



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

Habilitación de equipos de laboratorio de mecánica de fluidos

**Seminario de Título presentado en
conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero de
Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:
Sr. Vicente Pita Vives**

**Andrés Arian Guzmán Muñoz
Sebastián Ignacio Nova Henríquez**

2014

Resumen

El presente seminario se realizó en el Laboratorio de Termo fluidos, de la Universidad del Bío-Bío de la ciudad de Concepción, durante el periodo comprendido entre el mes Junio y Diciembre del año 2014, en el cual tomaron participación los alumnos Andrés Guzmán Muñoz y Sebastián Nova Henríquez, junto con la orientación y ayuda del profesor Vicente Pita Vives. Donde, en respuesta a la necesidad de tener habilitados todos y cada uno de los equipos existentes en el laboratorio y por petición de la Encargada de Laboratorio la profesora Patricia Rebolledo Carrasco, se habilitaron tres equipos de fluidos.

Los equipos estudiados fueron: EDIBON FME08 Fuerza sobre superficie sumergida, EDIBON FME01 Impacto de chorro y EDIBON PBSPC Ensayo de bombas serie-paralelo. Para cada uno de estos, en primera instancia, se realizó una caracterización basada en los manuales de la marca EDIBON; se reunió información teórica del fundamento de cada uno de los equipos y la puesta en marcha de estos en forma práctica. Luego de la caracterización se confeccionó un prototipo de guía de laboratorio de cómo podría ser la guía final. Una vez terminadas las posibles guías se realizó una evaluación práctica de cada equipo, toma de datos y cálculo para cada uno de ellos.

Finalmente se tomaron en consideración aquellas mediciones y cálculos de mayor impacto didáctico y que tengan un mayor aporte en la formación de los estudiantes, para así, finalizar las guías de laboratorio definitivas a utilizar.

En paralelo se realizó un catastro de los equipos disponibles en el Laboratorio de Termo fluidos de la Universidad del Bío-Bío, sede Concepción y se hizo una revisión acerca de que equipos utilizan algunas Universidades, tanto en Chile como en el mundo, en sus respectivas instalaciones, llegando así a dar una recomendación de cuáles de estos equipos que podrían implementarse en la Universidad del Bío-Bío

Glosario

1. Presión sobre superficie sumergida :

- ✦ A : Área.
- ✦ $b = Base$
- ✦ $CP_{teorico}$: Centro de presiones calculado en forma teórica.
- ✦ $CP_{experimental}$: Centro de presiones calculado en forma práctica.
- ✦ E : Empuje hidrostático.
- ✦ e : Espesor del cuadrante sumergido.
- ✦ F : Peso del contrapeso.
- ✦ g : Aceleración de gravedad.
- ✦ h = Altura
- ✦ L : Distancia horizontal entre el eje y el colgante para el peso.
- ✦ m : Masa de ensayo
- ✦ M_o : Momento con respecto al punto de apoyo.
- ✦ r_i = Radio interior.
- ✦ r_e = Radio externo.
- ✦ $V_{sumergido}$: Volumen del cuerpo sumergido.
- ✦ W : Peso del cuerpo a sumergir.
- ✦ $X1$ Distancia entre el punto de apoyo y el peso del cuerpo.
- ✦ $X2$: Distancia entre el punto de apoyo y el contrapeso.
- ✦ $X3$: Distancia entre el punto de apoyo y el centro de presiones.
- ✦ \bar{x} = Distancia al centro de presiones
- ✦ y = altura sumergida.
- ✦ γ_{agua} : Peso específico del agua.
- ✦ α = Angulo alfa
- ✦ θ = Angulo theta
- ✦ β = Angulo Beta
- ✦ ε = Angulo Épsilon

2. Impacto de chorro:

- ✦ A: Área de la sección transversal del ducto de descarga.
- ✦ d: Diámetro de la sección transversal del ducto de descarga.
- ✦ F_{choro} : Fuerza vertical generada por el chorro de agua.
- ✦ $F_{externas}$: Fuerza vertical generada por las masas de ensayo.
- ✦ g: Aceleración de gravedad.
- ✦ \dot{m} : Flujo másico.
- ✦ m: masa de ensayo.
- ✦ Q: Caudal.
- ✦ V_e : Velocidad entrada.
- ✦ V_s : Velocidad salida.
- ✦ ρ_{agua} : Densidad del agua

3. Ensayo bombas serie-paralelo:

- ✦ B1= Bomba 1
- ✦ B2= Bomba 2
- ✦ H= Altura alcanzada
- ✦ N= Rendimiento
- ✦ Q= Caudal
- ✦ V1= Válvula 1
- ✦ V2= Válvula 2
- ✦ V3= Válvula 3
- ✦ CCC = Curva característica del circuito
- ✦ CCB = Curva característica de la bomba

4. Cavitación:

- ✦ d = Diámetro de cañería.
- ✦ f = Factor de fricción.
- ✦ g = Aceleración de gravedad.
- ✦ K = Constante de singularidad.
- ✦ L = Largo de succión.
- ✦ n = Revoluciones de la bomba.
- ✦ Perd. = Perdidas de carga.
- ✦ P_{ATM} = Presión atmosférica local.
- ✦ P_{SAT} = Presión de saturación de un fluido.
- ✦ Q = Caudal.
- ✦ V = Velocidad.
- ✦ Z = Distancia entre la entrada de la bomba y la superficie libre.
- ✦ γ_{fluido} = Peso específico del fluido.

Tabla de contenidos

➤ Resumen.....	pag. 1
➤ Glosario.....	pag. 2-4
➤ Introducción.....	pag. 7
➤ Objetivos.....	pag. 8
➤ Capítulo 1: Fuerza sobre superficie sumergida.....	pag. 9
1.1 Introducción.....	pag. 9-10
1.2 Especificaciones técnicas.....	pag. 11-12
1.3 Procedimiento del laboratorio y formulas a utilizar.....	pag. 13-18
1.4 Tabla de datos.....	pag. 19
1.5 Tablas de mediciones.....	pag. 20-21
1.6 Tabla de resultados.....	pag. 22
1.7 Análisis de sensibilidad.....	pag. 23-24
1.8 Conclusiones.....	pag. 25
➤ Capítulo 2: Impacto de chorro.....	pag. 26
2.1 Introducción.....	pag. 26-27
2.2 Especificaciones técnicas.....	pag. 28
2.3 Tablas de mediciones.....	pag. 29-32
2.4 Procedimiento de cálculos.....	pag. 33-37
2.5 Tablas de resultados.....	pag. 38-39
2.6 Análisis de sensibilidad.....	pag. 40
2.6 Conclusiones.....	pag. 41
➤ Capítulo 3: Ensayo de bombas serie-paralelo.....	pag. 42
3.1 Introducción.....	pag. 42
3.2 Especificaciones técnicas.....	pag. 43-44
3.3 Procedimiento.....	pag. 45-48
3.4 Tablas de resultados y gráficos.....	pag. 49-54
3.5 Conclusiones.....	pag. 55-56

- Capítulo 4: Cavitación.....pag. 57
 - 4.1 Introducción.....pag. 57-58
 - 4.2 Procedimiento.....pag. 58-61
 - 4.3 Obtención de Cte. $NPSH_{requerido}$pag.62-65
 - 4.4 Conclusiones.....pag. 66
- Capítulo 5: Catastro de equipos disponibles en Laboratorio.....pag. 67
 - 5.1 Equipo FME06.....pag. 68
 - 5.2 Equipo FME02.....pag. 69
 - 5.3 Equipo FME00.....pag. 70
 - 5.4 Equipo Aerolab.....pag. 71
 - 5.5 Equipo Saybolt Universal ASTM D88.....pag. 72
 - 5.6 Equipo Saybolt Furol ASTM D88.....pag. 73
 - 5.7 Equipo para estudiar pérdidas de carga y medición de caudales.....pag. 74
- Capítulo 6: Recomendación de laboratorios y equipos a incorporar.....pag. 75
 - 6.1 Vaciado de estanque.....pag. 75
 - 6.2 Golpe de ariete.....pag. 76
 - 6.3 Catastro de equipos dentro y fuera de la Universidad.....pag. 77
- Conclusiones.....pag. 78-80
- Bibliografía.....pag. 81
- Anexos.....pag. 82
-

Introducción

En el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Biobío, existe la necesidad tener en funcionamiento todos y cada uno de los equipos que existen dentro de las instalaciones del Laboratorio de Termo fluidos. Por petición de la Encargada de Laboratorios y talleres de DIMec, Sra. Patricia Rebolledo Carrasco, se tomó la decisión de habilitar los siguientes equipos del laboratorio de mecánica de fluidos:

- ◆ Fuerza sobre superficie sumergida.
- ◆ Impacto de chorro.
- ◆ Ensayo de bombas serie-paralelo.
- ◆ Cavitación.

