

# INFORME 07 LABORATORIO: COMPORTAMIENTO COMPRESOR RECÍPROCO

Estudiante:

Teresa Almonacid F

Alumna Ing. Civil Mecánica

Docentes:

Cristóbal Galleguillos K.

Tomás Herrera M.

Escuela Ingeniería Mecánica PUCV

30 de octubre del 2020

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. OBJETIVO DEL ENSAYO.....	3
2. DATOS DEL ENSAYO .....	4
3. DATOS TABULADOS.....	5
4. SIMBOLOGÍA.....	5
4.1. FÓRMULAS .....	6
4.2. DATOS CALCULADOS.....	7
4.3. GRÁFICOS .....	8
4.3.1. GRÁFICO DE RENDIMIENTOS.....	8
4.3.1.1. FORMA DE LA CURVA GRÁFICO RENDIMIENTOS .....	9
4.3.1.2. ANÁLISIS VALORES GRÁFICO RENDIMIENTOS.....	9
4.3.1.3. ANÁLISIS RENDIMIENTO.....	9
4.3.2. GRÁFICO DE TEMPERATURAS .....	10
4.3.2.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA DE TEMPERATURAS.....	11
4.3.2.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA DE TEMPERATURAS .....	11
4.3.3. GRÁFICO DE PRESIONES .....	12
4.3.3.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA PRESIONES.....	13
4.3.3.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA PRESIONES .....	13
4.3.4. GRÁFICO DE POTENCIA .....	14
4.3.4.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA DE POTENCIAS.....	15
4.3.4.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA DE POTENCIAS .....	15
4.3.5. GRÁFICO TEMPERATURAS DEL REFRIGERANTE .....	16
4.3.5.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	17
4.3.5.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	17
4.3.6. GRÁFICO RELACIÓN DE COMPRESIÓN .....	18
4.3.6.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA RELACIÓN DE COMPRESIÓN.....	19
4.3.6.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA RELACIÓN DE COMPRESIÓN .....	19
5. CONCLUSIÓN .....	20

## 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente informe presenta el ensayo a un compresor recíproco ubicado en la escuela de ingeniería mecánica de la PUCV

### 1.1. OBJETIVO DEL ENSAYO

El objetivo de este ensayo tiene como finalidad conocer el comportamiento de un compresor recíproco.

Conocer y analizar las curvas características del compresor recíproco.

Graficar el comportamiento de las curvas características.

## 2. DATOS DEL ENSAYO

Los siguientes datos fueron los utilizados para realizar el ensayo

- Presión nominal:  $7 \text{ kp/cm}^2$
- Diámetro cilindro de baja presión: 170 mm
- Diámetro cilindro de alta presión: 110 mm
- Carrera: 130 mm
- Volumen espacio muerto CBP:  $170 \text{ cm}^3$
- Volumen espacio muerto CAP:  $94 \text{ cm}^3$
- Velocidad nominal: 600 rpm
- Caudal aire nominal:  $1,5 \text{ m}^3 / \text{min}$
- Volumen estanque acumulación: 585,3 L

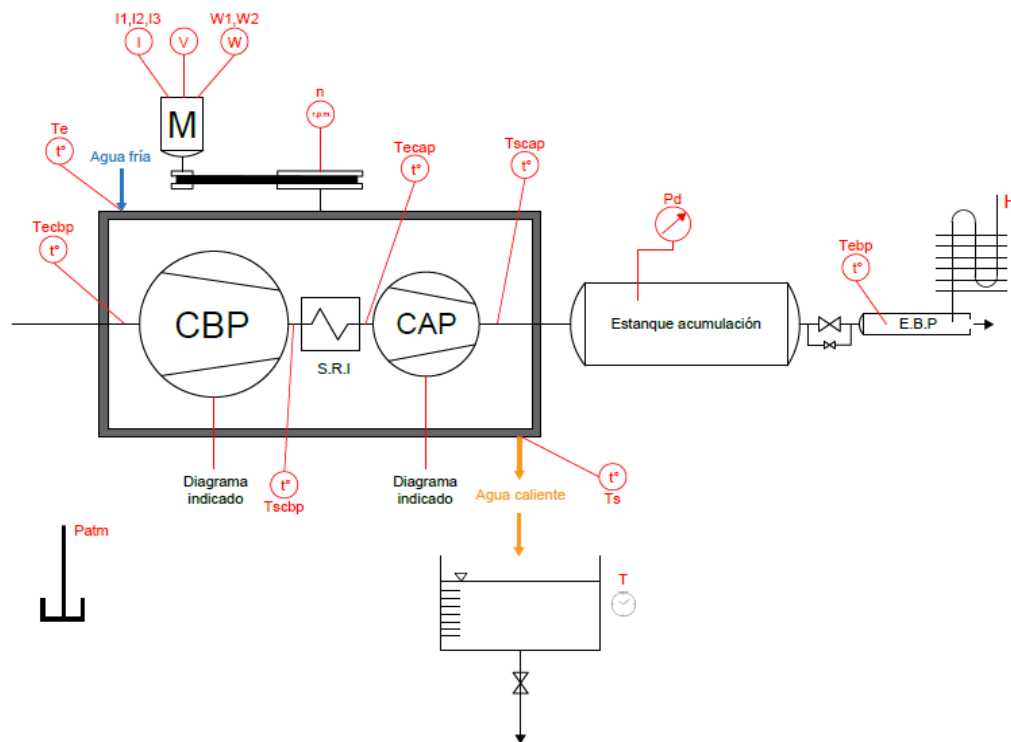


Ilustración 1, Esquema instalación fuente: escuela ingeniería mecánica PUCV

### 3. DATOS TABULADOS

Los datos conseguidos en el ensayo fueron los siguientes:

Tabla 1

	Compresor						Estanque de		Agua de refrigeración			Motor Eléctrico							
	Presión	Velocid	Temperatura				baja presión		Temperatura		tiempo	Tensión	Corrientes			Potencia			
	Pd	n	tecbp	tsebp	tecap	tecap	tebp	ΔP	tea	tse	10 l	V	I1	I2	I3	W1	W2	Patm.	
	[kp/cm2]	[rpm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmca]	[°C]	[°C]	[s]	[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[mmHg]	
1	7,0	499,3	23	48	27	89	39	514	18	26,5	78	375	17,2	15,9	16	6,53	3,28	760,1	
2	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	760,1	
3	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	760,1	
4	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	760,1	
5	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	760,1	
6	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	760,1	
7	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	760,1	

### 4. SIMBOLOGÍA

Tabla 2

Símbolo	Unidad	Significado
V	m <sup>3</sup> /h	Capacidad, caudal de aire libre
$\alpha$	-	Coeficiente de caudal del diafragma su valor es 0,600
S	cm <sup>2</sup>	Sección del orificio del diafragma
Ta	K	Temperatura abs. De aspiración del compresor
T	K	Temperatura abs. Del estanque de baja presión
H	cm <sub>agua</sub>	Presión en el manómetro diferencial
Pa	cm <sub>agua</sub>	Presión barométrica
Cl	m <sup>3</sup>	Cilindrada
DCBP	m	Diámetro cilindro baja presión
L	m	Carrera del compresor
DI	m <sup>3</sup> /min	Desplazamiento por minuto
n	rpm	Velocidad rotacional
C	-	Porcentaje espacio muerto
ADICXP	cm <sup>2</sup>	Área diagrama indicado del cilindro que corresponda
LDICXP	cm	Largo diagrama indicado del cilindro que corresponda
KDICXP	-	Constante resorte indicador de diagramas del cilindro qu corresponda
ACXP	cm <sup>2</sup>	Área del cilindro que corresponda
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Densidad del agua
Cp	J/kg	Calor específico del agua

## 4.1. FÓRMULAS

Cilindrada:

$$Cl = \frac{1}{4} * \pi * D_{CBP}^2 * L \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Desplazamiento:

$$DI = Cl * n \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Rendimiento volumétrico real:

$$\eta_r = \frac{V}{60 * DI} * 100 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Rendimiento volumétrico convencional:

$$\eta_{VC} = \left( 1 - C * \left( r_k^{\frac{1}{k}} - 1 \right) \right) * 100 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$C = \frac{\text{Volumen espacio muerto}_{CBP}}{Cl} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Rendimiento volumétrico convencional indicado:

$$\eta_{VCI} = \frac{I_{Capacidad}}{I_{CI}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Presión media indicada:

$$P_{mi} = \frac{A_{DICXP}}{L_{DICXP}} * K_{Resorte\ CXP} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Potencia indicada:

$$N_{ICXP} = \frac{P_{miCXP} * A_{CXP} * L * n * 9,80665}{60000} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Capacidad:

$$V = 8,62 * \alpha * S * T_a * \sqrt{\frac{H}{T * P_a}} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Corriente media:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Potencia eléctrica:

$$N_{Elec} = W_1 + W_2 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Caudal de agua:

$$V_{agua} = \frac{10}{\tau} * 60 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Calor transferido:

$$\dot{Q} = \rho * V_{\text{agua}} * C_p * (t_s - t_e)$$

Ecuación 4.13

## 4.2. DATOS CALCULADOS

Los datos se calcularon en base a las ecuaciones mostradas en el apartado 4.1. dividiéndose en más de una tabla debido a su extensión.

