



UNIVERSIDAD  
DE ALMERÍA

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
Escuela Superior de Ingeniería

---

**MÁQUINAS HIDRÁULICAS**  
**Práctica II: Semejanza en Bombas**

---

**GRUPO A1**  
**ALBERTO CRUZ GARCÍA**

## Índice

<b>1. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>3. Fundamento Teórico</b>	<b>4</b>
3.1. Obtención de las relaciones de semejanza . . . . .	4
3.2. Coeficientes adimensionales . . . . .	5
3.3. Triángulo de velocidades . . . . .	5
<b>4. Materiales Empleados</b>	<b>6</b>
<b>5. Datos y Desarrollo</b>	<b>7</b>
5.1. Ensayo a 3000rpm . . . . .	7
5.2. Ensayo a 1500rpm . . . . .	7
<b>6. Dibujar en una misma gráfica las curvas características experimentales <math>H(Q)</math> para cada valor de velocidad de giro y ajustar una ecuación polinómica de 2º grado a cada una. Aplicando las leyes de semejanza obtener la curva característica teórica <math>H(Q)</math> para 1500 rpm, a partir de la curva experimental de 3000 rpm. Comparar esta curva teórica con los puntos obtenidos experimentalmente.</b>	<b>8</b>
6.1. Conversión de datos a unidades del Sistema Internacional y cálculo de la altura manométrica para 3000 rpm . . . . .	8
6.1.1. Conversión del caudal . . . . .	8
6.1.2. Cálculo de la altura manométrica . . . . .	8
6.2. Conversión de datos a unidades del Sistema Internacional y cálculo de la altura manométrica para 1500 rpm . . . . .	9
6.2.1. Conversión del caudal . . . . .	10
6.2.2. Cálculo de la altura manométrica . . . . .	10
6.3. Curvas Experimentales Ajustadas . . . . .	10
6.4. Aplicación de las Relaciones . . . . .	11
<b>7. Partiendo de la curva experimental a 3000 rpm, representar las curvas de isorrendimiento a intervalos de caudal de 1000 L/h y calcular el valor del rendimiento de cada una. Representar el valor del rendimiento para cada punto experimental (<math>H,Q</math>) y comparar dichos valores con los teóricos.</b>	<b>12</b>
7.1. Datos experimentales convertidos a unidades SI . . . . .	12
7.2. Cálculo analítico de potencias y rendimientos . . . . .	13

7.3. Cálculo de potencias y rendimientos experimentales . . . . .	14
7.4. Curvas de isorrendimiento . . . . .	14
7.5. Comparación de rendimientos a 1500 y 3000 rpm . . . . .	16
<b>8. Dibujar en una misma gráfica las curvas adimensionales CP (CQ), CH (CQ) y (CQ) para todos los datos experimentales obtenidos con ambos ensayos y ajustar una ecuación polinómica de 2º grado a cada una</b>	<b>16</b>
8.1. Coeficientes Adimensionales . . . . .	16
<b>9. Conclusión</b>	<b>19</b>

## 1. Objetivos

- Estudiar experimentalmente las relaciones de semejanza en bombas centrífugas.
- Analizar cómo el régimen de trabajo de una bomba depende de su velocidad de rotación y cómo esta afecta a las curvas características de altura manométrica  $H(Q)$ , potencia  $P(Q)$  y rendimiento  $\eta(Q)$ .
- Determinar los coeficientes adimensionales  $C_P$ ,  $C_Q$  y  $C_H$  utilizados para representar las curvas características de forma generalizada e independiente de la velocidad.
- Comprobar experimentalmente las leyes de semejanza mediante la comparación de resultados obtenidos a distintas velocidades de giro.

## 2. Introducción

El estudio del comportamiento hidráulico de las bombas centrífugas se basa en la relación entre el caudal  $Q$ , la altura manométrica  $H$ , la potencia  $P$  y el rendimiento  $\eta$ . Estas magnitudes se obtienen experimentalmente a diferentes velocidades de rotación y se representan mediante las llamadas *curvas características* de la bomba.

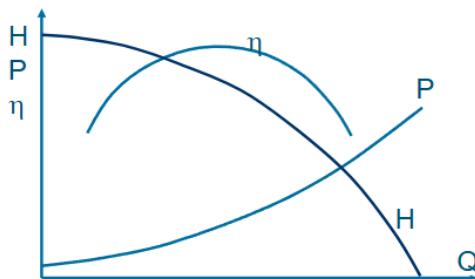


Figura 1: Curvas características de una bomba

### 3. Fundamento Teórico

#### 3.1. Obtención de las relaciones de semejanza

Para establecer las leyes de semejanza, se parte de la igualdad geométrica entre dos bombas centrífugas y de la proporcionalidad entre sus magnitudes cinemáticas y dinámicas.