En los equipos a trabajar es posible poner en observación y comprobar prácticamente los fenómenos que se estudian en la sala de clase, reforzando así los conocimientos teóricos adquiridos previamente. Estas observaciones podrán ser corroboradas analíticamente, y establecer conclusiones.

El presente trabajo de título comprende de cuatro prácticas que en la actualidad no se están desarrollando en los laboratorios, con toda la información necesaria para que el alumno pueda aprender, comprender y ejecutar ensayos sobre los temas de fuerza sobre superficie sumergida, impacto de chorro, ensayo de bombas serie-paralelo y cavitación.

Al introducir un objeto sólido en un recipiente que contiene cierto fluido, en reposo, se genera presión sobre todas las caras de éste. La presión que actúa en su cara inferior lo impulsa hacia la superficie, a esto se le llama empuje.

El impacto de un chorro sobre una superficie es un tema que se estudia dentro del área de flujo de fluidos, y es una base para el desarrollo de la teoría de turbo maquinas. Dicho impacto produce una fuerza generada por la energía que trae consigo el chorro, la cual impacta contra una determinada área.

Al tener dos bombas es posible acoplarlas de dos maneras, en serie o paralelo. El acoplamiento en serie se utiliza cuando se desea alcanzar mayores alturas; el acoplamiento en paralelo será utilizado con el fin de lograr mayores caudales.

Cada vez que se trabaja con una bomba existe el riesgo de que se produzca un fenómeno llamado cavitación, el cual consiste en la formación de burbujas de vapor dentro del caudal del fluido, el cual afecta en forma negativa al equipo.

Objetivos

General: Habilitar los siguientes equipos de laboratorio de termo fluidos:

- Presión sobre superficie sumergida.
- Impacto de chorro.
- Banco de bombas en serie o paralelo.
- Cavitación.

Específicos

- a) Caracterizar procesos de cada equipo
- b) Evaluación práctica de características de los equipos
- c) Confección de guías de laboratorio

Capítulo 1

Fuerza sobre superficie sumergida

1.1 Introducción

Cuando un cuerpo sólido es sumergido en un fluido en reposo, experimenta una fuerza resultante que lo impulsa hacia la superficie, la cual es llamada empuje hidrostático. El cuerpo recibe fuerzas del fluido en reposo en todas sus superficies, por lo que las fuerzas horizontales son anuladas y dejando así en consideración tan solo las fuerzas que actúan en forma vertical. Cuando el empuje hidrostático es mayor al peso del cuerpo totalmente sumergido, este es impulsado a la superficie, en caso contrario el cuerpo desciende a las profundidades y si el empuje se iguala con el peso se dice que el cuerpo queda entre aguas.

El equipo a estudiar posee un cuerpo en forma de un cuarto de cilindro hueco (cuadrante) que está adherido al brazo de una balanza que se mueve en torno a un eje (figura 1.1). Cuando dicho cuadrante se encuentra sumergido en el fluido, este ejerce fuerzas que actúan sobre el cuadrante en todas las direcciones. Las fuerzas horizontales son anuladas las unas con las otras, dejado así en consideración solo la resultante vertical llamada empuje hidrostático.

Dependiendo de la cantidad de fluido que se le suministre aumentará o disminuirá el volumen del cuadrante sumergido en éste, ocasionando una variación en la fuerza resultante hacia arriba y también cambia el centro de presiones donde actuará dicha fuerza, variando de esta manera el momento generado.

El brazo de la balanza dispone de un platillo para montar diversas masas conocidas, generando un momento que se opone al generado por el empuje, además de un contrapeso ajustable, el cual contrarresta la el peso del cuerpo.

Para que el sistema se encuentre en equilibrio la sumatoria de momentos debe ser igual a cero.

Este equipo está diseñado para poder realizar las siguientes experiencias:

- 1, Determinar el centro de presiones y la fuerza resultante para el cuadrante parcial y totalmente sumergido.
2. Estudiar equilibrio de momentos.

1.2 Especificaciones técnicas:

Se dispone de un equipo marca EDIBON, modelo FME08, del cual cabe rescatar los siguientes datos:

- ♣ Capacidad del depósito: 5,5 litros
- ♣ Distancia entre las masas suspendidas y punto de apoyo: 285 mm (L)
- ♣ Profundidad total del cuadrante sumergido: 160 mm
- ♣ Altura del punto de apoyo sobre el cuadrante: 100 mm
- ♣ Juego de discos con diversas masas, los cuales son: 4 pesos de 100 g, 1 peso de 50 g, 2 pesos de 20 g, 2 pesos de 10 g y 2 pesos de 5 g.
- ♣ Dimensiones del estanque: 550 x 250 x 350 mm (aprox.)



FIGURA 1.1

“Equipo FME08 disponible en laboratorio de mecánica de fluidos”

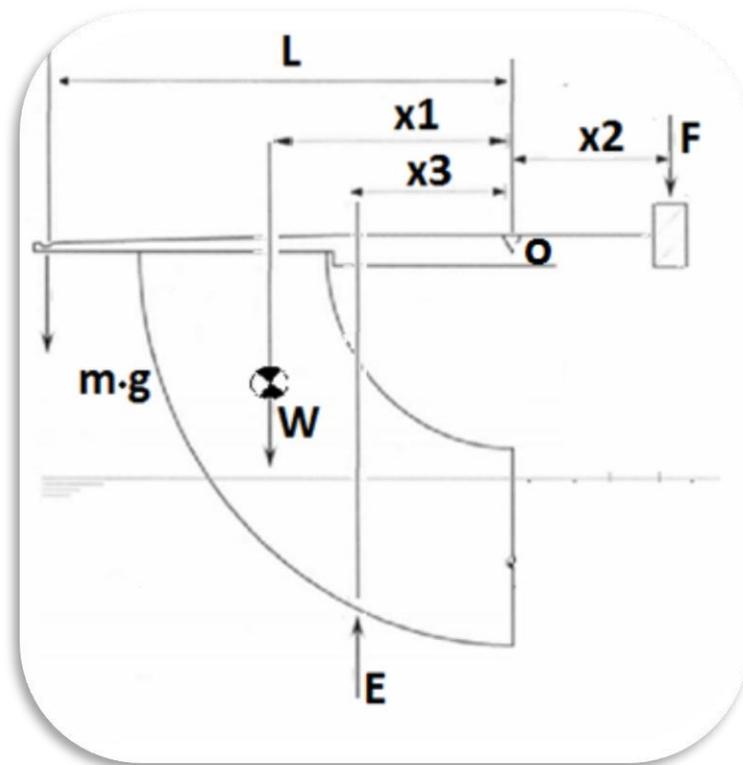


FIGURA 1.2

“Esquema del equipo”

Donde:

- E: Empuje hidrostático
- F: Peso del contrapeso.
- g: Aceleración de gravedad.
- L: Distancia horizontal entre el eje y el colgante para peso.
- m: Masa de ensayo.
- W: Peso del cuerpo a sumergir.
- X1: Distancia entre el punto de apoyo y el peso del cuerpo.
- X2: Distancia entre el punto de apoyo y el contrapeso.
- X3: Distancia entre el punto de apoyo y el centro de presiones.