Tabla 3

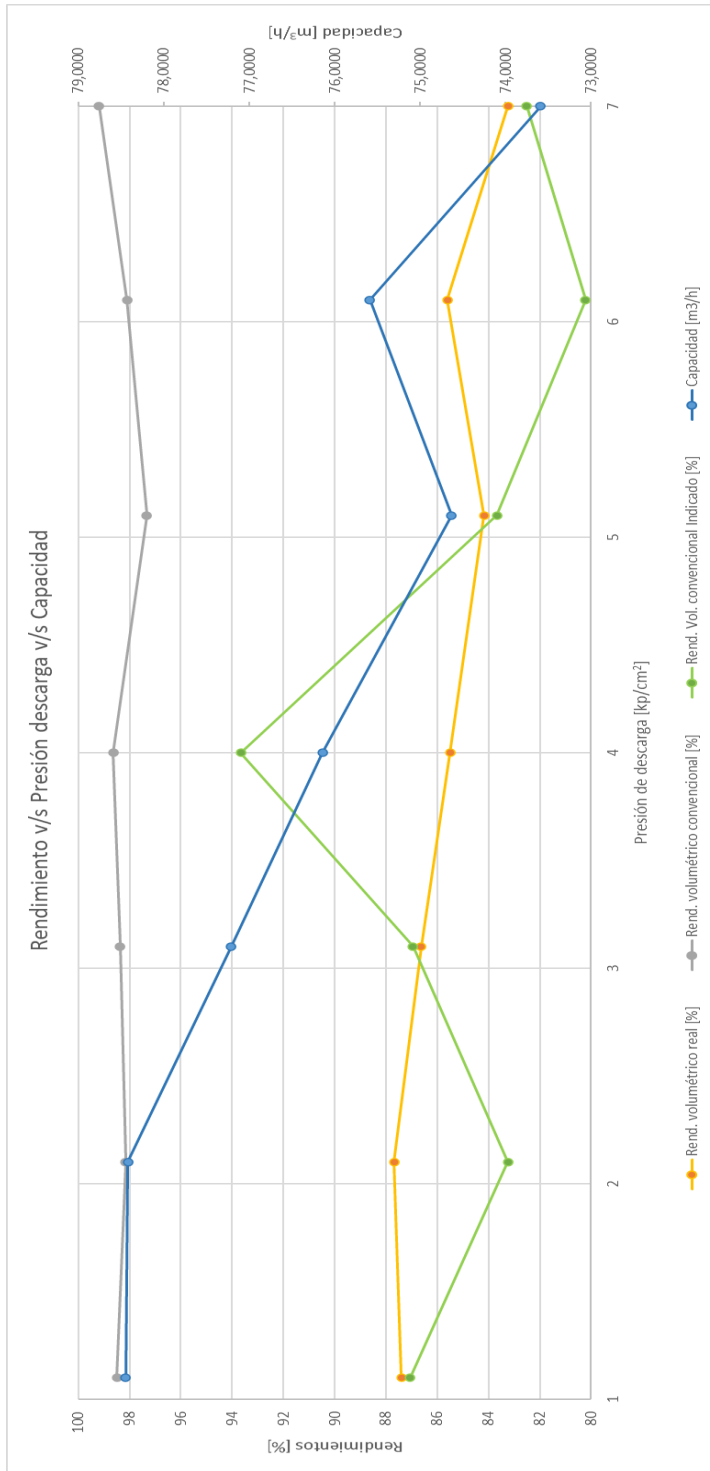
Valores Calculados								
Pd	Cl	DI	Capacidad	Rend. volumétrico real	Rend. volumétrico convencional	Rend. Vol. convencional Indicado	Pmi <sub>CBP</sub>	Pmi <sub>CAP</sub>
[kp/cm <sup>2</sup> ]	[m3]	[m3/min]	[m3/h]	[%]	[%]	[%]	[kp/cm <sup>2</sup> ]	[kp/cm <sup>2</sup> ]
7	0,00295074	1,4733	73,5936	83,25230798	99,19659459	82,51748252	1,399378	3,2145398
6	0,00295074	1,4715	75,5899	85,6134172	98,0943628	80,2212008	1,394738	2,8873090
4,9	0,00295074	1,4777	74,6324	84,17457306	97,34122036	83,67406119	1,390049	2,6609784
3,9	0,00295074	1,4842	76,1436	85,50338416	98,63924063	93,66151866	1,305690	2,2169945
2,8	0,00295074	1,4854	77,2131	86,63536968	98,37462796	86,95716835	1,344116	1,7715781
1,8	0,00295074	1,4907	78,4205	87,6766531	98,15163443	83,24487161	1,241763	1,0039104
1	0,00295074	1,4960	78,4450	87,39261867	98,4936254	87,05520574	1,135818	0,3576524

Tabla 4

Valores Calculados								
A DI <sub>CBP</sub>	A DI <sub>CAP</sub>	Ni <sub>CBP</sub>	Ni <sub>CAP</sub>	Ni total	Im	N <sub>elec</sub>	V <sub>agua</sub>	Q
[m2]	[m2]	[kW]	[kW]	[kW]	[A]	[kW]	[l/min]	Kcal/min
0,00057632	0,00065972	3,3697465	3,2409207	6,6106672	16,367	9,81	7,6923	65,3846154
0,00058261	0,00059698	3,3545366	2,9075062	6,2620428	15,733	9,59	8,0000	64
0,00057523	0,00053797	3,3573365	2,6908761	6,0482126	14,300	8,43	7,7922	62,3376623
0,00048697	0,00043963	3,1674403	2,2517523	5,4191926	13,467	7,93	7,8947	63,1578947
0,00054227	0,00034195	3,2632499	1,8007836	5,0640336	12,633	7,4	7,8947	63,1578947
0,00051938	0,00020025	3,0255388	1,0241093	4,0496481	11,433	6,81	8,1081	64,8648649
0,00046539	0,00007471	2,7772639	0,3661483	3,1434122	9,933	5,74	7,7922	62,3376623

### 4.3. GRÁFICOS

#### 4.3.1. GRÁFICO DE RENDIMIENTOS





#### 4.3.1.1. FORMA DE LA CURVA GRÁFICO RENDIMIENTOS

¿Es correcta la forma de la curva?

- La forma de las curvas no son las correctas ya que si bien tanto el rendimiento volumétrico real y el rendimiento volumétrico convencional van disminuyendo (producto de diversas pérdidas irreversibles), ambos sufren una alza a los 4,9 kp/cm<sup>2</sup> volviendo a disminuir a los 6 kp/cm<sup>2</sup> esto en un proceso de compresión real no debería ocurrir ya que en todo momento la curva de rendimiento debería ir disminuyendo. Por otra parte, podemos ver que si se cumple que el rendimiento volumétrico convencional es mayor al rendimiento volumétrico real e indicado.
- En cuanto a la curva del rendimiento volumétrico convencional indicado ésta es incorrecta debido a que la curva debería ir de forma paralela a la curva del rendimiento volumétrico convencional en todo momento.
- Finalmente, en la curva de la capacidad podemos fijarnos que hasta los 4,9 kp/cm<sup>2</sup> la curva tiene una forma correcta, sin embargo, al igual que el rendimiento sufre una alza hasta los 6 kp/cm<sup>2</sup> volviendo a disminuir pasada esa presión este salto no debería ocurrir en un caso real.