La velocidad periférica en la salida del rolete está dada por:

$$u_2 = \omega r_2 = \frac{N(\text{rpm}) 2\pi D_2}{60 \cdot 2} \propto ND_2$$

La componente radial de la velocidad absoluta cumple:

$$c_{r,2} \propto U_2 \propto ND_2$$

El caudal se obtiene como:

$$Q = c_{r,2} 2\pi r_2 b \Rightarrow Q \propto c_r D^2 \Rightarrow Q \propto ND^3$$

La altura teórica desarrollada por la bomba se expresa como:

$$H_e = \frac{u_2 c_{u2}}{g} \Rightarrow H_e \propto \frac{c_u u}{g} \Rightarrow H \propto \frac{N^2 D^2}{g}$$

Y la potencia hidráulica como:

$$P \propto \gamma Q H \propto \gamma N D^3 \frac{N^2 D^2}{g} \Rightarrow P \propto \rho N^3 D^5$$

Por tanto, se cumple el conjunto de relaciones de semejanza:

$$Q \propto ND^3, \quad H \propto N^2 D^2, \quad P \propto \rho N^3 D^5$$

De aquí se derivan las leyes de comparación entre dos bombas semejantes o entre un mismo equipo a distintas velocidades:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = K \lambda^3, \quad \frac{H_1}{H_2} = K^2 \lambda^2, \quad \frac{P_1}{P_2} = K^3 \lambda^5$$

donde:

$$K = \frac{N_1}{N_2}, \quad \lambda = \frac{D_1}{D_2}$$

### 3.2. Coeficientes adimensionales

A partir de estas leyes se definen los coeficientes adimensionales de funcionamiento:

$$C_Q = \frac{Q}{ND^3}, \quad C_H = \frac{gH}{N^2 D^2}, \quad C_P = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

Estos coeficientes permiten representar las curvas características  $C_H(C_Q)$ ,  $C_P(C_Q)$  y  $\eta(C_Q)$  de manera universal, independientemente del tamaño o velocidad de la bomba, siempre que se mantenga la semejanza geométrica y dinámica.

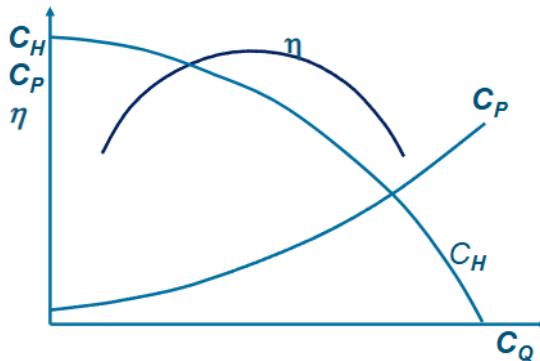


Figura 2: Curvas características adimensionales

### 3.3. Triángulo de velocidades

El análisis del movimiento del fluido en el rodete se representa mediante el **triángulo de velocidades**, donde intervienen las componentes:

- $u$ : velocidad periférica del rodete.
- $v$ : velocidad absoluta del fluido.
- $w$ : velocidad relativa respecto al álate.

La descomposición de la velocidad absoluta en sus componentes radial ( $v_r$ ) y tangencial ( $v_u$ ) permite analizar la energía impartida al fluido. La altura manométrica teórica está relacionada con la diferencia de las componentes tangenciales de velocidad en la entrada y salida del rodete:

$$H_t = \frac{u_2 v_{u2} - u_1 v_{u1}}{g}$$

donde  $r_1$  y  $r_2$  representan los radios de entrada y salida del rodete, respectivamente.

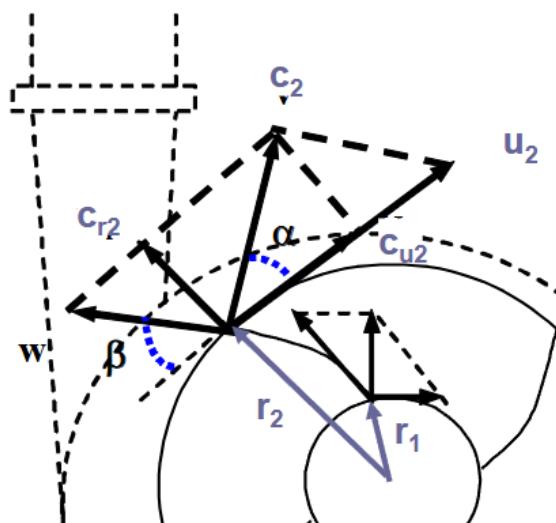


Figura 3: Triángulo de velocidades y secciones de entrada y salida del rodete.