1.3 Procedimiento del laboratorio y fórmulas a utilizar

Este experimento se basa en igualar los momentos generados por la masa de ensayo, el generado por el peso del cuerpo sumergido, el generado por el contrapeso y el generado por el empuje hidrostático.

$$\sum M_o = 0$$

Equilibrando el sistema antes de añadir una masa de ensayo y sin agregar el fluido al estanque se obtiene la siguiente relación:

$$X_1 \cdot W - X_2 \cdot F = 0$$

$$X_1 \cdot W = X_2 \cdot F$$

Entonces al realizar el análisis añadiendo una masa de ensayo y equilibrando el sistema con la presencia del fluido en el estanque se tiene:

$$m \cdot g \cdot L - E \cdot X_3 + W \cdot X_1 - F \cdot X_2 = 0$$

$$m \cdot g \cdot L = E \cdot X_3$$

El empuje hidrostático está determinado por el peso específico del fluido en el cual se encuentra sumergido el cuerpo, en este caso agua, y por el volumen sumergido, el cual se encontrará normado en una tabla de datos (TABLA 1.1).

$$E = \gamma_{agua} \cdot V_{sumergido}$$

$$\gamma_{agua} = \rho_{agua} \cdot g$$

$$m \cdot L = \rho_{agua} \cdot V_{sumergido} \cdot X_{3experimental}$$

De esta manera solo queda como incógnita la distancia $X_{3experimental}$ que corresponde a la distancia desde el punto de apoyo al centro de presiones en forma experimental.

$$X_{3experimental} = CP_{experimental}$$

Centro de presiones teóricos

Los centros de presiones teóricos fueron incluidos en la tabla 1.1, los cuales fueron tabulados en el Laboratorio de Termo fluidos.

Donde:

\bar{X} = Distancia entre el pivote y el centroide del volumen de fluido desplazado por el cuerpo.

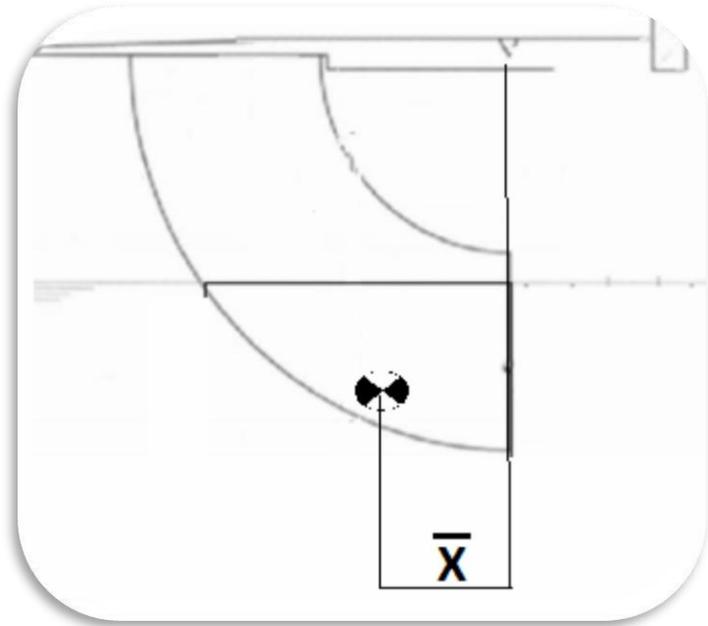


FIGURA 1.3

Se considerara:

$$\bar{X} = CP_{teorico}$$

Para realizar el cálculo de los centros de presiones teóricos fue necesario desglosar el área a trabajar, debido a su compleja geometría.

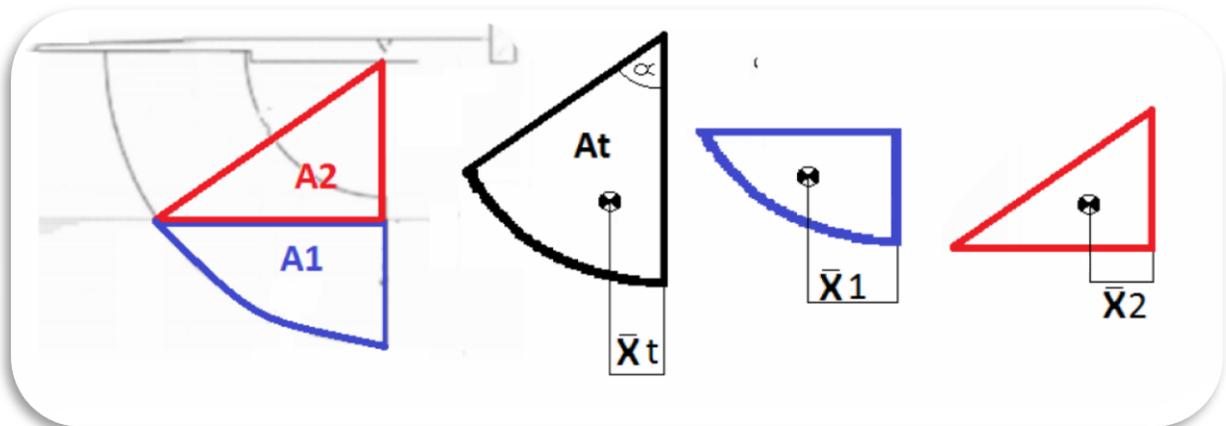


FIGURA 1.4

Luego se obtienen las siguientes relaciones:

$$A_t = A_1 + A_2$$

$$A_t \cdot \bar{X}_t = A_1 \cdot \bar{X}_1 + A_2 \cdot \bar{X}_2$$

Siendo A_t y A_2 figuras de geometría conocida es posible obtener sus respectivos centros de presiones y el área para cada caso.

$$A_t = \frac{\pi \cdot r_e^2 \cdot \alpha}{360}$$

$$A_2 = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$\bar{X}_t = \frac{2 \cdot r_e}{3 \cdot \theta} \cdot (\text{sen } \theta)^2$$

$$\bar{X}_2 = \frac{b}{3}$$

Donde:

$$h = r_e - y$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{r_e}$$

$$b = r_e \cdot \text{sen } \alpha$$

$$\theta = \frac{\alpha}{2}$$

Siendo y el valor de la altura del fluido en contacto con el cuadrante un valor conocido.

Para altura sumergida $y=10$ mm

$$h = 190 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{r} \therefore \alpha = 18.194; \theta = 9.097 = 0.0505 \cdot \pi$$

$$b=62.447$$

$$A_2 = 5932.473 \text{ mm}^2; A_t = 6350.904 \text{ mm}^2; A_1 = 418.431 \text{ mm}^2$$

$$\bar{X}_2 = 20.815 \text{ mm}; \bar{X}_t = 21.008 \text{ mm}$$

$$\bar{X}_1 = \frac{6350.904 \cdot 21.008 - 5930.473 \cdot 20.815}{418.431}$$

$$\bar{X}_1 = 20.637 \text{ mm}$$

Se debe de realizar el mismo procedimiento para cada uno de los valores de y entre 0 y 100 mm.

Para realizar el cálculo de los centros de presiones para $y > 100$ fue necesario realizar otro desglose del área a trabajar.