#### 4.3.1.2. ANÁLISIS VALORES GRÁFICO RENDIMIENTOS

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

No, se encuentran fuera del rango que corresponde ya que el rango que fluctúa un proceso de compresión real es entre 50-80% de rendimiento mientras que en el ensayo tenemos un rango del 83,25- 87,39% de rendimiento volumétrico real. El que se encuentre fuera de rango puede deberse a que trabajamos en un rango de presiones muy bajo, ya que a menor presión de descarga debería ser mayor el rendimiento y con ello se explicaría que a medida que fue disminuyendo la presión de descarga en el ensayo fue aumentando el rendimiento.

#### 4.3.1.3. ANÁLISIS RENDIMIENTO

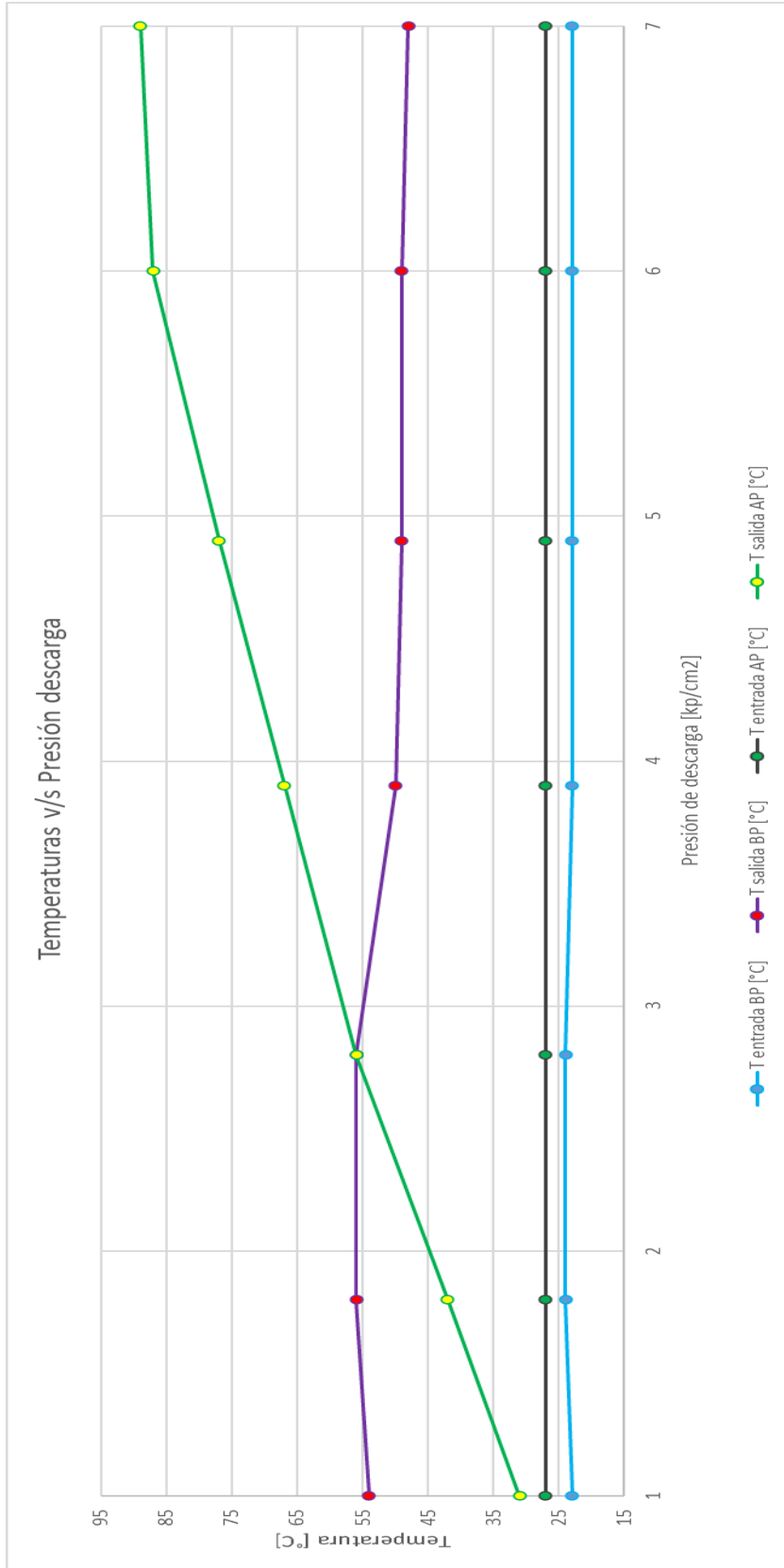
¿Cómo explica las diferencias entre el rendimiento volumétrico real y los otros rendimientos?

Su principal diferencia son los parámetros que están involucrados en los cálculos de cada rendimiento, en el caso del rendimiento real el valor se obtiene mediante el ensayo y en él se miden la capacidad del compresor y el volumen que desplaza.

