



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

Informe N°5: Ensayo de un Compresor Recíproco

Laboratorio de Máquinas

Profesores

Cristóbal Galleguillos Ketterer

Tomás Herrera Muñoz

Alumno

Héctor Muzio Harris

Resumen

En este ensayo se obtuvieron un gran número de resultados, entre los cuales destacan los siguientes
Siendo

Pd: presión de descarga

Cl: volumen barrido

DI: Desplazamiento por minuto

V: Caudal de aire libre

η VR: Rendimiento volumétrico real

η Vc: Rendimiento volumétrico convencional

η Vci: Rendimiento volumétrico convencional indicado

	pa	Cl	DI	V	η	η	η
					VR	VC	VCI
Medición	kp/ cm²	m³	m³/min	m³/h	%	%	%
1	7,0	0,00295	1,47330462	73,47732088	83,1207609	91,23661246	86,7394696
2	6,0	0,00295	1,47153418	75,47034431	85,4780737	91,51695814	85,3354134
3	4,9	0,00295	1,47773074	74,51437144	84,0414401	93,20749596	87,9875195
4	3,9	0,00295	1,48422236	76,023248	85,3682146	95,04183588	86,7394696
5	2,8	0,00295	1,48540266	77,09117219	86,4986245	96,59559998	87,0514821
6	1,8	0,00295	1,49071399	78,29683075	87,5384001	98,35716998	86,4274571
7	1,0	0,00295	1,49602533	78,32099151	87,2545295	99,3130447	87,0514821

Tabla 1

Índice

Introducción	4
Objetivos	5
Objetivo general.	5
Trabajo de laboratorio.	5
Tabla de valores medidos	6
Fórmulas	6
Constantes utilizadas	9
Tabla de valores obtenidos	9
Graficar el rendimiento volumétrico real, convencional, convencional indicado y la capacidad, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa	11
¿La forma de las curvas es la correcta?	11
¿Cómo explica las diferencias entre el rendimiento volumétrico real y los otros rendimientos?	12
Graficar la temperatura de aspiración y descarga de cada cilindro, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.	13
¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.	13
Graficar la presión de aspiración y descarga de cada cilindro y la presión intermedia teórica, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.	14
¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.	14
¿Los valores están en el rango que le corresponde?	15
Graficar la potencia indicada de cada cilindro y total; la potencia y la corriente eléctrica, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.	15
¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.	16
¿Los valores están en el rango que le corresponde?	16
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. En hoja nueva y completa.	17
¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.	18
¿Los valores están en el rango que le corresponde?	18
Graficar la relación de compresión de cada cilindro, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.	18
¿La posición relativa de las curvas es la correcta? Si es necesario explique.	19
Conclusión	20
Bibliografía.	21

Introducción

En el presente trabajo, se analizarán por medio de distintas mediciones, el comportamiento en los distintos cilindros de un compresor reciproco de 2 etapas. Tanto su comportamiento en el cilindro de baja presión, como en el cilindro de alta presión, sumado así a los elementos generales que interactúan en el funcionamiento de este compresor, como es el sistema de refrigeración, el motor eléctrico y el estanque de baja presión.

El análisis de estos elementos permitirá de igual manera hacer una comparación con los modelos ideales y reales de compresión, como también de las presiones de descarga obtenidas, con las presiones de descargas señaladas por el fabricante.

Objetivos

Objetivo general.

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

Trabajo de laboratorio.

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

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

– Con la presión manométrica de descarga nominal, 7 [kp/cm²], tome las siguientes mediciones:

- * Presión de descarga, [kp/cm²].
- * 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/cm²].

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

Tabla de valores medidos

	Compresor						Estanque de baja presión		Agua de refrigeración		
	Presión	Velocid	Temperatura						Temperatura		tiempo
	Pd	n	tecbp	tsebp	tecap	tecap	tebp	ΔP	tea	tse	τ
	[kp/cm2]	[rpm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmca]	[°C]	[°C]	[s]
1	7,0	499,3	23	48	27	89	39	514	18	26,5	78
2	6,0	498,7	23	49	27	87	40	544	18,5	26,5	75
3	4,9	500,8	23	49	27	77	41	532	18,5	26,5	77
4	3,9	503,0	23	50	27	67	40	552	18,5	26,5	76
5	2,8	503,4	24	56	27	56	39	562	18,5	26,5	76
6	1,8	505,2	24	56	27	42	37	576	18,5	26,5	74
7	1,0	507,0	23	54	27	31	39	584	18,5	26,5	77

Tabla 2

		Motor Eléctrico							
	Pd	Tensión	Corrientes			Potencia		Patm.	Patm.
		V	I1	I2	I3	W1	W2		
	kp/ cm²	[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[mmHg]	[cmagua]
1	7,0	375	17,2	15,9	16	6,53	3,28	760,1	1033,36
2	6,0	375	16,5	15,3	15,4	6,53	3,06	760,1	1033,36
3	4,9	376	15,2	13,9	13,8	5,73	2,7	760,1	1033,36
4	3,9	376	14,1	13,2	13,1	5,33	2,6	760,1	1033,36
5	2,8	376	13,2	12,6	12,1	5	2,4	760,1	1033,36
6	1,8	376	11,9	11,4	11	4,69	2,12	760,1	1033,36
7	1,0	376	10,4	9,9	9,5	4,1	1,64	760,1	1033,36