#### 4. Materiales Empleados

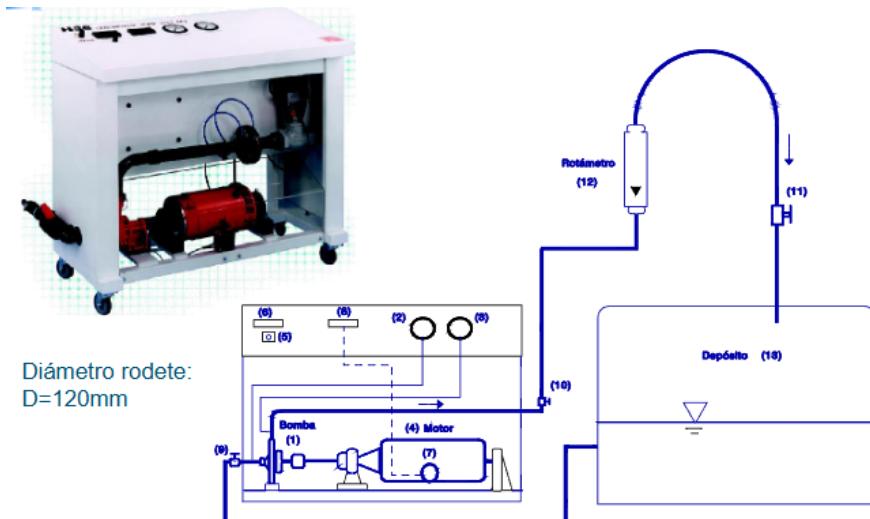


Figura 4: Dispositivo Experimental

- Banco de ensayos de bombas centrífugas.

- Bomba centrífuga con rodete de diámetro  $D = 120$  mm.
- Motor eléctrico con control de velocidad de rotación.
- Caudalímetro para la medición del caudal volumétrico  $Q$ .
- Manómetros para la medición de la presión de aspiración y de impulsión.
- Tacómetro para la medición de la velocidad de rotación  $N$ .
- Dinamómetro o sensor de par para determinar el par motor  $M$ .

## 5. Datos y Desarrollo

### 5.1. Ensayo a 3000rpm

Cuadro 1: Resultados del ensayo de la bomba centrífuga a 3000 rpm

Punto	$N(rpm)$	$M(Nm)$	$P_{asp}(bar)$	$P_{imp}(bar)$	$Q(L/h)$
1	3030	1,165	-0,58	0,5	6000
2	3052	1,09	-0,43	0,73	5000
3	3069	1,01	-0,31	0,925	4000
4	3087	0,9	-0,19	1,115	3000
5	3097	0,78	-0,1	1,25	2000
6	3103	0,67	-0,025	1,375	1000
7	3110	0,57	0	1,535	0

### 5.2. Ensayo a 1500rpm

Cuadro 2: Resultados del ensayo de la bomba centrífuga a 1500 rpm

Punto	$N(rpm)$	$M(Nm)$	$P_{asp}(bar)$	$P_{imp}(bar)$	$Q(L/h)$
1	1570	0,38	-0,19	0,1	3000
2	1577	0,35	-0,14	0,18	2500
3	1580	0,33	-0,1	0,23	2000
4	1585	0,3	-0,055	0,28	1500
5	1590	0,27	-0,025	0,325	1000
6	1593	0,22	0	0,39	0

6. Dibujar en una misma gráfica las curvas características experimentales  $H(Q)$  para cada valor de velocidad de giro y ajustar una ecuación polinómica de 2º grado a cada una. Aplicando las leyes de semejanza obtener la curva característica teórica  $H(Q)$  para 1500 rpm, a partir de la curva experimental de 3000 rpm. Comparar esta curva teórica con los puntos obtenidos experimentalmente.

6.1. Conversión de datos a unidades del Sistema Internacional y cálculo de la altura manométrica para 3000 rpm

Los datos experimentales obtenidos a 3000 rpm se presentan originalmente en unidades técnicas. Para su análisis y representación de las curvas características  $H(Q)$ , es necesario expresarlos en el Sistema Internacional (SI).