El rendimiento convencional variara bastante con respecto al rendimiento real debido a que considera el porcentaje de espacio muerto ("llenado incompleto"), y el rendimiento convencional indicado debería ser bastante parecido al rendimiento convencional debido a que ambos consideran los factores del proceso.

Es normal que el rendimiento volumétrico real sea menor al rendimiento volumétrico convencional debido a que el rendimiento volumétrico real considera las pérdidas que se originan por calor, carga, roce, transmisión, etc.

#### 4.3.2. GRÁFICO DE TEMPERATURAS



#### 4.3.2.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA DE TEMPERATURAS

¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

Si, la posición de las curvas son las correctas ya que tanto la temperatura de entrada al cilindro de baja y la temperatura de entrada al cilindro de alta son parecidas y constantes siendo mayor la temperatura de entrada al cilindro de alta, lo que en la teoría es correcto ya que una vez que el gas sale del cilindro de baja (a una temperatura mayor a la que ingresa) pasa por el sistema de refrigeración (mediante agua) para entrar al cilindro de alta a una temperatura menor a la que sale del cilindro de baja.

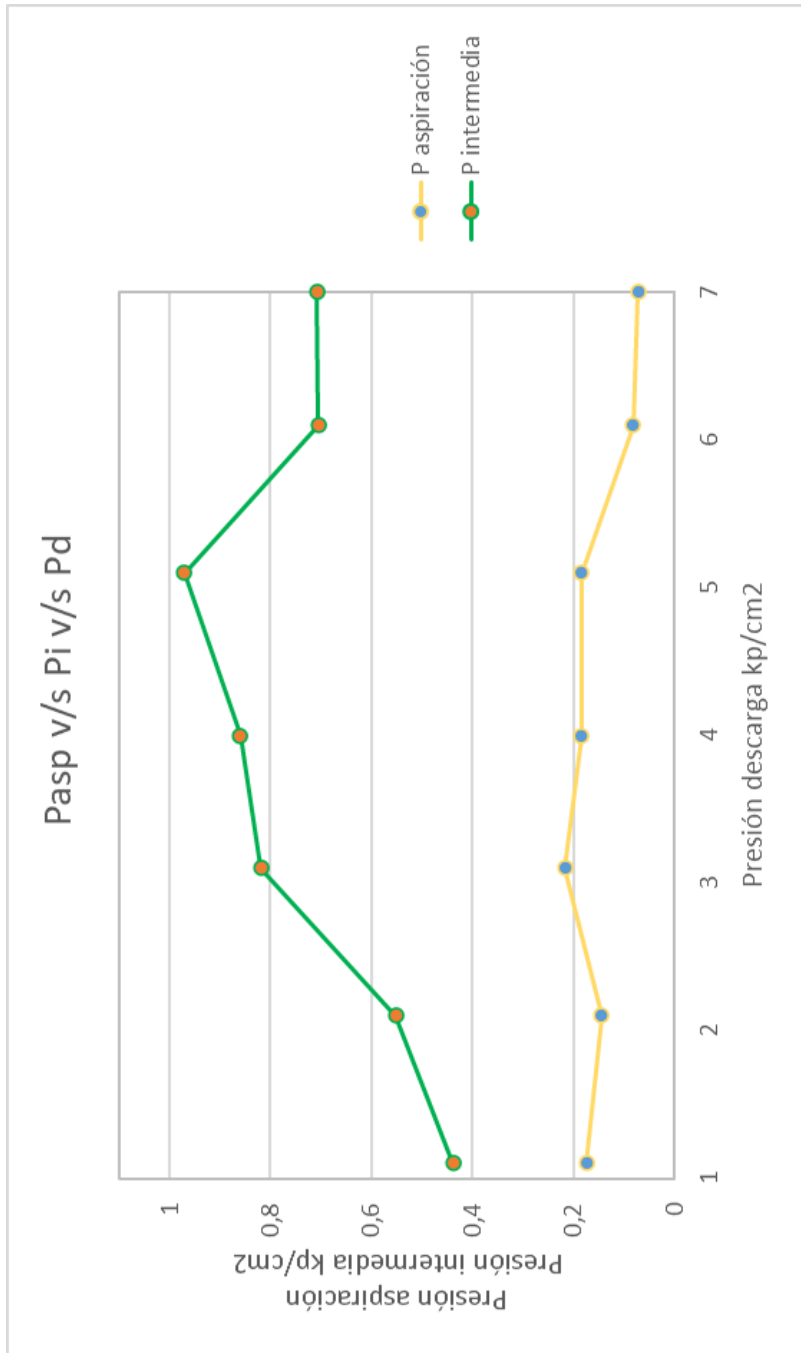
En cuanto a las curvas de las temperaturas de salida podemos decir que también son correctas ya que la temperatura de salida del CAP es mayor a la temperatura de salida del CBP, y ambas son mayores a las respectivas temperaturas de entrada, mencionar si que para el caso de la curva de temperatura de salida del CBP en un proceso de compresión real esta debería ir en alza y no sufrir una caída como lo podemos observar en el gráfico.

#### 4.3.2.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA DE TEMPERATURAS

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Si, los valores se encuentran en el rango, para el caso de las temperaturas de entrada podemos ver que son bastante cercanas a lo que es la temperatura ambiente lo cual es bastante acertado a lo que es en la realidad. También podemos ver que el rango que se obtiene a la salida del CAP es parecido a lo que logramos en la realidad.