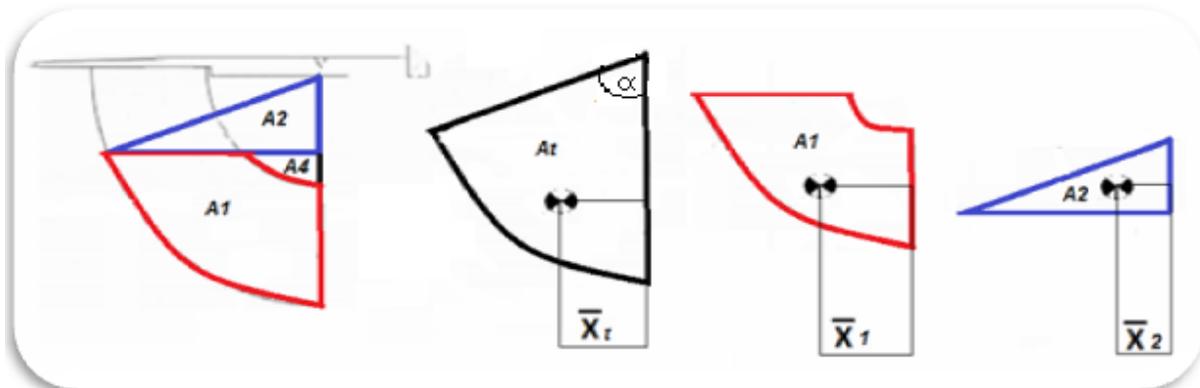


FIGURA 1.5

En este caso es necesario realizar un segundo desglose del área a trabajar.

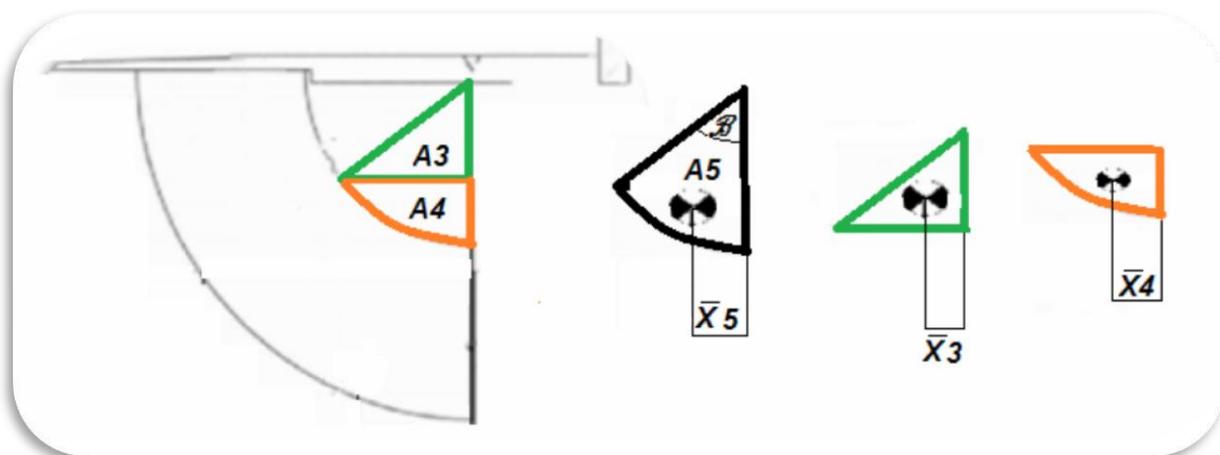


FIGURA 1.6

En este momento es posible el cálculo de presiones del área del cuadrante sumergida, utilizando las siguientes ecuaciones.

$$A_1 \cdot \bar{X}_1 = A_t \cdot \bar{X}_t - A_2 \cdot \bar{X}_2 - A_4 \cdot \bar{X}_4$$

$$A_4 \cdot \bar{X}_4 = A_5 \cdot \bar{X}_5 - A_3 \cdot \bar{X}_3$$

Para altura sumergida $y = 110 \text{ mm}$

$b = 43.588 \text{ mm}$; $h = 90 \text{ mm}$; $\beta = 25.842$;

$$\bar{X}_5 = \frac{2 \cdot r_i \cdot \text{sen } \varepsilon^2}{3 \cdot \varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{\beta}{2} \therefore \varepsilon = 0.0717 \cdot \pi$$

$$A_5 = \frac{\pi \cdot r_i^2 \cdot \beta}{360}$$

$$A_3 = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$\bar{X}_3 = \frac{b}{3}$$

$$A_3 = 1961,460 \text{ mm}^2; A_5 = 2255.140 \text{ mm}^2; A_4 = 293.68 \text{ mm}^2;$$

$$\bar{X}_3 = 14.529 \text{ mm}; \bar{X}_5 = 14.798 \text{ mm}; \bar{X}_4 = 16.594 \text{ mm}$$

$$\alpha = 63.256 \therefore \theta = 31.628 = 0.17 \cdot \pi$$

$$A_2 = 8037.225 \text{ mm}^2; A_t = 22080.509 \text{ mm}^2; A_1 = 13749.604 \text{ mm}^2$$

$$\bar{X}_2 = 59.535 \text{ mm}; \bar{X}_t = 66.427 \text{ mm};$$

$$\bar{X}_1 = \frac{22080.509 \cdot 66.427 - 8037.225 \cdot 59.535 - 293.68 \cdot 16.594}{13749.604}$$

$$\bar{X}_1 = 13749.604 \text{ mm}$$

Este procedimiento se debe realizar para encontrar los centros de presiones para los valores de y entre 101 y 160 mm.

Para encontrar el volumen sumergido del cuerpo para cada uno de los valores de y se utilizara la siguiente ecuación.

$$V_{\text{sumergido}} = A \cdot e$$

$$e = 7 \text{ cm}$$

Para $y = 10 \text{ mm}$:

$$A = 418.431 \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{sumergido}} = 418.431 \cdot 70 = 2.29 \text{ cm}^2$$

1.4 Tabla de datos

La siguiente tabla fue confeccionada en forma teórica.

Altura sumergida (mm)	$V_{sumergido}$ (cm^3)	$CP_{teorico}$ (mm)
10	29.290	20.637
20	82.217	33.183
30	149.864	39.938
40	228.900	46.332
50	317.312	50.584
60	413.721	55.458
70	516.945	58.960
80	626.210	62.089
90	740.727	65.290
100	859.859	68.275
110	962.470	71.520
120	1052.520	75.360
130	1136.065	79.121
140	1215.320	82.553
150	1291.490	85.822
160	1367.321	88.762

TABLA 1.1

De ser necesario se deberá interpolar los valores que no se encuentren en la tabla de datos con el fin de encontrar los valores intermedios, utilizando la siguiente ecuación general para una interpolación lineal:

$$Y_2 = Y_1 + \frac{(X_2 - X_1) \cdot (Y_3 - Y_1)}{(X_3 - X_1)}$$

1.5 Tablas de mediciones

Masa de ensayo (g)	Altura sumergida (mm)
10	25
25	35
50	50
75	60
100	70
150	85
200	100
250	115
270	120
300	130

TABLA 1.2

Altura sumergida (mm)	CP_{teorico} (mm)	CP_{experimental} (mm)
25	36.56	24.56
35	43.13	37.62
50	50.58	44.91
60	55.45	51.66
70	58.96	55.13
85	63.68	62.55
110	71.52	66.29
115	73.44	70.72
120	75.36	73.11
130	79.12	75.26

TABLA 1.3

1.6 Tabla de resultados

Altura sumergida (mm)	% <i>error</i>
25	32.82
35	12.78
50	11.21
60	6.84
70	6.50
85	1.79
110	7.31
115	3.70
120	2.98
130	4.88

TABLA 1.4

1.7 Análisis de sensibilidad

Se realizó un nuevo cálculo de los centros de presiones, esta vez utilizando una altura sumergida de un milímetro mas, siendo este el dato que se observa y puede variar al momento de realizar la experiencia. Esto se realizó con el fin de observar cuanto varían los resultados finales.

