3.4 Tabla de valores calculados para cada presión de descarga.

## 4.- Gráficos

4.1 Graficar el rendimiento volumétrico real, convencional, convencional indicado y la capacidad, en función de la presión de descarga.





#### 4.1.1 ¿La forma de las curvas es la correcta?

Todas las curvas de rendimiento volumétrico muestran tendencia a disminuir mientras se aumenta la presión de descarga, concurda con la formulación de ecuaciones y teoría.

La capacidad está directamente relacionada al rendimiento volumétrico y queda evidenciado en los gráficos, a mayor rendimiento volumétrico mayor capacidad de comprimir volumen de aire y a menor presión de descarga mayor rendimiento volumétrico.

#### 4.1.2 ¿Los valores del rendimiento volumétrico real están en el rango que le corresponde?

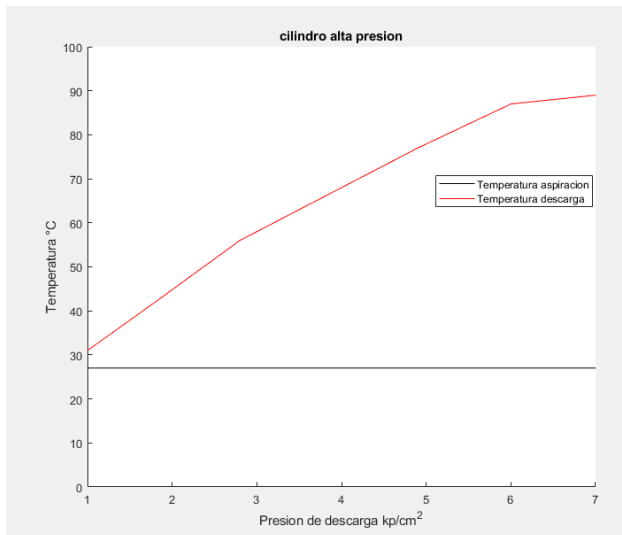
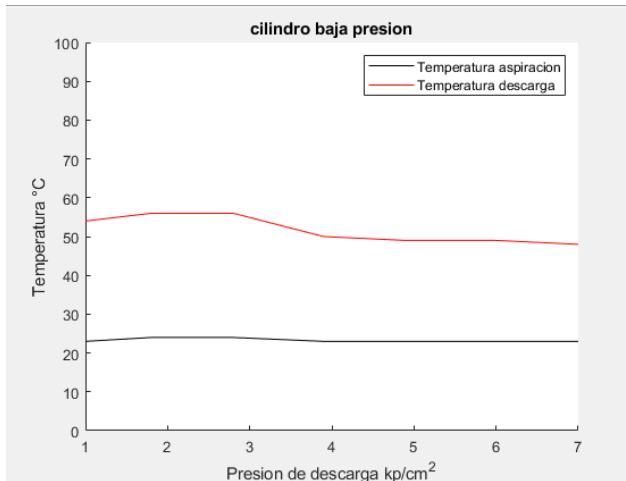
Todos los rendimientos volumétricos están en los rangos típicos de operación.

#### 4.1.3 ¿Cómo explica las diferencias entre el rendimiento volumétrico real y los otros rendimientos?

El rendimiento volumétrico real considera todas las irreversibilidades del proceso, tales como roce, presiones de succión y bombeo, generación de calor y posibles pérdidas de compresión describiendo la operación real, los otros rendimientos son simplificaciones teóricas que no consideran los factores mencionados y por tanto su magnitud es siempre mayor al rendimiento real.