Tabla 3

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 [m³/h]

α= 0,600 coeficiente de caudal del diafragma

S: sección del orificio del diafragma en [cm²], el diámetro 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_{agua}]

Pa: Presión barométrica [cm_{agua}]

Cilindrada:

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

Cl: Cilindrada [m³]

DCBP: Diámetro cilindro de baja presión [m]

L: Carrera [m]

Desplazamiento:

$$Dl = Cl * n$$

Dl: Desplazamiento por minuto [m³/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

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

Presión media Indicada:

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

A_{DICXP} :	Área diagrama indicado del cilindro que corresponda [cm^2]
L_{DICXP} :	Largo diagrama indicado del cilindro que corresponda [cm]
K_{DICXP} :	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}	Área del cilindro que corresponda [cm^2]
L	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:

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

ρ	Densidad del agua [kg/m^3]
c	Calor específico del agua [kcal/kg] o [J/kg]

Constantes utilizadas

α	S [cm ²]	K resorte de baja	K resorte de alta	densidad agua Kg/m ³	calor especifico del agua kcal/kg°c	volumen espacio muerto Cbp cm ³
0,6	3,80123436	6	3	1000	1	0,00017

Tabla 4

Áreas cilindros cm ²		
CBP	CAP	C %espacio muerto
226,980022	95,033158	0,057612661

Tabla 5

Tabla de valores obtenidos

	pd	Cl	DI	V	η	η	η
					VR	VC	VCI
	kp/ cm²	m³	m³/min	m³/h	%	%	%
1	7,0	0,00295	1,47330462	73,47732088	83,1207609	91,23661246	86,7394696
2	6,0	0,00295	1,47153418	75,47034431	85,4780737	91,51695814	85,3354134
3	4,9	0,00295	1,47773074	74,51437144	84,0414401	93,20749596	87,9875195
4	3,9	0,00295	1,48422236	76,023248	85,3682146	95,04183588	86,7394696
5	2,8	0,00295	1,48540266	77,09117219	86,4986245	96,59559998	87,0514821
6	1,8	0,00295	1,49071399	78,29683075	87,5384001	98,35716998	86,4274571
7	1,0	0,00295	1,49602533	78,32099151	87,2545295	99,3130447	87,0514821

Tabla 6

	Pd	P	P	A	A	Ni	Ni	Ni
		MI CBP	MI CAP	DI CBP	DI CAP	CBP	CAP	Total
	kp/ cm²	kp/c m²	kp/ cm²	cm²	cm²	kW	kW	kW
1	7	1,31061	2,81060606	5,19	5,565	3,15598	2,83367	5,9896507
2	6	1,23914	2,58181818	4,907	5,112	2,9803	2,59988	5,580182547
3	4,9	1,25101	2,25757576	4,954	4,47	3,02152	2,28294	5,304461014
4	3,9	1,19268	1,87323232	4,723	3,709	2,89328	1,9026	4,79588493
5	2,8	1,23561	1,34545455	4,893	2,664	2,99981	1,36763	4,367444253
6	1,8	1,19848	0,71414141	4,746	1,414	2,92009	0,72851	3,648600401
7	1	1,11237	0,25606061	4,405	0,507	2,71994	0,26214	2,982081824

Tabla 7

	Pd	I	N elect	V agua	Q
	kp/ cm2	A	kW	l/mi n	kca l/min
1	7	16,3667	9,81	7,692308	65384,61538
2	6	15,7333	9,59	8	64000
3	4,9	14,3	8,43	7,792208	62337,66234
4	3,9	13,4667	7,93	7,894737	63157,89474
5	2,8	12,6333	7,4	7,894737	63157,89474
6	1,8	11,4333	6,81	8,108108	64864,86486
7	1	9,93333	5,74	7,792208	62337,66234

Tabla 8

	Pa	Cap(Absoluta)		CBP(absoluta)			
	kp/ cm²	Presión de descarga Kp/cm2	Presión de aspiración Kp/cm2	Presión de descarga Kp/cm2	Presión de aspiración Kp/cm2	Rcomp CAP	Rcomp CBP
1	7,0	9,171	2,513	3,148	1,003	3,649	3,139
2	6,0	8,193	2,307	3,285	1,003	3,551	3,276
3	4,9	6,865	2,307	2,908	1,003	2,975	2,899
4	3,9	5,585	2,342	2,856	1,003	2,385	2,848
5	2,8	4,420	2,307	2,805	1,003	1,916	2,796
6	1,8	3,376	2,376	2,891	1,003	1,421	2,882
7	1,0	2,541	2,170	2,736	1,003	1,171	2,728

Tabla 9

Graficar el rendimiento volumétrico real, convencional, convencional indicado y la capacidad, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa

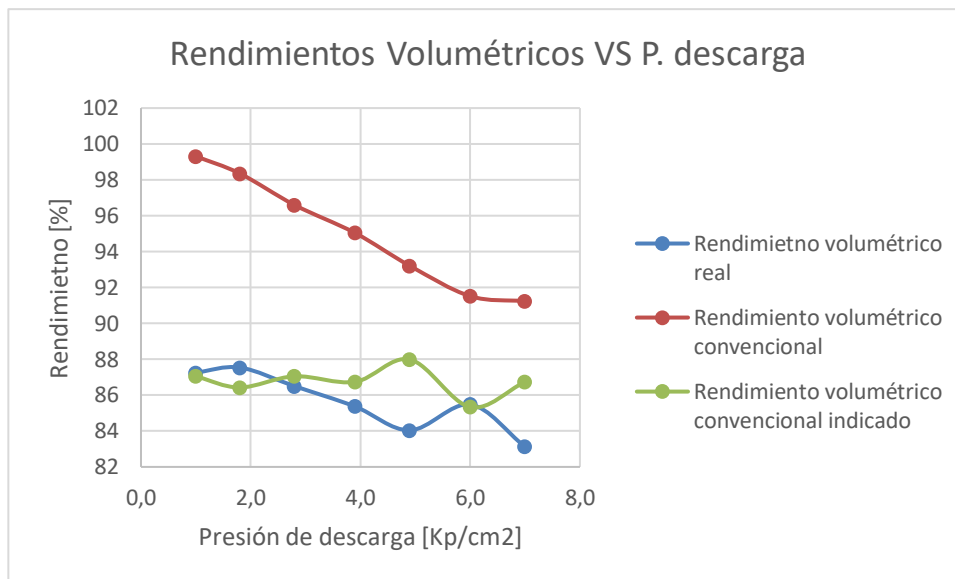


Gráfico 1

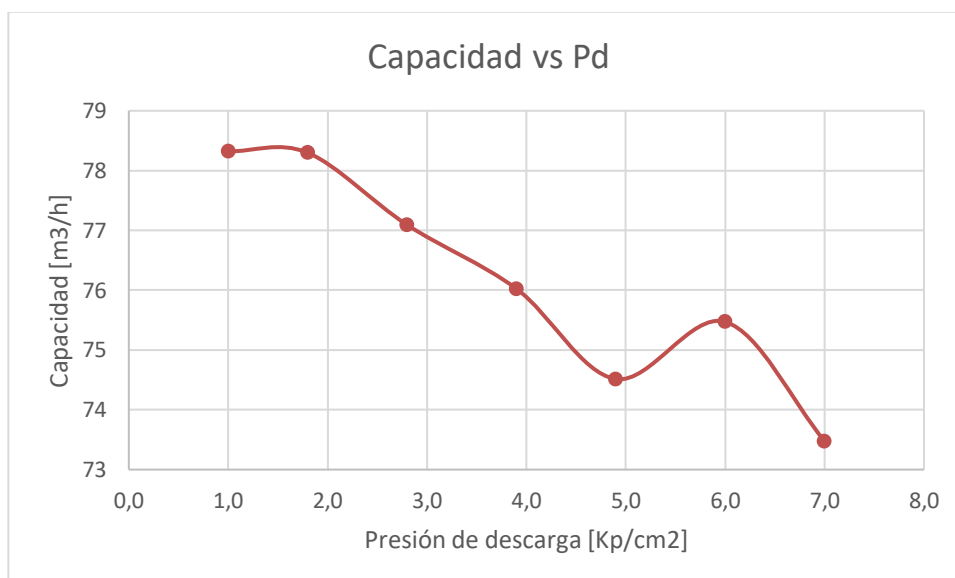


Gráfico 2

¿La forma de las curvas es la correcta?

Es interesante darnos cuenta de que el comportamiento del rendimiento volumétrico real tiene la misma tendencia que el diagrama de capacidad, esto es debido a que ambos están relacionados, ya que en la fórmula del rendimiento real, se puede apreciar que este, es directamente proporcional a la capacidad.

También es importante destacar, que el rendimiento volumétrico convencional indicado permanece relativamente constante, y que las pequeñas variaciones se pueden deber las mediciones que se hicieron con respecto al largo de la cilindrada.

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

Según los apuntes del profesor Ramiro Mege, el rendimiento de compresión fluctúa entre 85% y 93%. Los datos obtenidos no se alejan mucho del valor de 85%, por lo que se da a entender que están dentro del rango. [anexo 1]

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

Sin lugar a duda es relevante darse cuenta de que el rendimiento real es el que es menor en la gran mayoría de los puntos (en los que no puede ser error de medición del diagrama), debido a que se considera los elementos reales que ocurrieron en el ensayo, como es el caso de la capacidad y desplazamiento por minuto. Por otra parte, el rendimiento convencional, considera la compresión del aire isoentrópica, y no politrópica, por lo que la compresión será ideal en este cálculo, lo que nos dará rendimientos más que los obtenidos por medios que contemplen elementos no ideales.

Graficar la temperatura de aspiración y descarga de cada cilindro, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.