6.1.1. Conversión del caudal

El caudal  $Q$  se proporciona en litros por hora (L/h). Para pasarlo a metros cúbicos por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), se aplica la relación:

$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3, \quad 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

por tanto:

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = Q(\text{L}/\text{h}) \times \frac{10^{-3}}{3600} = \frac{Q(\text{L}/\text{h})}{3,6 \times 10^6}$$

6.1.2. Cálculo de la altura manométrica

La altura manométrica total  $H_m$  de una bomba se obtiene a partir de la diferencia de presiones entre la impulsión y la aspiración, sumando o restando las componentes cinéticas si es necesario. En este caso, despreciando la diferencia de velocidades entre entrada y salida (válida para caudales moderados), se aplica:

$$H_m = \frac{(P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}}) \times 10^5}{\rho g}$$

donde:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2, \quad P_{\text{imp}}, P_{\text{asp}} \text{ en bar.}$$

De esta forma se obtiene la altura manométrica efectiva desarrollada por la bomba para cada punto de operación.

Cuadro 3: Datos experimentales convertidos a unidades SI y cálculo de  $H_m$  para 3000 rpm

Punto	N (rpm)	M (N m)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>imp</sub> (bar)	Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>m</sub> (m)
1	3030	1.165	-0.58	0.50	0.00167	11.01
2	3052	1.09	-0.43	0.73	0.00139	11.82
3	3069	1.01	-0.31	0.925	0.00111	12.59
4	3087	0.90	-0.19	1.115	0.00083	13.30
5	3097	0.78	-0.10	1.25	0.00056	13.76
6	3103	0.67	-0.025	1.375	0.00028	14.27
7	3110	0.57	0.00	1.535	0.00000	15.65

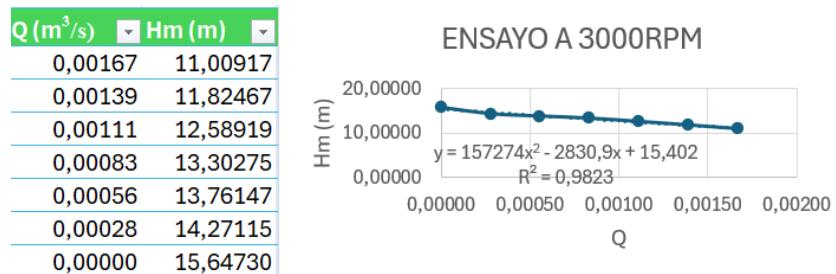


Figura 5: ensayo para 3000 RPM

## 6.2. Conversión de datos a unidades del Sistema Internacional y cálculo de la altura manométrica para 1500 rpm

De forma análoga al caso anterior, se convierten los datos experimentales del ensayo a 1500 rpm a unidades del Sistema Internacional y se calcula la altura manométrica  $H_m$ .

### 6.2.1. Conversión del caudal

El caudal medido en L/h se convierte a m<sup>3</sup>/s mediante la relación:

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = Q(\text{L/h}) \times \frac{10^{-3}}{3600}$$

### 6.2.2. Cálculo de la altura manométrica

La altura manométrica total se obtiene a partir de la diferencia de presiones entre impulsión y aspiración:

$$H_m = \frac{(P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}}) \times 10^5}{\rho g}$$

con:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2, \quad P_{\text{imp}}, P_{\text{asp}} \text{ en bar.}$$

Cuadro 4: Datos experimentales convertidos a unidades SI y cálculo de  $H_m$  para 1500 rpm

Punto	N (rpm)	M (Nm)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>imp</sub> (bar)	Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>m</sub> (m)
1	1570	0.38	-0.19	0.10	0.00083	2.96
2	1577	0.35	-0.14	0.18	0.00069	3.26
3	1580	0.33	-0.10	0.23	0.00056	3.36
4	1585	0.30	-0.055	0.28	0.00042	3.41
5	1590	0.27	-0.025	0.325	0.00028	3.57
6	1593	0.22	0.00	0.39	0.00000	3.98

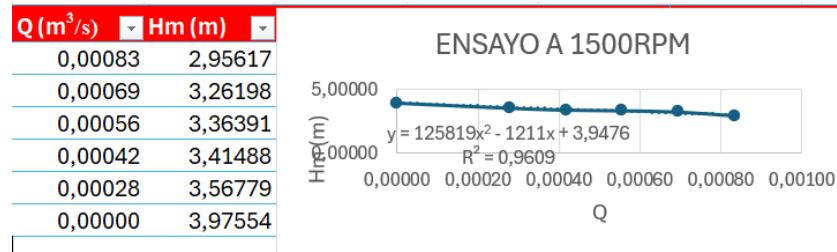


Figura 6: ensayo a 1500 RPM

### 6.3. Curvas Experimentales Ajustadas

Se dispone de los siguientes ajustes polinómicos de segundo grado para las curvas características  $H(Q)$ :

**Para 3000 rpm**

$$H_{3000,\text{exp}}(Q) = 157274Q^2 - 2830,9Q + 15,402$$

**Para 1500 rpm**

$$H_{1500,\text{exp}}(Q) = 125819Q^2 - 1211Q + 3,9476$$

donde  $Q$  está en  $\text{m}^3/\text{s}$  y  $H$  en metros.