Masa de ensayo (g)	$CP_{teorico}^*$ (mm)	$CP_{exerimental}^*$ (mm)
10	37.23	23.20
25	43.77	36.11
50	51.07	43.53
75	55.80	50.40
100	59.27	53.99
150	64.00	61.51
200	68.59	65.50
250	73.82	70.09
270	75.73	72.53
300	79.46	74.73

TABLA 1.5

Porcentaje de variación

Masa de ensayo (g)	<i>Variación</i> _{CP_{TEORICO}} (%)	<i>Variación</i> _{CP_{EXPERIMENTAL}} (%)
10	1.83	5.53
25	1.48	4.01
50	0.96	3.07
75	0.63	2.43
100	0.52	2.06
150	0.50	1.66
200	0.53	1.19
250	0.51	0.89
270	0.49	0.79
300	0.43	2.00

TABLA 1.6

1.8 Conclusión

Como quedó demostrado en esta experiencia, cuando un cuerpo es sumergido en un fluido incompresible en reposo, este es sometido a una fuerza que lo impulsa hacia la superficie, llamado empuje hidrostático. Esta fuerza se puede considerar como ejercida en un punto específico, llamado centro de presiones.

Al obtener el centro de presiones de manera teórica y en forma experimental estos presentan variaciones entre sí, las cuales son representadas con un porcentaje de error, los cuales son atribuidos a:

- ♦ Visualización de altura sumergida: Al observar la escala de medición puede que el agua este por sobre o por debajo del valor que mide el operador del equipo, debido a que esta medición es a simple vista, la precisión no es del todo exacta.
- ♦ Visualización de la posición del brazo: Cuando el sistema se encuentra en equilibrio el brazo debe de llegar a la posición marcada. Esto es realizado en forma visual, por lo que puede llevar errores, debido a la baja precisión que esto conlleva.

Como se pudo apreciar en el análisis de sensibilidad, la variación de los resultados es de un bajo porcentaje. Al aumentar en un milímetro la medición de la altura sumergida el centro de presiones experimental disminuyó y el centro de presiones teórico aumentó, pero al ser tan bajas estas variaciones, del orden que no supera un 6%, los porcentajes de variación se mantienen dentro de rangos aceptables.

Capítulo 2

Impacto de chorro

2.1 Introducción

El impacto de chorro sobre una superficie es una de las bases del desarrollo de turbo máquinas. Mediante las turbo máquinas es posible el generar trabajo a partir de la energía que trae consigo el fluido (turbinas, eolomotores). Además existen turbo máquinas que entregan trabajo al fluido, produciendo movimiento desde zonas de menor energía a zonas de mayor energía (Bombas).

El equipo a estudiar se enfoca en la determinación de la fuerza de reacción que se genera en la superficie que recibe el impacto del chorro, esta superficie puede ser plana o cóncava.

En la parte superior del equipo son colocadas masas de ensayo de magnitudes conocidas, sacando de equilibrio al sistema, luego en la parte posterior impacta un chorro de agua en una de las superficies de impacto, regulando el caudal hasta llegar nuevamente a la posición de equilibrio.

Para realizar esta experiencia se requiere de un banco hidráulico (FME00) el cual es conectado al equipo estudiado, este genera un caudal regulable mediante una válvula.

El chorro de agua impacta contra una superficie sólida plana, curva o semiesférica. El chorro de agua, generado mediante una tobera, lleva una velocidad V , de manera que transporta un caudal Q .

$$Q = V \cdot A$$

Donde A es el área de la sección transversal del chorro.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A = 5.02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Este equipo está diseñado para poder realizar las siguientes experiencias:

- a) Impacto sobre una superficie plana horizontal.
- b) Impacto sobre una superficie curva simétrica de 120° .
- c) Impacto sobre una superficie semiesférica.

2.2 Especificaciones técnicas:

Se utiliza un equipo marca EDIBON, modelo FME01, del cual cabe rescatar los siguientes datos:

- ✦ Diámetro del chorro: 8 mm
- ✦ Diámetro de las superficies de impacto: 40 mm.
- ✦ Tres superficies que reciben el impacto:
 - Superficie semiesférica de 180°
 - Superficie curva de 120°
 - Superficie plana horizontal
- ✦ Juego de masas de 5, 10, 50 y 100 gr.
- ✦ Sistema de conexión rápida incorporado.
- ✦ Dimensiones: 250 x 250 x 500 mm aprox.



FIGURA 2.1

“Equipo FME01 disponible en laboratorios de mecánica de fluidos”

2.3 Tablas de mediciones

Este equipo consta de tres posibles ensayos, gracias a las distintas superficies de recepción del chorro que posee. Se parte por añadir una determinada masa la cual se levantara mediante la fuerza que genera el chorro de agua. Cuando se encuentra en régimen permanente, es decir, el chorro esta a un caudal constante que mantiene igualada la fuerza ejercida por la masa, se mide el tiempo en segundos que tarda en pasar un volumen determinado del fluido, con el fin de obtener dicho caudal.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = 0.001 \text{ m}^3$$

Se tomaran tres mediciones para cada superficie de impacto.

2.3.1 Superficie Plana:

Medición	Masa [g]	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo [3]
1	5	11.93	11.41	14.63
2	10	11.33	9.27	13.29
3	20	8.74	9.04	7.89
4	40	6.64	7.05	7.38
5	80	5.46	4.86	5.59
6	100	4.87	4.37	4.72
7	150	4.07	3.25	3.81
8	200	3.17	3.21	3.65

TABLA 2.1

2.3.2 Superficie Curva:

Medición	Masa [g]	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo [3]
1	5	16.23	14.87	14.9
2	10	13.03	13.9	13.2
3	20	8.45	10.66	10.52
4	40	7.79	8.82	8.1
5	80	6.02	5.91	5.6
6	100	4.77	5.32	5.46
7	150	4.34	3.99	4.34
8	200	3.86	3.21	3.55

TABLA 2.2

2.3.3 Superficie Semiesférica:

Medición	Masa [g]	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo [3]
1	5	19.46	17.43	18.5
2	10	14.52	15.7	15.02
3	20	11.69	12.45	12.36
4	40	8.93	9.72	9.65
5	80	7.44	6.96	7.5
6	100	5.93	6.46	6.21
7	150	5.66	4.98	5.62
8	200	4.56	4.37	4.38

TABLA 2.3

Caudales:

2.3.4 Superficie plana horizontal

Masa (Kg)	Caudal (m^3/s)
5	$8.58 \cdot 10^{-5}$
10	$8.85 \cdot 10^{-5}$
20	$1.16 \cdot 10^{-4}$
40	$1.42 \cdot 10^{-4}$
80	$1.88 \cdot 10^{-4}$
100	$2.15 \cdot 10^{-4}$
150	$2.69 \cdot 10^{-4}$
200	$2.99 \cdot 10^{-4}$

TABLA 2.4

2.3.5 Superficie curva

Masa (Kg)	Caudal (m^3/s)
5	$6.52 \cdot 10^{-5}$
10	$7.47 \cdot 10^{-5}$
20	$1.01 \cdot 10^{-4}$
40	$1.21 \cdot 10^{-4}$
80	$1.71 \cdot 10^{-4}$
100	$1.93 \cdot 10^{-4}$
150	$2.36 \cdot 10^{-4}$
200	$2.82 \cdot 10^{-4}$

TABLA 2.5

2.3.6 Superficie semiesférica

Masa (Kg)	Caudal (m^3/s)
5	$5.41 \cdot 10^{-5}$
10	$6.63 \cdot 10^{-5}$
20	$8.22 \cdot 10^{-5}$
40	$1.06 \cdot 10^{-4}$
80	$1.36 \cdot 10^{-4}$
100	$1.61 \cdot 10^{-4}$
150	$1.84 \cdot 10^{-4}$
200	$2.25 \cdot 10^{-4}$

TABLA 2.7

2.4 Procedimiento de cálculos

Primero se debe realizar el cálculo del caudal necesario para lograr levantar la masa del ensayo. Para lograr esto se utilizan las variables de la masa de ensayo, el área de salida del chorro, la gravedad y la densidad del líquido utilizado, en este caso el agua. La ecuación se obtiene al igualar las fuerzas ejercidas por el chorro con la fuerza ejercida por la masa.