4.2 Graficar la temperatura de aspiración y descarga de cada cilindro, en función de la presión de descarga.



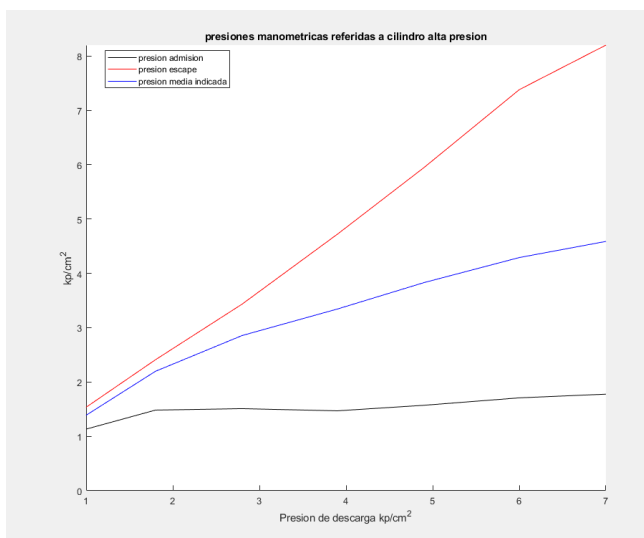
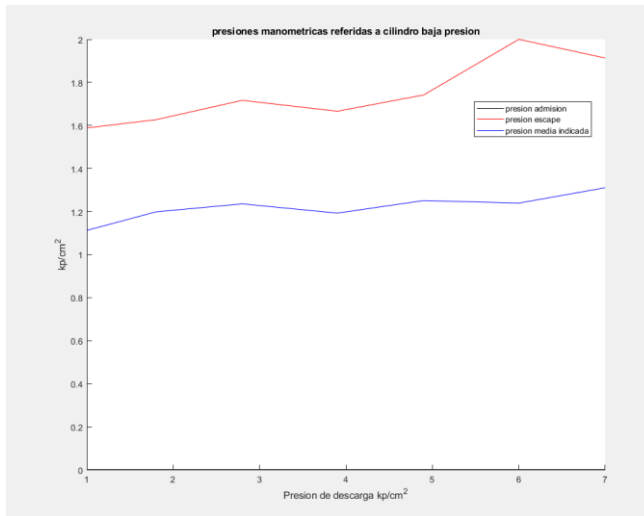
4.2.1 ¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

El comportamiento de la temperatura del cilindro de baja presión es curioso dado que las temperaturas disminuyen al incrementar la presión de descarga, este comportamiento se puede explicar dado que el compresor trabaja en condiciones no nominales y por tanto no aprovecha la energía de manera eficiente generando calor adicional en presiones de descarga inferiores a la nominal.

4.2.2 ¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Las temperaturas de operación están en el rango de operación típica de un compresor, incrementándose drásticamente las temperaturas de escape en el cilindro de alta presión a medida que aumenta la presión de descarga.

3.4.3 Graficar la presión de aspiración y descarga de cada cilindro y la presión intermedia teórica, en función de la presión de descarga.