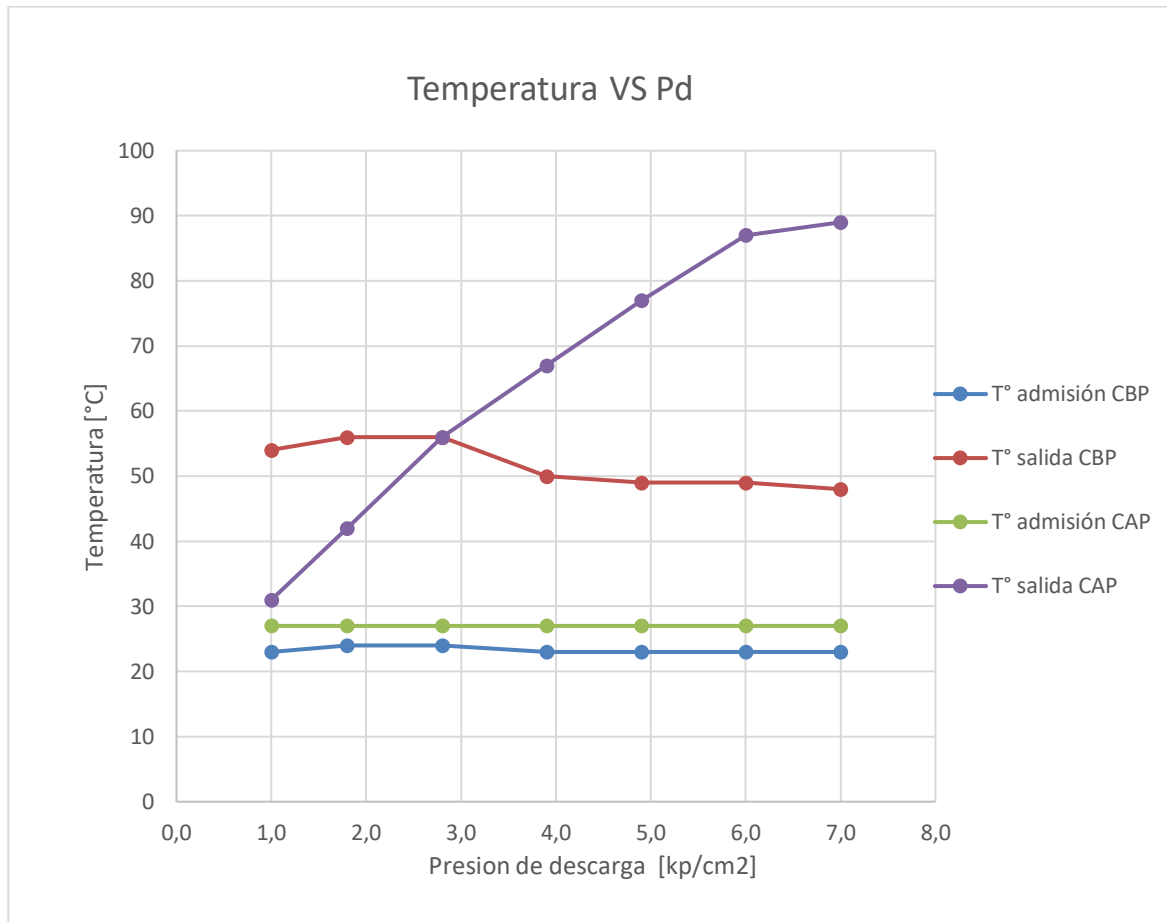


Gráfico 3

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

Las posiciones relativas de las curvas parecen ser relativamente coherentes, ya que las dos curvas de temperatura de entrada de los cilindros son prácticamente constantes, el de CBP, ya que es obtenido de la temperatura ambiente, y las temperaturas del CAP, tienen sentido al ser similares ya que anteriormente tuvieron pérdida de temperatura debido a la interacción de un intercambiador de calor, con el fin de bajar la temperatura de admisión del CAP, para ahorrar trabajo en las compresión de alta presión. Sería ideal que la temperatura de entrada del CAP fuese igual a la temperatura de entrada del CBP.

A su vez, que la temperatura de descarga del CAP vaya aumentando a medida que aumenta la Pd, tiene mucho sentido, ya que al comprimirse un gas este va aumentando su temperatura.

Graficar la presión de aspiración y descarga de cada cilindro y la presión intermedia teórica, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.