El teorema de cantidad de movimiento es el principio fundamental para obtener una relación entre el caudal del chorro necesario y la masa de ensayo añadida al sistema. Este propone que la suma de fuerzas externas que se ejercen en un sistema es igual a la variación de cantidad de movimiento del flujo másico del chorro. Refiriéndose a:

E= Condiciones de entrada del chorro.

S= Condiciones de salida del chorro.

Dicho teorema se expresa de la siguiente forma:

$$\sum F_{externas} = \dot{m}_s \cdot V_s - \dot{m}_e \cdot V_e$$

Donde:

F_{chorro} = fuerza; \dot{m} = flujo másico; V = velocidad

Entendiendo que $\dot{m} = \rho_{agua} \cdot Q$ y $Q = V \cdot A$ la ecuación puede expresarse de la siguiente manera:

$$\sum F_{externas} = \rho_{agua} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}$$

Considerando además el principio de conservación de la masa y que el caudal se divide simétricamente, en los tres casos que se estudian, se tiene:

$$A_e = 2 \cdot A_s \quad Q_e = 2 \cdot Q_s$$

La fuerza generada en el resorte se anula con la fuerza de peso generada en el sistema antes de agregar las masas de ensayo.

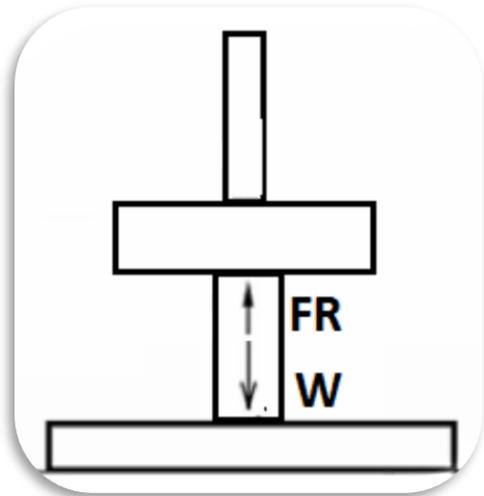
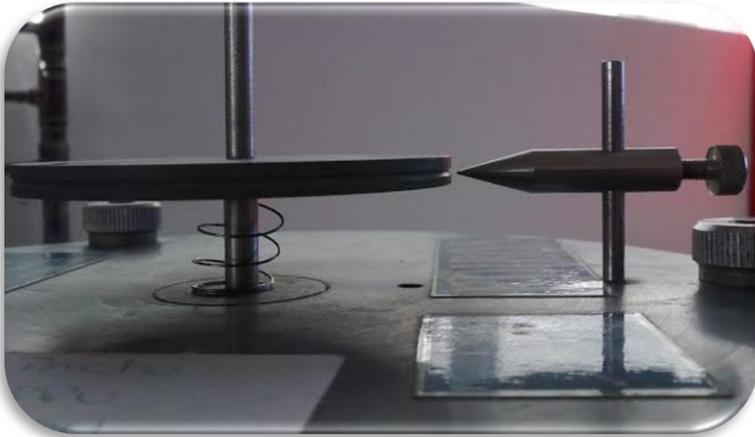


FIGURA 2.2

Luego el resorte equilibra la fuerza adicional generada por las masas de ensayo.

Entonces la sumatoria de las fuerzas externas es igual solo a la fuerza ejercida por la masa de ensayo ($m \cdot g$).

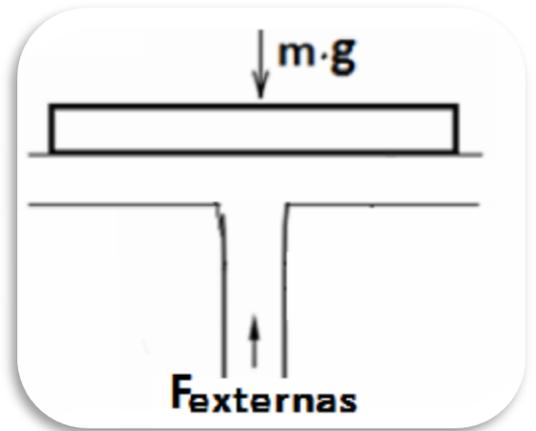
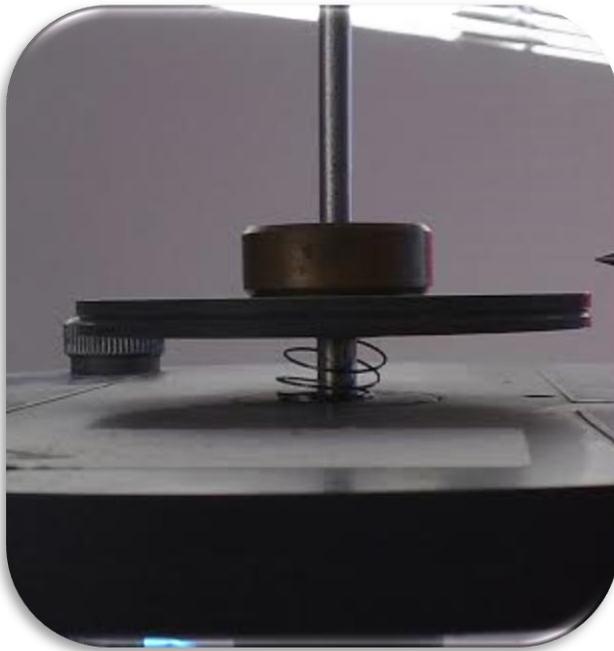


FIGURA 2.3

2.4.1 PARA SUPERFICIE PLANA HORIZONTAL

Para realizar el cálculo de la sumatoria de las fuerzas ejercidas por el chorro se deben tener en consideración todas las fuerzas que se generan. En este caso las fuerzas de salida están en 90° con respecto a la fuerza de entrada, generando solo efectos en forma horizontal. Las fuerzas horizontales son de igual magnitud y dirección pero con sentidos opuestos, en consecuencia, se anulan las unas a las

otras. Tomando en cuenta solo las fuerzas que actúan en forma vertical.

$$\begin{aligned} \sum F_{\text{externas}} &= 2 \cdot \cos 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\ &= 2 \cdot \cos 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{\frac{Q_e^2}{4}}{\frac{A_e}{2}} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\ &= \cos 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \end{aligned}$$

$$\sum F_{\text{externas}} = -\rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} = -m \cdot g$$

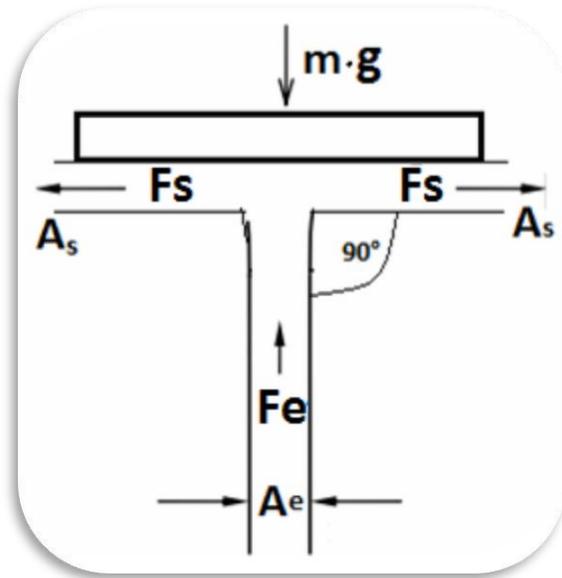


FIGURA 2.4

2.4.2 PARA SUPERFICIE CURVA EN 120°

A diferencia del caso anterior las fuerzas de salidas poseen un ángulo de 30° con respecto a la horizontal. Las componentes horizontales de dichas fuerzas se anulan mutuamente, pero las componentes verticales hacia abajo se deben considerar en la aplicación del teorema en el eje y.