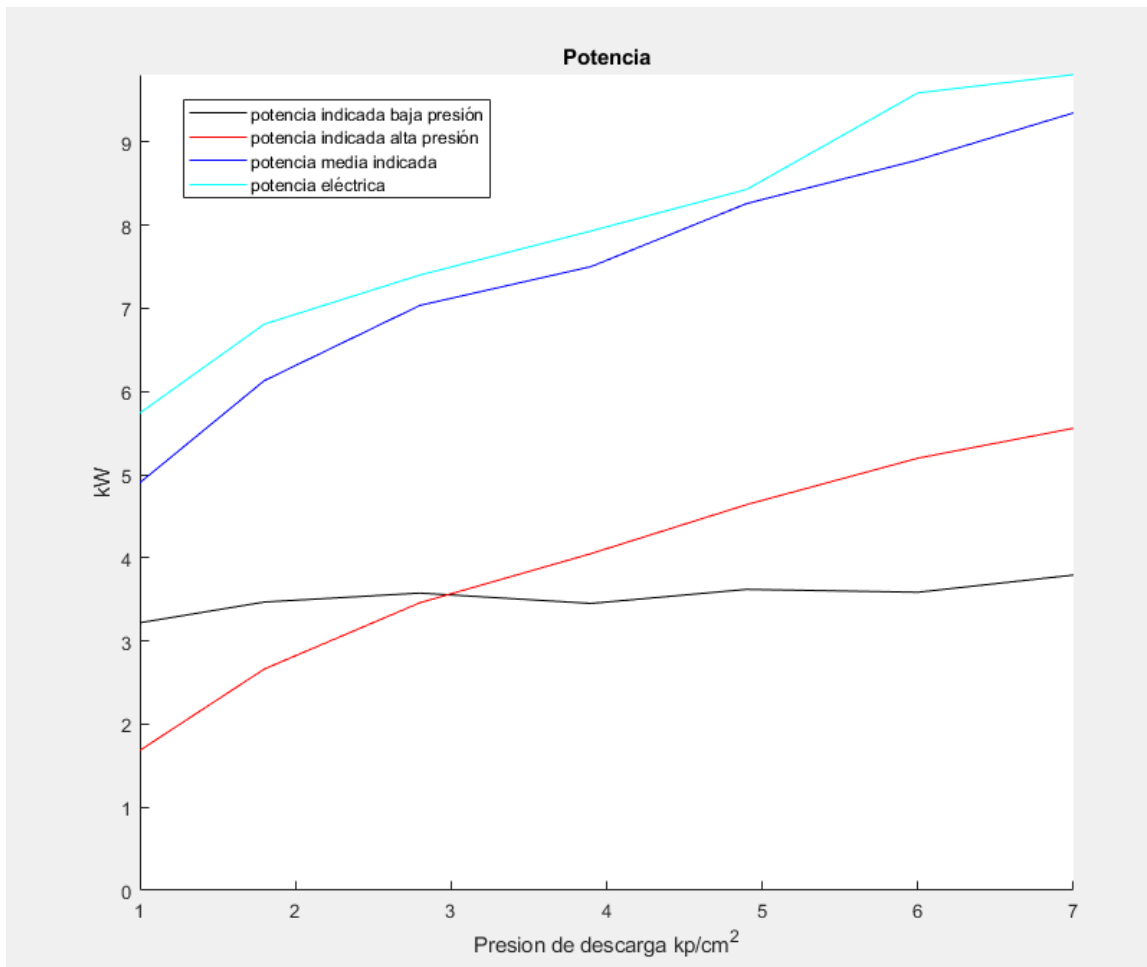
4.3.1 ¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

Las curvas se comportan según la teoría, la presión media del cilindro de baja y alta presión aumenta proporcionalmente según la descarga, siendo la pendiente mas notoria en el de alta presión, esto se explica por que el cilindro de baja presión trabaja los rangos de presiones menores y el trabajo realizado por el cilindro de alta depende principalmente de la presión de descarga.

4.3.2 ¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Si, los valores concuerdan y representan una condición de compresión como la indicada por la teoría de turbomáquinas, donde el trabajo del cilindro de baja presión permanece relativamente “constante” con una leve pendiente influenciada por la presión de descarga y el trabajo de alta presión depende fuertemente de la presión de escape.

4.4 Graficar la potencia indicada de cada cilindro y total; la potencia y la corriente eléctrica, en función de la presión de descarga.



4.4.1 ¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.

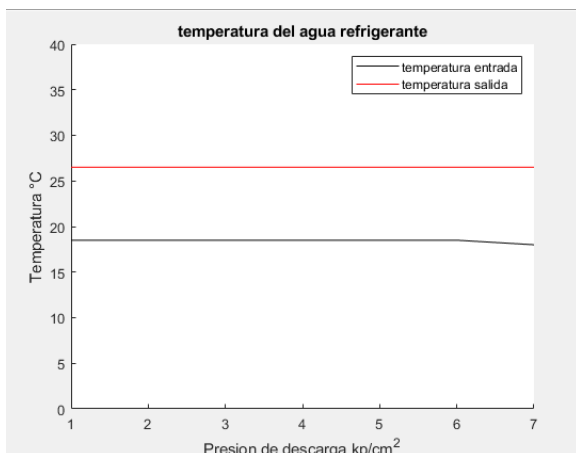
La potencia eléctrica suministrada es mayor a la potencia indicada del compresor y de esta diferencia se extrae una eficiencia cercana al 85%, la potencia indicada proporcionada por el cilindro de baja presión es casi constante, por tanto el cilindro de baja presión trabaja de manera permanente cercano de 3.2 kW y el trabajo del cilindro de alta presión aumenta con la presión de descarga, elevando la presión a las necesidades de descarga y con ello incrementando la potencia.