### 4.3.3. GRÁFICO DE PRESIONES



#### 4.3.3.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA PRESIONES

¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

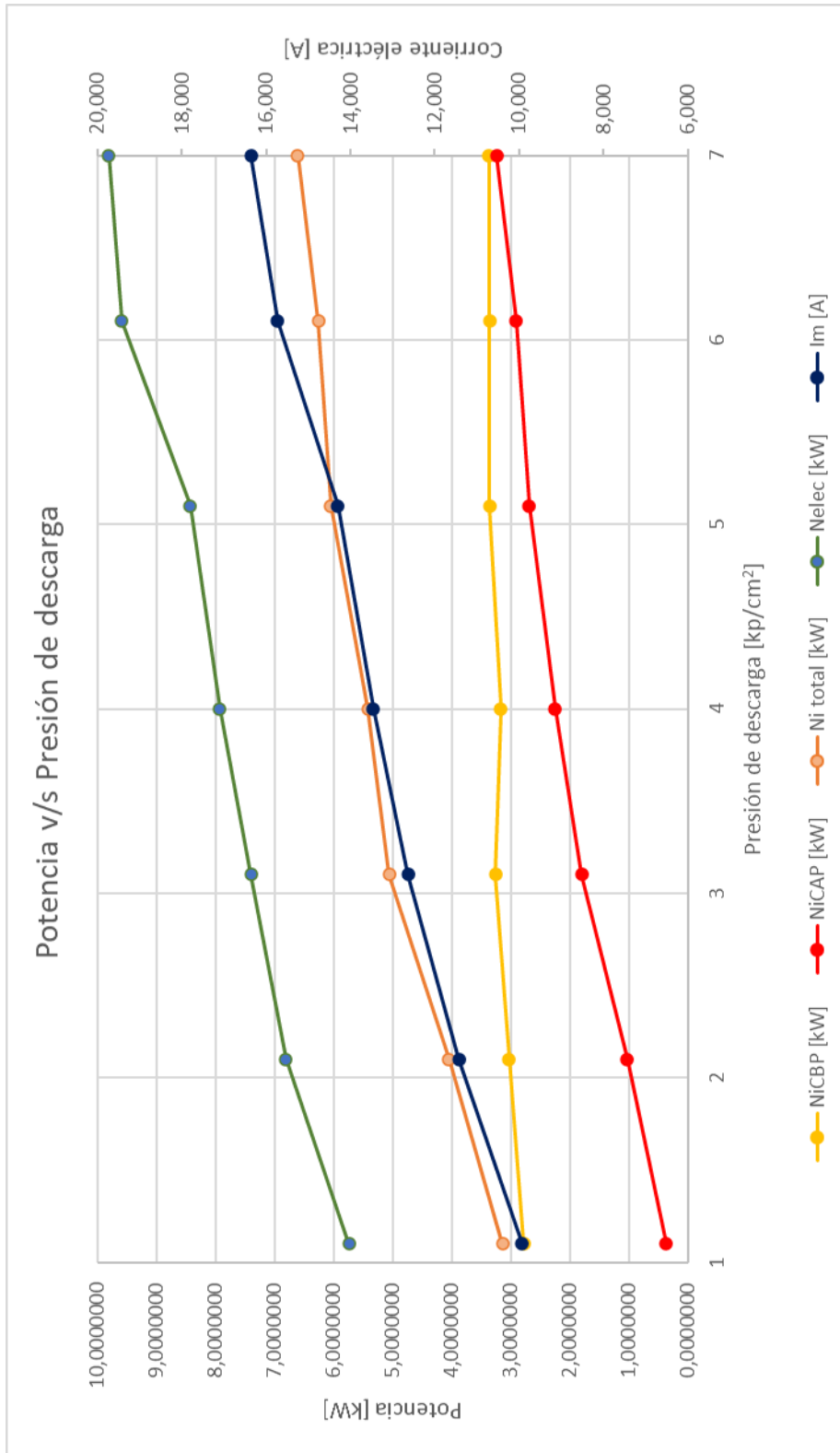
Si, ya que la presión de aspiración es durante todo el rato es menor a la presión intermedia que era lo que se esperaba ya que la presión intermedia como su nombre lo dice es la presión que esta justo entremedio de la presión de aspiración y descarga, por lo que va a ser mayor a la presión de aspiración, pero menor a la de descarga

#### 4.3.3.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA PRESIONES

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

No, ya que el rango de valores en los que puede trabajar un compresor reciproco enfriado mediante agua es en el rango de 0,7-3500 kp/cm<sup>2</sup> y la presión de aspiración del ensayo da en el rango de 0,07-0,2 kp/cm<sup>2</sup> lo que no debería ocurrir en la realidad.

#### 4.3.4. GRÁFICO DE POTENCIA



#### 4.3.4.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA DE POTENCIAS

¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

La forma de las curvas de las potencias indicadas es la esperada ya que la potencia indicada del cilindro de baja es mayor a la del cilindro de alta, esto puede deberse a que el área del cilindro de baja es mayor, así como su presión media indicada; por lo que se puede inferir del gráfico que el cilindro de baja necesitará una menor potencia en comparación con el cilindro de baja para funcionar. Las curvas fueron disminuyendo a medida que disminuía la carga, lo que se esperaba.