## 6.4. Aplicación de las Relaciones

**Caudal**

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = 2 \quad \Rightarrow \quad Q_1 = 2 \cdot Q_2$$

**Resultado:** La bomba a 3000 rpm da el doble de caudal que a 1500 rpm.

**Altura Manométrica**

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 2^2 = 4 \quad \Rightarrow \quad H_1 = 4 \cdot H_2$$

**Resultado:** La altura manométrica a 3000 rpm es cuatro veces la de 1500 rpm.

**Potencia Absorbida**

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = 2^3 = 8 \quad \Rightarrow \quad P_1 = 8 \cdot P_2$$

**Resultado:** La potencia necesaria a 3000 rpm es ocho veces la de 1500 rpm.

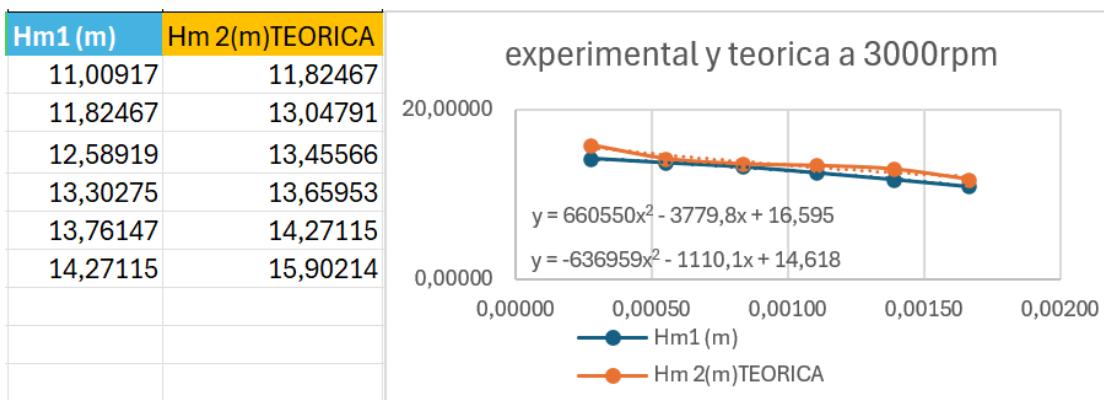


Figura 7: Experimental y Teorica a 3000rpm

7. Partiendo de la curva experimental a 3000 rpm, representar las curvas de isorrendimiento a intervalos de caudal de 1000 L/h y calcular el valor del rendimiento de cada una. Representar el valor del rendimiento para cada punto experimental ( $H, Q$ ) y comparar dichos valores con los teóricos.

#### 7.1. Datos experimentales convertidos a unidades SI

La Tabla 5 muestra los datos experimentales tomados durante el ensayo de la bomba centrífuga a 3000 rpm, expresados en unidades del Sistema Internacional. A partir de las presiones de aspiración e impulsión se obtiene la altura manométrica  $H_m$  para cada punto.

Cuadro 5: Datos experimentales convertidos a unidades SI y cálculo de  $H_m$  para 3000 rpm

Punto	N (rpm)	M (N·m)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>imp</sub> (bar)	Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>m</sub> (m)
1	3030	1.165	-0.58	0.50	0.00167	11.01
2	3052	1.090	-0.43	0.73	0.00139	11.82
3	3069	1.010	-0.31	0.925	0.00111	12.59
4	3087	0.900	-0.19	1.115	0.00083	13.30
5	3097	0.780	-0.10	1.250	0.00056	13.76
6	3103	0.670	-0.025	1.375	0.00028	14.27
7	3110	0.570	0.000	1.535	0.00000	15.65

## 7.2. Cálculo analítico de potencias y rendimientos

A partir de los datos de la Tabla 5, se determinan las potencias mecánica e hidráulica y el rendimiento de la bomba mediante las siguientes expresiones fundamentales:

$$P_{\text{mec}} = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2\pi N}{60} \quad (1)$$

$$P_{\text{hid}} = \rho g Q H_m = 9810 Q H_m \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{hid}}}{P_{\text{mec}}} \times 100 \% \quad (3)$$

donde:

- $M$ : par motor en N·m,
- $N$ : velocidad de rotación en rpm,
- $Q$ : caudal volumétrico en m<sup>3</sup>/s,
- $H_m$ : altura manométrica en m,
- $\rho g = 9810$  N/m<sup>3</sup>: peso específico del agua.