De la curva de potencia indicada de alta presión con forma parabólica se infiere la existencia de una máxima presión de descarga y que la eficiencia del compresor se incrementa al aumentar la presión de descarga, necesitando menos energía para incrementar la presión en 1 kp/cm<sup>2</sup>.

4.4.2 ¿Los valores están en el rango que le corresponde?

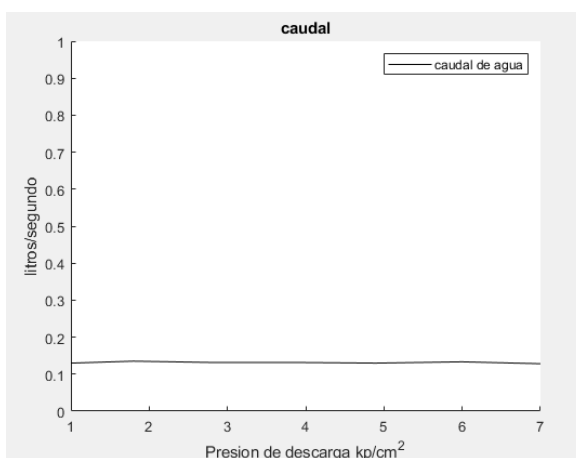
El comportamiento de las curvas y sus magnitudes son completamente ordinarios y consecuentes con la operación real.

4.5 Graficar la temperatura de entrada y salida del agua de refrigeración; el caudal de agua; el calor total de la refrigeración del compresor, en función de la presión de descarga.



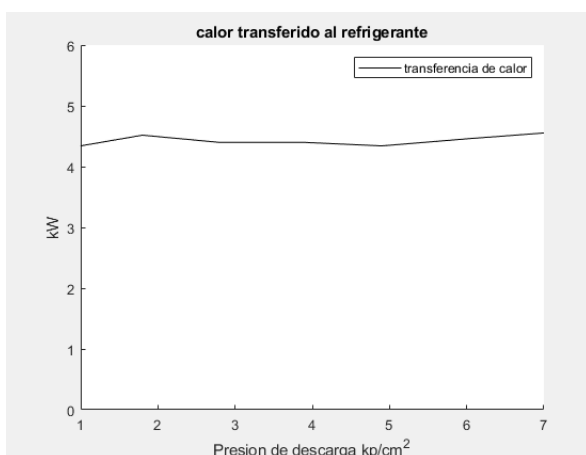
4.5.1 ¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.

Las curvas permanecen casi constantes durante todos los regímenes de operación, la energía que se pierde en la refrigeración ronda los 4.3-4.5 kW sin sufrir una influencia notable por la presión de descarga, por tanto a menores presiones de descarga se gasta una cantidad significativa de energía en la refrigeración disminuyendo el rendimiento del sistema, la máxima eficiencia se alcanza con una presión de descarga de 7  $\text{kp/cm}^2$  que es la presión nominal.