En consecuencia se tiene:

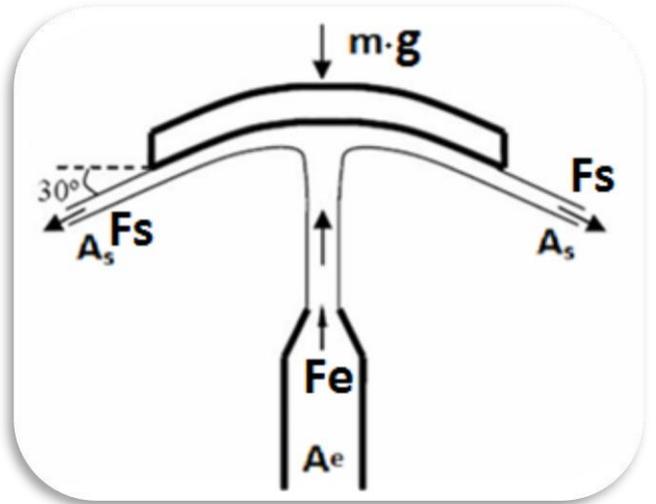


FIGURA 2.5

$$\begin{aligned} -m \cdot g &= -2 \cdot \text{sen } 30^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\ &= -2 \cdot \text{sen } 30^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{\frac{Q_e^2}{4}}{\frac{A_e}{2}} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\ &= -\text{sen } 30^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \end{aligned}$$

$$-m \cdot g = -\frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A}$$

$$\sum F_{\text{externas}} = -\frac{3}{2} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} = -m \cdot g$$

2.4.3 PARA SUPERFICIE SEMIESFERICA

En este caso las fuerzas de salida son verticales, por lo que solo se manifiestan fuerzas en forma vertical.

$$\begin{aligned}
 -m \cdot g &= 2 \cdot -\text{sen } 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\
 &= 2 \cdot -\text{sen } 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{\frac{Q_e^2}{4}}{\frac{A_e}{2}} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\
 &= -\text{sen } 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\
 -m \cdot g &= -1 \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}
 \end{aligned}$$

$$\sum F_{\text{externas}} = -2 \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} = -m \cdot g$$

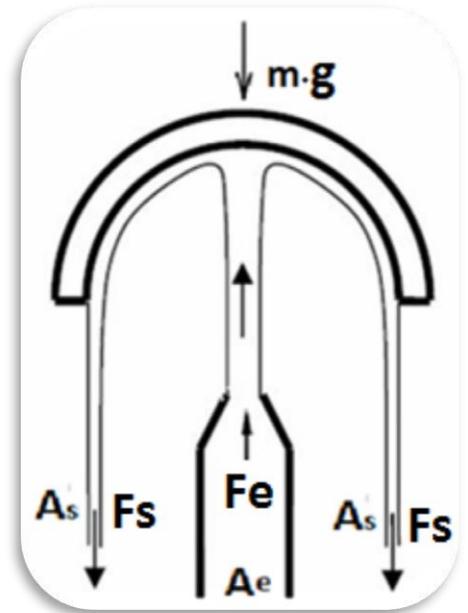


FIGURA 2.6

Luego de realizados los cálculos de las fuerzas, estas se ordenan en tablas y se realiza un análisis de los resultados obtenidos

2.5 Tablas de resultados

2.5.1 Fuerzas para superficie plana horizontal

Masa [g]	F [N]	$m \cdot g$ [N]
5	0.14	0.049
10	0.15	0.098
20	0.26	0.196
40	0.40	0.392
80	0.70	0.784
100	0.92	0.980
150	1.44	1.470
200	1.78	1.960

TABLA 2.8

2.5.2 Fuerzas para superficie curva

Masa [g]	F [N]	$m \cdot g$ [N]
5	0.12	0.049
10	0.16	0.098
20	0.30	0.196
40	0.43	0.392
80	0.87	0.784
100	1.11	0.980
150	1.66	1.470
200	2.37	1.960

TABLA 2.9

2.5.3 Fuerzas para superficie semiesférica

Masa [g]	F [N]	$m \cdot g$ [N]
5	0.11	0.049
10	0.17	0.098
20	0.26	0.196
40	0.44	0.392
80	0.73	0.784
100	1.03	0.980
150	1.34	1.470
200	2.01	1.960

TABLA 2.10

2.6 Análisis de sensibilidad

Se realizó un nuevo cálculo de las fuerzas, considerando un segundo más en la medida del tiempo, con el fin de observar la variación en los resultados finales que podría generar dicha medición.

Masa [g]	F_{PLANA} [N]	F_{CURVA} [N]	$F_{SEMIESFÉRICA}$ [N]
5	0.11	0.11	0.10
10	0.13	0.14	0.15
20	0.22	0.25	0.23
40	0.31	0.35	0.36
80	0.50	0.63	0.57
100	0.62	0.77	0.76
150	0.90	1.09	0.95
200	1.05	1.44	1.35

TABLA 2.11

Porcentaje de variación

Masa [g]	Variación $_{F_{PLANA}}$ [%]	Variación $_{F_{CURVA}}$ [%]	Variación $_{F_{SEMIESFÉRICA}}$ [%]
5	21.42	8.33	9.09
10	13.33	12.50	11.76
20	15.38	16.66	11.53
40	22.50	18.60	18.18
80	28.57	27.58	21.91
100	32.60	30.63	26.21
150	37.50	34.33	29.10
200	41.01	39.24	32.83

TABLA 2.12

2.7 Conclusión

Como se demuestra en la tabla de resultados, la superficie que requiere de una menor fuerza es la semiesférica, esto ocurre debido a que, como se muestra en el teorema de cantidad de movimiento, las fuerzas generadas a la salida del sistema (F_s) son restadas a las fuerzas de entrada (F_e). Para ésta superficie en particular y por el ángulo que posee, a la salida del sistema el 100% de la fuerza generada se encuentra en el eje Y negativo, obteniendo así ($-F_s$). Si se lleva esto a la ecuación de cantidad de movimiento, queda demostrado que de ésta manera se requiere un menor caudal para generar la fuerza necesaria para igualar las fuerzas externas generadas por las masas de ensayo.

Se observa que con menor caudal se logra mayor transferencia de potencia desde el fluido a los alabes.

Como se logra apreciar en las tablas de resultados existen diferencias entre las fuerzas. Esto se puede deber a diferentes factores, principalmente:

- ◆ Deficiente medición del tiempo: para obtener el caudal se debe tomar el tiempo que demora el llenado de cierto volumen de agua. Esta medición se realiza de forma visual, por lo que las medidas no son de gran precisión.
- ◆ Mal estado de elementos del equipo: el resorte del equipo no se encuentra en óptimas condiciones. Se recomienda cambiar el resorte por uno nuevo.