### 7.3. Cálculo de potencias y rendimientos experimentales

Aplicando las ecuaciones anteriores a los datos experimentales, se obtiene la Tabla 6, donde se muestran las potencias calculadas y los rendimientos correspondientes a cada punto.

Cuadro 6: Cálculo de potencias y rendimientos experimentales a 3000 rpm

Punto	N (rpm)	M (N·m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>m</sub> (m)	P <sub>mec</sub> (W)	P <sub>hid</sub> (W)	$\eta$ (%)
1	3030	1.165	0.00167	11.01	369.5	180.1	48.7
2	3052	1.090	0.00139	11.82	348.2	161.1	46.3
3	3069	1.010	0.00111	12.59	324.6	137.0	42.2
4	3087	0.900	0.00083	13.30	291.0	108.2	37.2
5	3097	0.780	0.00056	13.76	253.0	75.5	29.8
6	3103	0.670	0.00028	14.27	217.8	39.2	18.0
7	3110	0.570	0.00000	15.65	185.6	0.0	0.0

### 7.4. Curvas de isorrendimiento

Una vez determinados los rendimientos experimentales, se pueden representar las curvas de isorrendimiento para diferentes caudales. Aplicando las leyes de semejanza para bombas centrífugas:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

$$H_2 = H_1 \cdot \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

Tomando como referencia  $N_{\text{ref}} = 3000$  rpm, se determinan los valores correspondientes de  $H_m$  y  $\eta$  para cada intervalo de 1000 L/h.

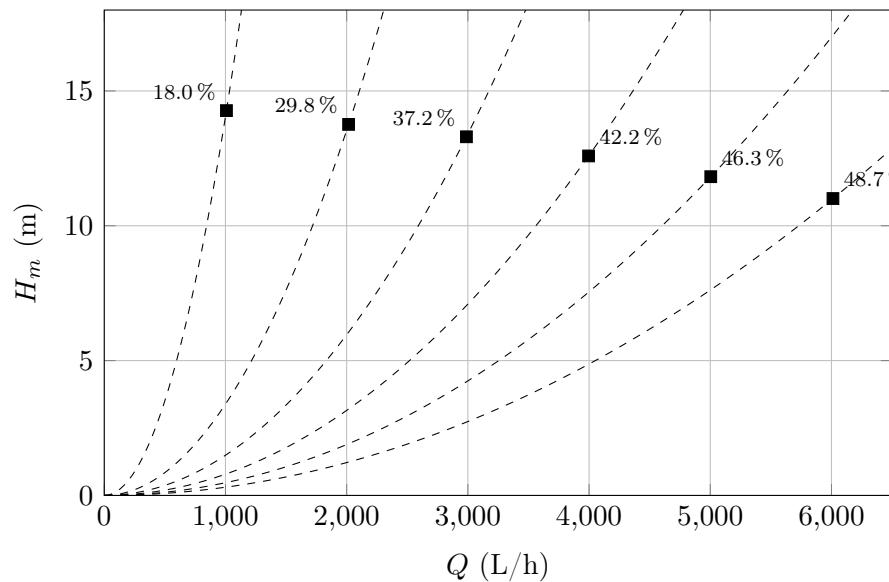


Figura 8: Curvas de isorrendimiento y puntos experimentales a 3000 rpm .

Cuadro 7: Resultados de rendimiento para la bomba a 1500 rpm

$Q$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	$Q$ (L/h)	$H_m$ (m)	$P_{\text{hid}}$ (W)	$P_{\text{mec}}$ (W)	$\eta$	$\eta$ (%)
0.00083	2988	2.96	24.17	62.48	0.387	38.7
0.00069	2484	3.26	22.22	57.80	0.384	38.4
0.00056	2016	3.36	18.33	54.60	0.336	33.6
0.00042	1512	3.41	13.96	49.79	0.280	28.0
0.00028	1008	3.57	9.72	44.96	0.216	21.6
0.00000	0	3.98	0.00	36.70	0.000	0.0