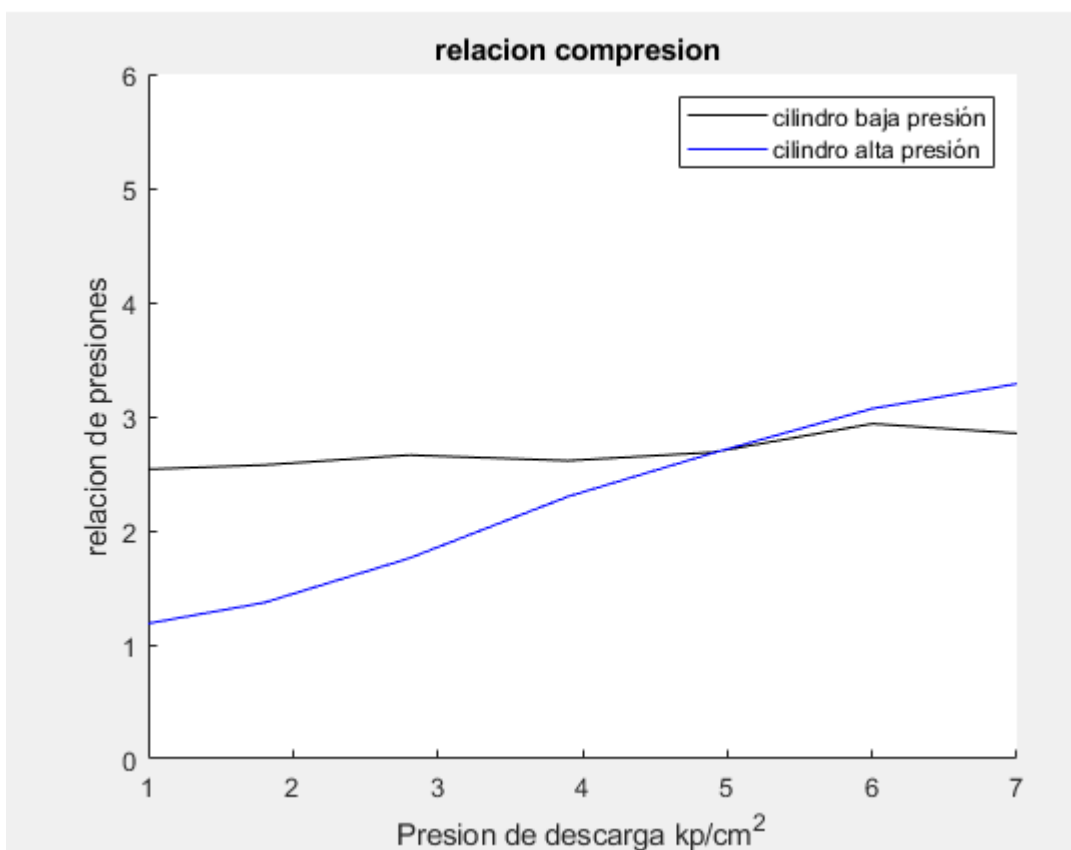


3.4.5.2 ¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Las magnitudes de operación en todos los gráficos son completamente razonables, dada la naturaleza del sistema de refrigeración y la enorme inercia térmica del agua.



4.6 Graficar la relación de compresión de cada cilindro, en función de la presión de descarga.



4.6.1 ¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

Las curvas son consecuentes con todo el ensayo, el comportamiento del cilindro de baja presión es casi constante, lo que tiene sentido considerando su comportamiento general de operación y consumo energético mientras que el de alta presión incrementa la relación de compresión según la presión de descarga con una acusada pendiente, este comportamiento va en concordancia con las temperaturas, presiones de descarga y potencia consumida medidas en esta etapa.

4.6.2 ¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Describen el comportamiento típico de un compresor de dos etapas, el cilindro de baja trabaja comprimiendo el gas hasta 1.6-2  $\text{kp/cm}^2$  mientras que el cilindro de alta presión lleva el gas hasta la presión requerida en el escape, cuando la presión de descarga requerida es baja el segundo cilindro apenas trabaja y cuando la presión es elevada el cilindro de segunda etapa trabaja a plena capacidad.

## 5 Conclusiones y observaciones al ensayo.

- El cilindro de baja presión trabaja de manera casi constante variando levemente sus propiedades de presión, temperatura y potencia consumida según la presión de descarga.
- El cilindro de alta presión tiene un comportamiento fuertemente influenciado por la presión de descarga, variando todos los parámetros medidos según la presión de descarga.
- La eficiencia del sistema se incrementa al trabajar cerca de la presión nominal del dispositivo.
- La potencia empleada en la refrigeración influye fuertemente en la operación del compresor determinando el punto de operación óptimo (7 kp/cm<sup>2</sup>).

## 6 Anexo

Fotocopia de los diagramas indicados