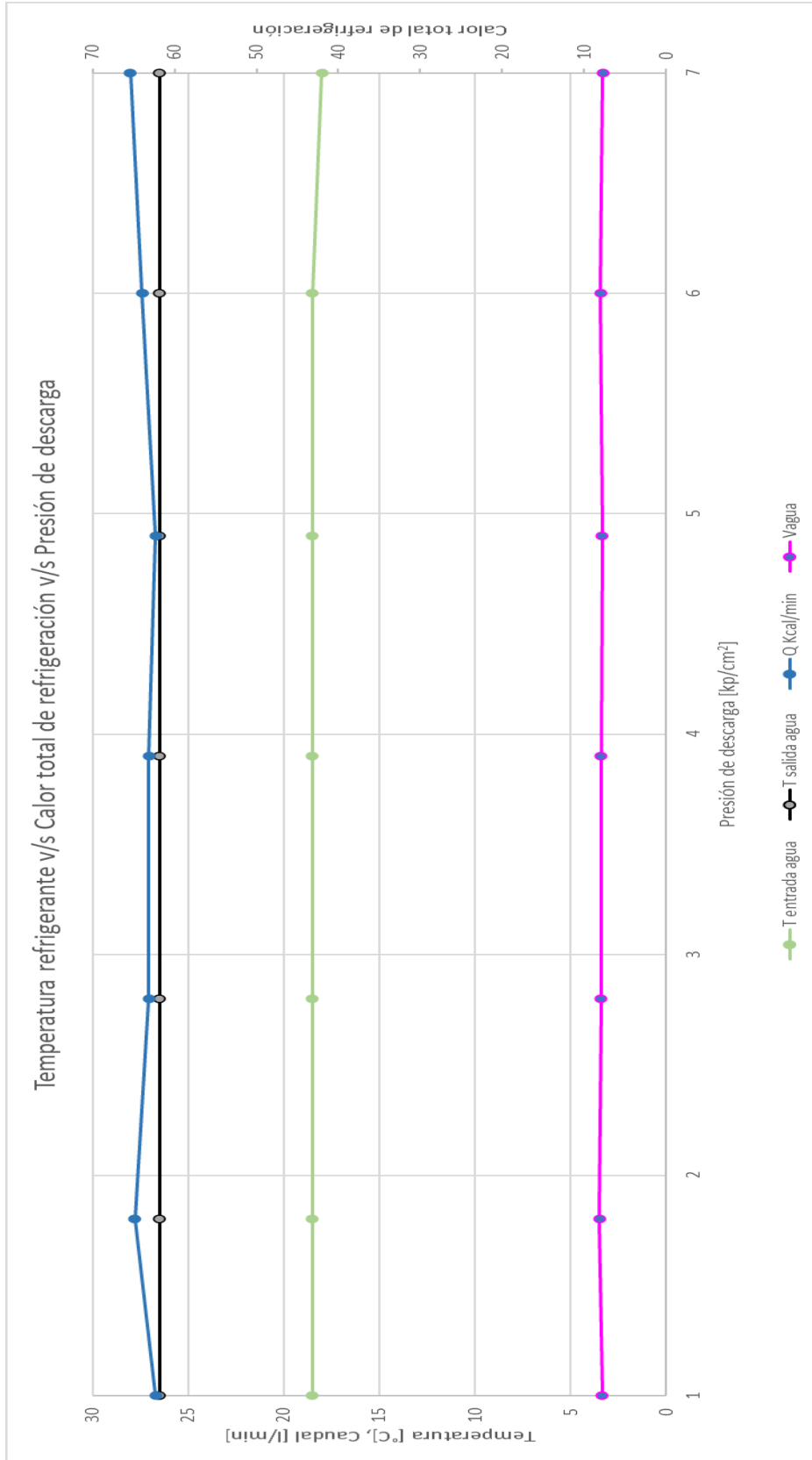
En cuanto a la potencia eléctrica, es correcto que este por sobre las curvas de potencia indicada ya que es la que le entrega energía al compresor, o también podría calcularse como la resta de los rendimientos eléctrico y mecánico. La curva de la corriente media es la esperada, aunque debería ir mas en paralelo con la potencia eléctrica

#### 4.3.4.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA DE POTENCIAS

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Si, ya que la potencia eléctrica se encuentra en el rango entre los 5-10 kW, mientras que el resto de las potencias se encuentran en el rango aceptable para compresores recíprocos de bajo trabajo.

#### 4.3.5. GRÁFICO TEMPERATURAS DEL REFRIGERANTE





#### 4.3.5.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

Si bien es real que la temperatura de salida del agua debe ser mayor a la de entrada, ya que la masa de aire caliente que sale del cilindro de baja se enfría mediante esa agua aumentado su temperatura en la realidad no deberían ser constante las curvas ya que no en todo el ensayo la temperatura de salida del CBP fue constante. Esto se comprueba con la forma de la curva del calor total de la refrigeración el cual tuvo muy pequeñas variaciones.