## 7.5. Comparación de rendimientos a 1500 y 3000 rpm

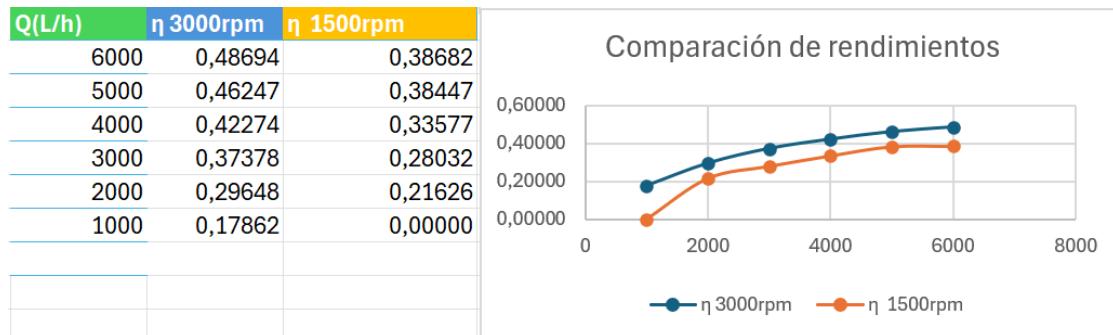


Figura 9: Comparación de rendimientos

La comparación experimental entre 1500 y 3000 rpm verifica las leyes de semejanza hidráulica:

$$H \propto N^2 \quad (4)$$

$$Q \propto N \quad (5)$$

El rendimiento máximo disminuye del **49 %** al **39 %** a menor velocidad, debido al mayor impacto relativo de las pérdidas por fricción y fugas. Los resultados experimentales confirman el comportamiento teórico característico de bombas centrífugas.

8. Dibujar en una misma gráfica las curvas adimensionales CP (CQ), CH (CQ) y (CQ) para todos los datos experimentales obtenidos con ambos ensayos y ajustar una ecuación polinómica de 2º grado a cada una

### 8.1. Coeficientes Adimensionales

Para el análisis adimensional de los ensayos a 1500 rpm y 3000 rpm, se utilizan los siguientes coeficientes característicos de bombas:

$$C_Q = \frac{Q}{ND^3} \quad (\text{Coeficiente de caudal}) \quad (6)$$

$$C_H = \frac{Hg}{N^2 D^2} \quad (\text{Coeficiente de altura}) \quad (7)$$

$$C_P = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \quad (\text{Coeficiente de potencia}) \quad (8)$$

Donde:

- $Q$ : caudal en  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
- $H$ : altura manométrica en m
- $P$ : potencia en W
- $N$ : velocidad de rotación en  $(\text{convertir a } \text{s}^{-1})$
- $D$ : diámetro del rolete en m
- $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ : densidad del agua
- $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ : aceleración gravitatoria

Cuadro 8: Coeficientes adimensionales para los ensayos a 3000 rpm

$Q$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	$H_m$ (m)	$P_h$ (W)	$P_m$ (W)	$\eta$	$C_Q$	$C_H$	$C_P$	$D$ (m)
0.00167	11.01	180.00	369.66	0.487	0.000318	0.000817	0.003720	0.12
0.00139	11.82	161.11	348.37	0.462	0.000263	0.000865	0.003431	0.12
0.00111	12.59	137.22	324.60	0.423	0.000210	0.000911	0.003144	0.12
0.00083	13.30	108.75	290.94	0.374	0.000156	0.000951	0.002769	0.12
0.00056	13.76	75.00	252.97	0.296	0.000104	0.000977	0.002384	0.12
0.00028	14.27	38.89	217.71	0.179	0.000052	0.001010	0.002040	0.12
0.00000	15.65	0.00	185.64	0.000	0.000000	-	0.001728	0.12

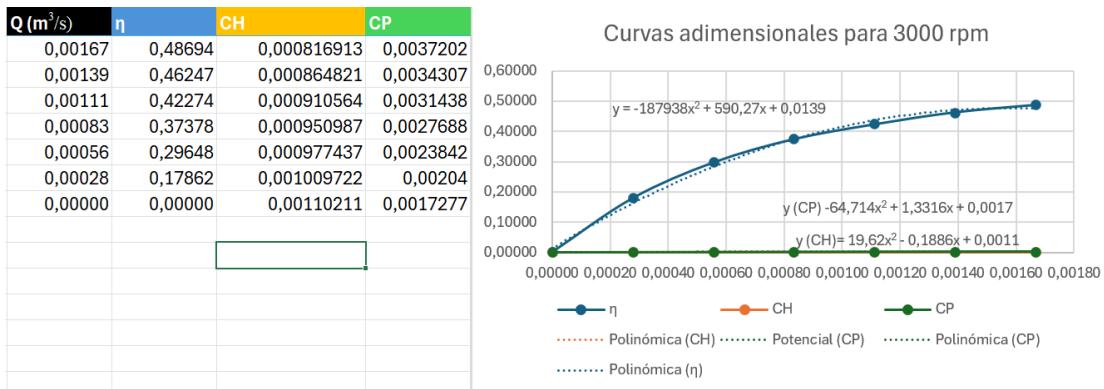


Figura 10: curvas adimensionales para 3000 rpm

Para caracterizar el comportamiento de la bomba a 3000 rpm de manera adimensional, se ajustaron las siguientes curvas a los datos experimentales:

$$\eta^* = -187938x^2 + 590,27x + 0,0139 \quad (9)$$

$$C_P^* = -64,714x^2 + 1,3316x + 0,0017 \quad (10)$$

$$C_H^* = 19,62x^2 - 0,1886x + 0,0011 \quad (11)$$

donde:

- $\eta^*$ : rendimiento adimensional
- $C_P^*$ : coeficiente de potencia adimensional
- $C_H^*$ : coeficiente de altura adimensional

Cuadro 9: Coeficientes adimensionales para los ensayos a 1500 rpm

$Q (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$	$H_m (\text{m})$	$P_h (\text{W})$	$P_m (\text{W})$	$\eta$	$C_Q$	$C_H$	$C_P$	$D (\text{m})$
0.00083	2.956	24.167	62.476	0.387	0.000307	0.000224	0.004520	0.12
0.00069	3.262	22.222	57.800	0.384	0.000255	0.000356	0.004126	0.12
0.00056	3.364	18.333	54.601	0.336	0.000204	0.000573	0.003876	0.12
0.00042	3.415	13.958	49.794	0.280	0.000152	0.001034	0.003501	0.12
0.00028	3.568	9.722	44.956	0.216	0.000101	0.002431	0.003131	0.12
0.00000	3.976	0.000	36.700	0.000	0.000000	-	0.002542	0.12

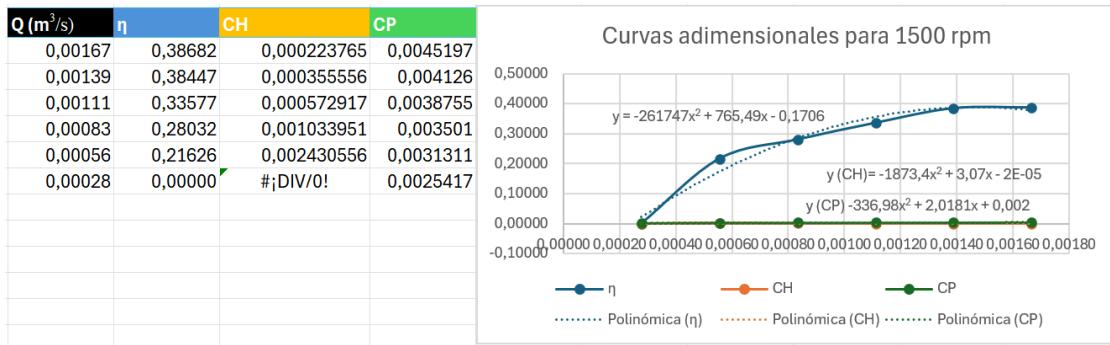


Figura 11: Curvas adimensionales para 1500 rpm

Las curvas adimensionales ajustadas a los datos experimentales a 1500 rpm se expresan como:

$$\begin{aligned}\eta^* &= -261\,747 x^2 + 765,49 x - 0,1706 \\ C_H^* &= -1\,873,4 x^2 + 3,07 x - 2 \times 10^{-5} \\ C_P^* &= -336,98 x^2 + 2,0181 x + 0,002\end{aligned}$$

donde:

- $\eta^*$ : rendimiento adimensional
- $C_H^*$ : coeficiente de altura adimensional
- $C_P^*$ : coeficiente de potencia adimensional

## 9. Conclusión

El análisis experimental de la bomba centrífuga a 1500 y 3000 rpm confirma las leyes de semejanza hidráulica. Los resultados muestran que la altura manométrica  $H$  y el caudal  $Q$  siguen aproximadamente las relaciones  $H \propto N^2$  y  $Q \propto N$ , mientras que la potencia absorbida  $P$  aumenta con la velocidad según  $P \propto N^3$ . Se observa que el rendimiento máximo disminuye al reducir la velocidad, pasando del 49 % a 3000 rpm al 39 % a 1500 rpm, debido al mayor impacto relativo de pérdidas por fricción y fugas.

Las curvas adimensionales  $C_H(C_Q)$ ,  $C_P(C_Q)$  y  $\eta(C_Q)$  permiten comparar directamente el comportamiento de la bomba a distintas velocidades, evidenciando que la similitud geométrica y dinámica se mantiene. Las curvas adimensionales que se han obtenido para ambos ensayos se asemejan bastante por lo que refuerza el éxito de la práctica.