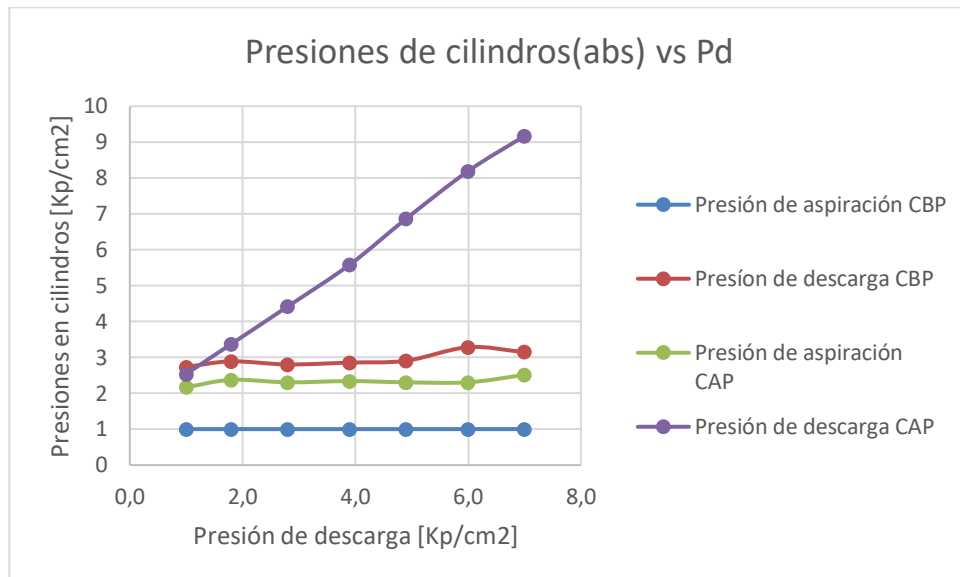


Gráfico 4

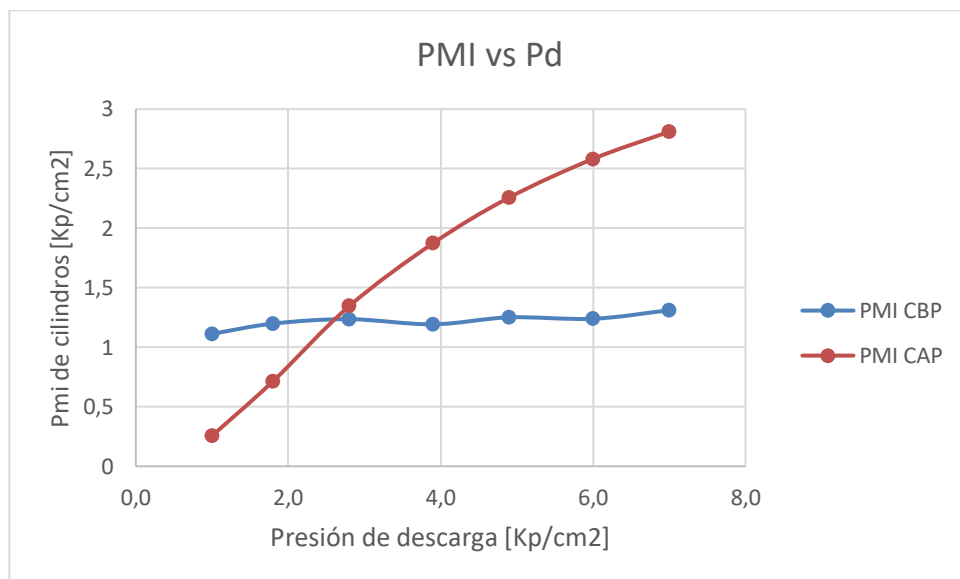


Gráfico 5

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

En el gráfico de presiones de cilindro vs Pd, lo que llama la atención es que las presiones de descarga de CBP, no son iguales a las presiones de admisión de CAP. Según la teoría y los diagramas isoentrópicos de compresiones de más de una etapa, esas presiones deberían ser iguales, si bien se lo podemos atribuir, a que este es un diagrama real, elementos que en lo teórico no se contemplan. Otro aspecto que puede ser causante de esto es que, en el transcurso desde el CBP y el CAP, pudiese existir alguna fuga.

Importante destacar que estos gráficos fueron realizados con la presión absoluta, es por eso que las líneas de presiones de CBP en aspiración, son constante con valor igual a 1,003 [kp/cm²]

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Los valores de las presiones de descarga del CAP, son mayores a los indicados por el fabricante, esto se puede deber principalmente a que las mediciones hechas por el fabricante fueron en otras condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica, que las condiciones en la que se realizó el ensayo en estudio.

Graficar la potencia indicada de cada cilindro y total; la potencia y la corriente eléctrica, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.