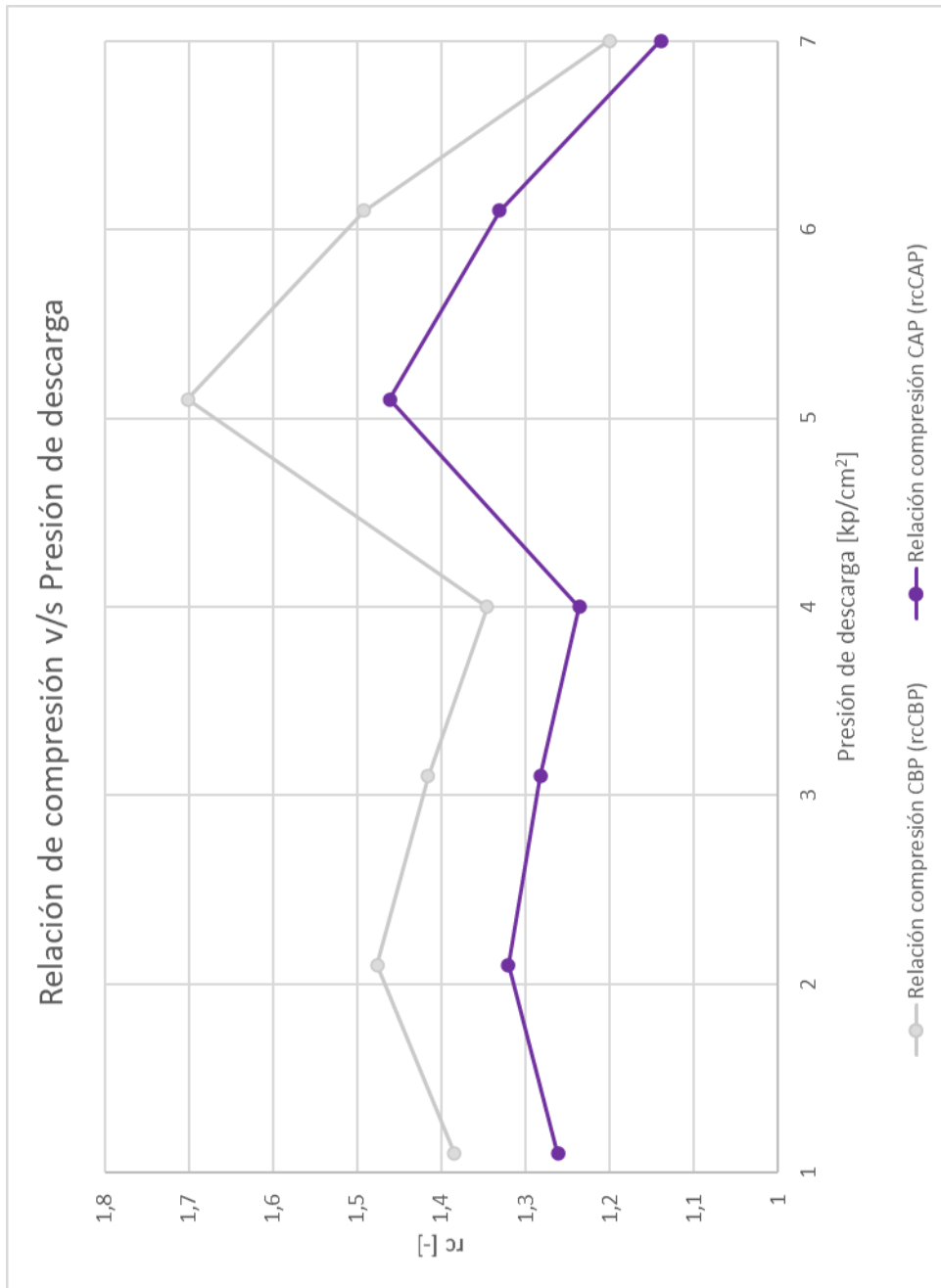
El caudal del agua fue casi invariante debido a los componentes que alimentan constantemente el sistema de refrigeración

#### 4.3.5.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Si, ya que las temperaturas no varían prácticamente nada y el calor se mantienen casi constante por lo que se puede deducir que hay una extracción constante de calor a excepción de los rangos de presión entre 1-2 kp/cm<sup>2</sup> y entre 6-7 kp/cm<sup>2</sup> que son al final y al inicio del ensayo correspondientemente.

#### 4.3.6. GRÁFICO RELACIÓN DE COMPRESIÓN



#### 4.3.6.1. ANÁLISIS DE LA FORMA CURVA RELACIÓN DE COMPRESIÓN

¿La posición relativa de las curvas es la correcta?

Si bien está correcto que la curva de relación de compresión del CAP es menor a la curva de relación de compresión del CBP esto se debe ya que el cilindro de baja es el que indica el rendimiento volumétrico real del compresor, sin embargo, la curva del CAP no disminuye a medida que disminuye la presión de descarga.

#### 4.3.6.2. ANÁLISIS DE LOS VALORES CURVA RELACIÓN DE COMPRESIÓN

¿Los valores están en el rango que le corresponde?

Si, ya que los valores de la relación de compresión en un proceso real pueden ir desde 1-8 [-] que cumpliría con los valores dados en el ensayo los cuales fueron entre 1,2 y 1,7 aproximadamente.

## 5. CONCLUSIÓN

Podemos darnos cuenta que en términos generales los valores dados estaban en el rango esperado, por lo que se puede concluir que tanto el cilindro de baja, el sistema de refrigeración y el cilindro de alta funcionan de manera correcta. También se pudo evidenciar que a pesar que en un proceso real ocurren diversas pérdidas irreversibles en el proceso de compresión, sus valores y comportamiento no es muy distinto a lo que se estudia teóricamente.

Para consideración de los cálculos se consideró un proceso politrópico en donde el factor  $n = k = 1,4$  [-].

Para la medición de los diagramas se utilizó el software AUTOCAD.