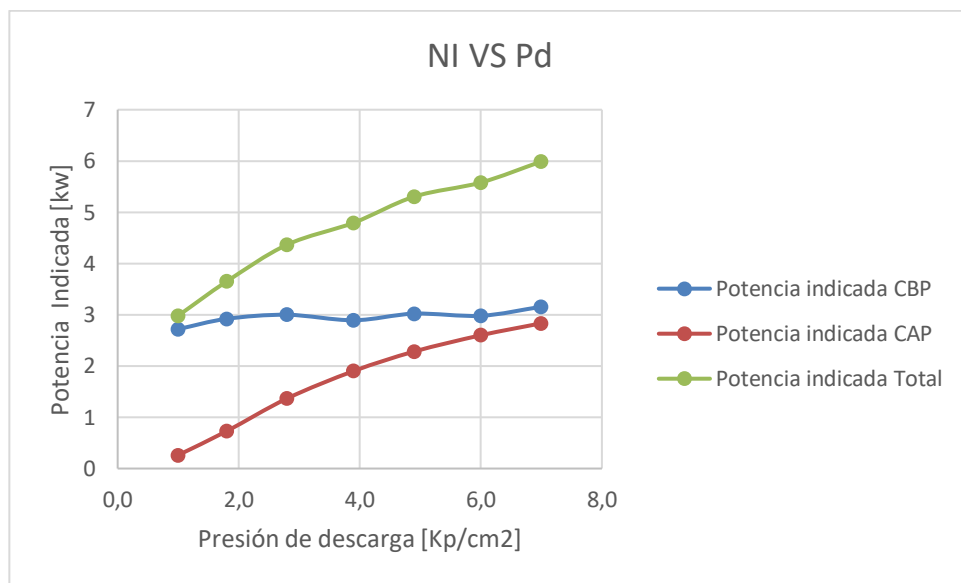


Gráfico 6

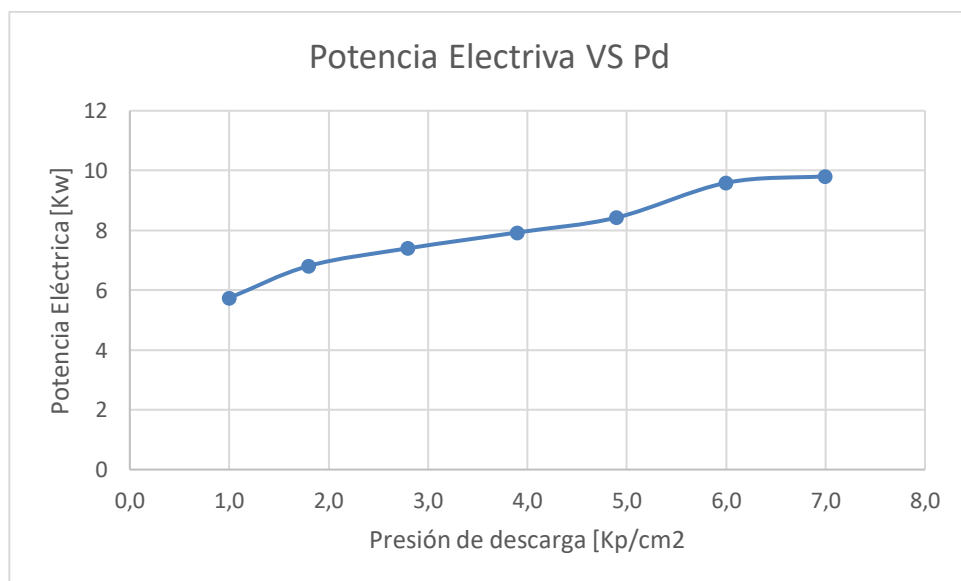


Gráfico 7

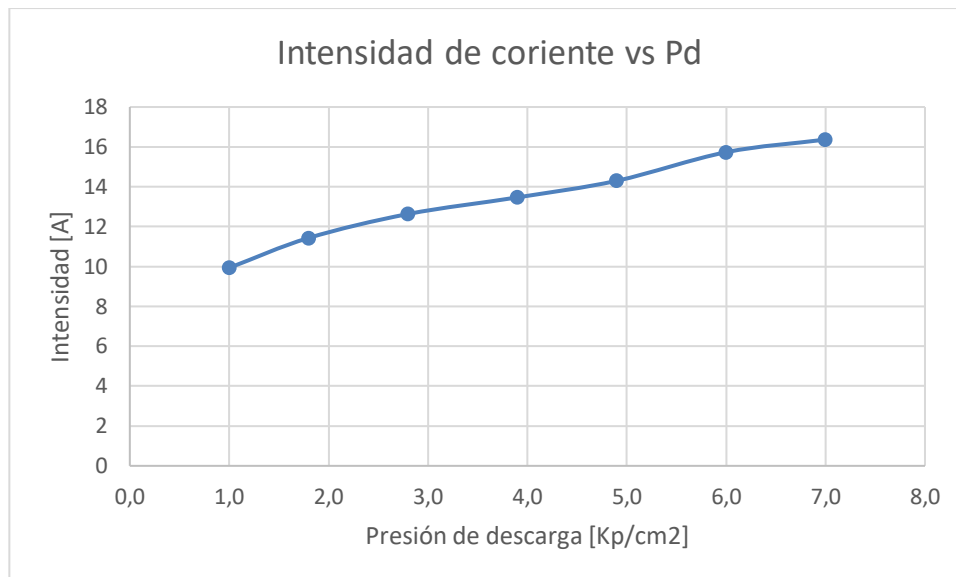


Gráfico 8

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

En primer lugar, haciendo referencia a los gráficos de potencia eléctrica e intensidad de corriente, es importante señalar que ambos gráficos tienen el mismo comportamiento, con variaciones claramente en sus magnitudes y unidades, esto está correcto ya que ambas son dependientes de ellas gracias a la forma de calcular la potencia eléctrica trifásica. La cual es

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_l * \cos(\phi)}$$

Siendo

P=Potencia

I= intensidad de corriente

Cos (φ)= factor de potencia

Vl= tensión de línea

Como se ve en el gráfico de potencia indicada, es claro que la potencia indicada total corresponde a la suma de las potencias del CBP Y CAP, por ende, es claro que debe ser mayor a estos dos nombrados.

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Los valores de intensidad si se encuentran entre los rangos correspondientes, ya que solo fue un simple promedio de las 3 corrientes por medición, datos que fueron entregados por los profesores.

Tanto la potencia como la intensidad, elementos directamente proporcionales, se ven afectados por el aumento de la carga, es decir al momento que se necesita llegar a una presión de descarga mayor, por ende, tiene lógica el desarrollo de la curva como sus valores obtenidos.

Por otro lado, la potencia media indicada, puede tener errores en su cálculo, ya que se procedió a obtener el área del diagrama, mediante herramientas de medición del PDF, siendo bastante cambiante lo que se define como área del diagrama a calcular.

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. En hoja nueva y completa.

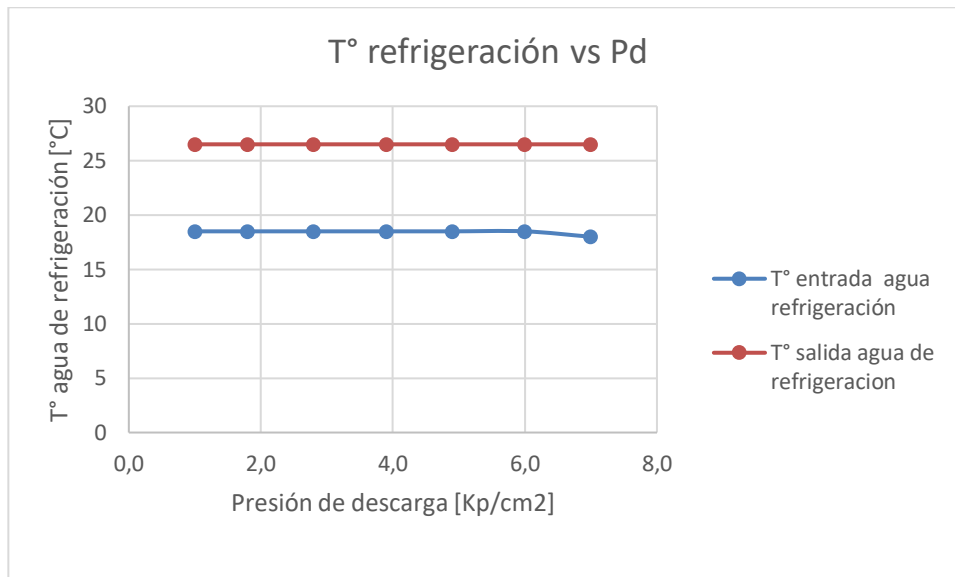


Gráfico 9

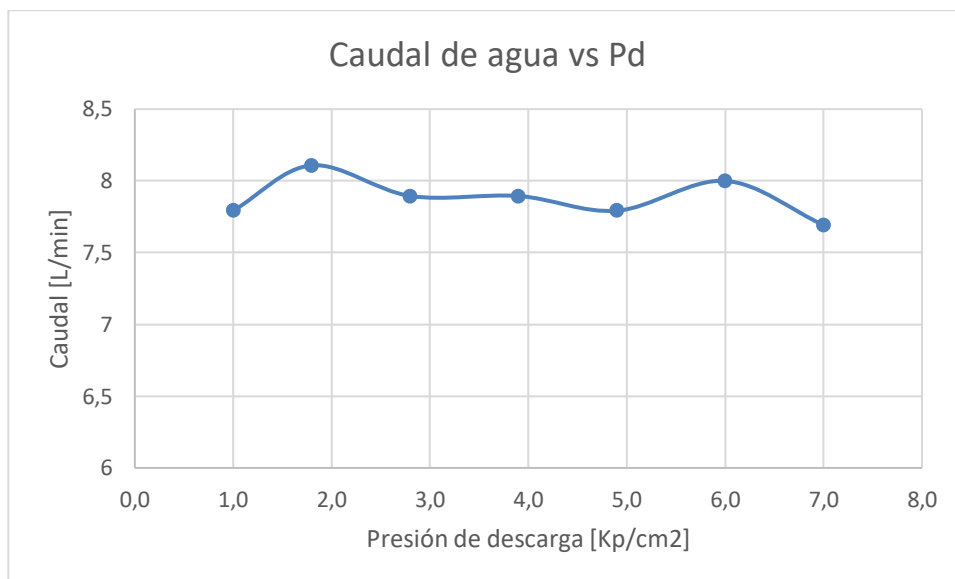


Gráfico 10

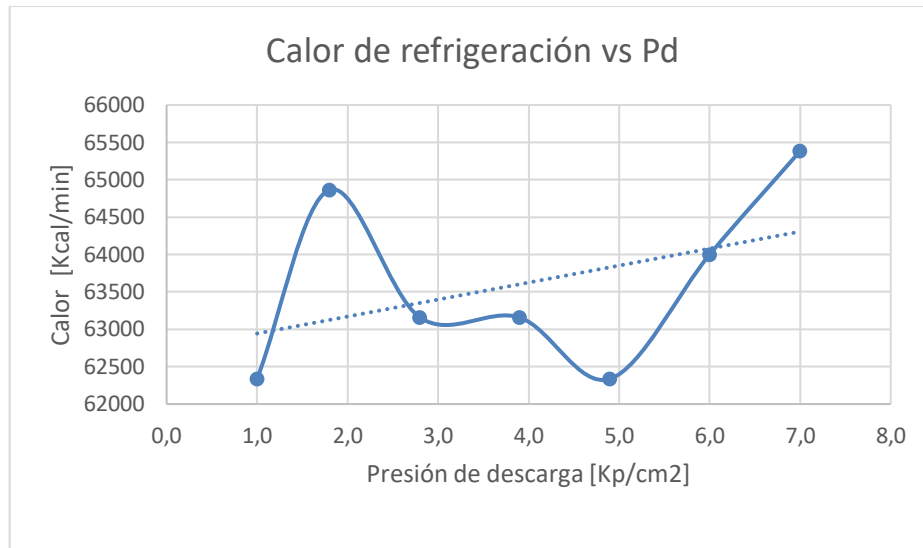


Gráfico 11

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

El calor de refrigeración solo se ve afectado por las variaciones de caudal, ya que como se muestra en los gráficos la temperatura de entrada y salida del agua de refrigeración se mantienen constantes, algo que tiene toda lógica. Las variaciones del caudal, quizás no se muestran tan significativas, pero se aplican con la densidad del agua, por lo que se ve más contundentemente en el gráfico del calor de refrigeración.

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Los valores parecen adecuarse a lo esperado, tanto las temperaturas del líquido refrigerante (agua), como los valores del caudal, cuyo comportamiento es bastante estable a lo largo del ensayo.

Graficar la relación de compresión de cada cilindro, en función de la presión de descarga. En hoja nueva y completa.

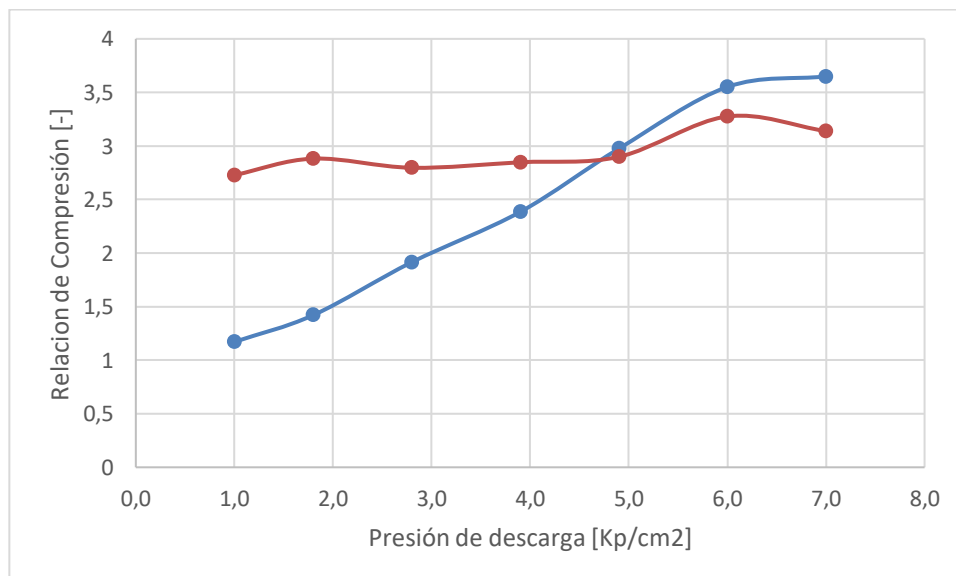


Gráfico 12

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

Las presiones se obtuvieron por medio de herramientas de pdf, específicamente gráficas, en los diagramas indicados, por lo que su resultado puede no ser muy consistente o exacto.

Por otra parte, es importante destacar que el comportamiento del CAP es correcto y adecuado, ya que, si se necesita llegar a presiones de descarga mayores, entra en importancia su funcionamiento, ya que, a presiones menores, el CBP, es quien realiza el mayor de los trabajos, y el CAP pasa desapercibido.

Conclusión

Gracias al ensayo realizado con anterioridad se pudieron determinar varios elementos importantes, en lo que respecta a un compresor reciproco de 2 etapas.

La obtención de gráficos ayudo a poder comparar las diferentes características y parámetros a los que se veían afectados los CAP Y CBP, para que de esta forma se entendiera la importancia que tiene cada uno en el proceso de compresión, y los cambios en su comportamiento a medida que se cambian las condiciones de operación, que en este caso fue la presión de descarga nominal.

Por otro lado, se obtuvieron medidas que no estaban de la mano con lo que indicaba el fabricante, he ahí la importancia de las condiciones climáticas en las cuales se realizan los ensayos, ya que el fabricante establece sus condiciones de ensayo en normas. Utilizando las conversiones necesarias establecidas, es posible comparar los resultados obtenidos en el ensayo, con los datos del fabricante.

Bibliografía.

Anexos

1. Ramiro Mege, Rendimiento de compresores, PPT compresores segunda parte 2019
2. Gráficos corresponden a elaboración propia
3. Diagramas indicados entregado por los profesores