Como se observa en el análisis de sensibilidad la variación de resultados es de una gran magnitud. Los cálculos se realizaron considerando un segundo más en el tiempo medido con el fin de calcular caudal, esto generó variaciones considerables en los resultados de las fuerzas (sobre el 40%), quedando demostrado en las tablas de variación, mostrando altos porcentajes de variación.

Considerando lo anterior al momento de realizar la experiencia se recomienda realizar más de una medición del tiempo debido a su gran influencia en los resultados finales.

Capítulo 3

Ensayo de bombas Serie-Paralelo

3.1 Introducción

Una bomba es una máquina cuya función es transferir energía a una corriente de un fluido impulsándolo, desde un estado de baja energía a otro de mayor energía, algo que no puede ocurrir en forma natural.

Dos bombas pueden ser acopladas de dos maneras, en serie y paralelo.

Serie: Cuando las bombas están conectadas de esta manera se entiende que la impulsión de una bomba será la aspiración de la siguiente, por lo que el caudal será igual para todas las bombas conectadas. Este método se utiliza cuando se desea generar mayores alturas.

Paralelo: Cada uno de los equipos aspira el fluido desde un mismo punto en común, para que luego los flujos impulsados por cada una de las bombas se unan en una sola cañería. Este método se utiliza cuando se desean obtener caudales más grandes.

Este equipo está diseñado para realizar las siguientes experiencias:

1. Obtención de las curvas H/Q , N/Q , Rendimiento $\%/Q$.
2. Obtención del mapa de una bomba centrífuga.
3. Estudio adimensional de las magnitudes H^* , N^* y Q^* .
4. Ensayo de cavitación y obtención de las curvas NPSH .r
5. Acoplamiento en serie de dos bombas de características iguales.
6. Acoplamiento en serie de dos bombas de características distintas.
7. Acoplamiento en paralelo de dos bombas de características iguales.
8. Acoplamiento en paralelo de dos bombas de características distintas.

3.2 Especificaciones técnicas

Se utilizara un equipo marca EDIBON, modelo PBSPC, del cual cabe rescatar los siguientes datos:

- ◆ Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado.
- ◆ Diagrama en el panel frontal con distribución similar a la de los elementos en el equipo real.
- ◆ 2 Bombas centrífugas:
 - Caudal máximo: 120 l/min.
 - Altura máxima (aprox.): 25 m.c.a. (metros de columna de agua).
- ◆ Válvulas que permiten conectar las bombas por separado, en serie ó en paralelo.
- ◆ Sensor de presión de descarga (0 a 2,5 bar).
- ◆ Sensor de presión de descarga (0 a 6 bar).
- ◆ Sensor de presión-aspiración (-1 a 0 bar).
- ◆ Sensor de caudal (0-150 l/min.).
- ◆ Equipo:
 - Dimensiones: 1530 x 700 x 800 mm. Aprox.
 - Peso: 105 Kg. aprox.
- ◆ Caja-Interface de Control:
 - Dimensiones: 490 x 330 x 310 mm. Aprox.
 - Peso: 10 kg. Aprox.

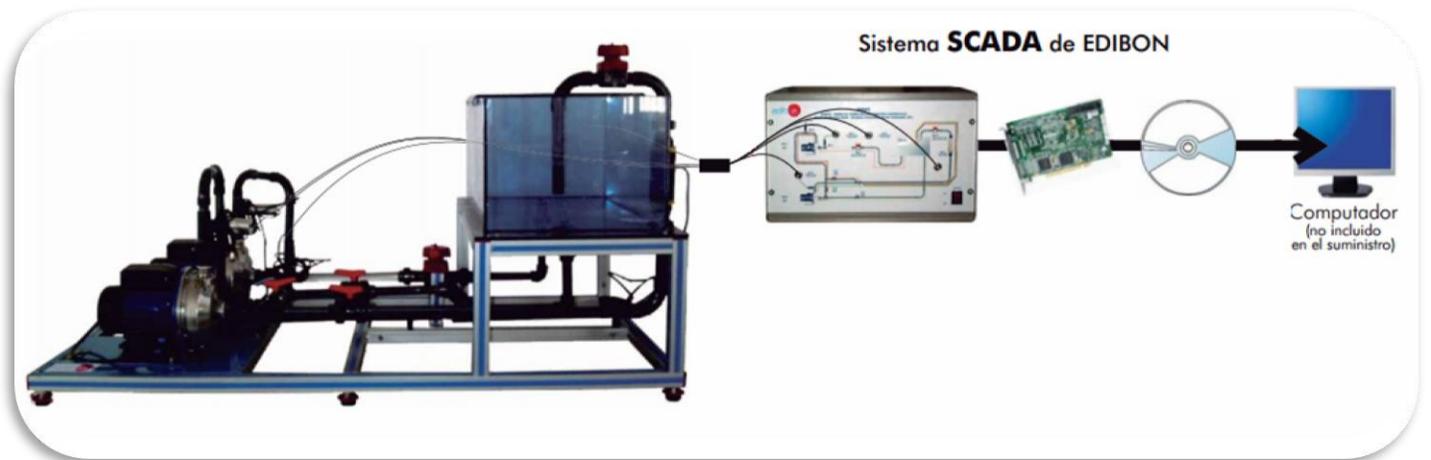


FIGURA 3.1

“Equipo EDIBON PBSPC disponible en laboratorio de mecánica de fluidos”

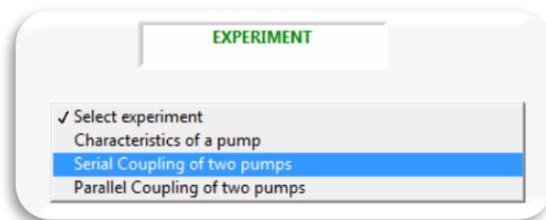
3.3.- Procedimiento

En primer lugar se debe de asegurar que el equipo e instrumentos a utilizar estén en buenas condiciones para su correcto desempeño. Se debe encender el equipo PBSPC y también el computador conectado a este.

En el ordenador se abrirá el programa ubicado en el escritorio "PBSPC", una vez abierto se presiona donde dice "START."



Con esto el equipo está preparado para operar, se debe de seleccionar el tipo de experimento en "Select experiment" donde se puede elegir entre SERIE o PARALELO.



Al momento de seleccionar se debe de tener e ajustado el sistema para cada uno de los casos, de la siguiente manera:



Serie



Paralelo

Para conectar las bombas en serie o paralelo, las válvulas de la figura 3,2 tienen que ser conectadas de la siguiente manera.

- Serie:
V1 y V3 cerradas
V2 abierta

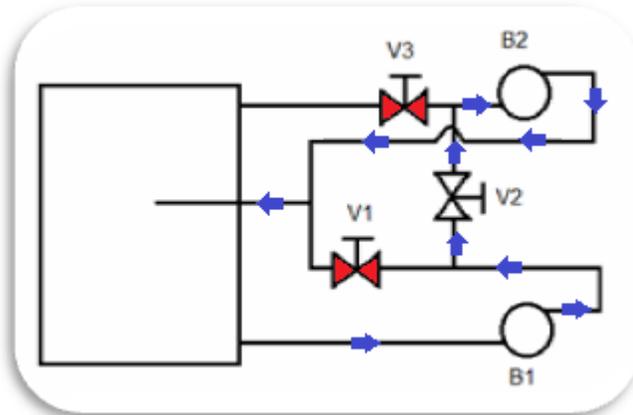


FIGURA 3.2

“Esquema del sistema conectado en serie”

- Paralelo:
V1 y V3 abierta
V2 cerrada

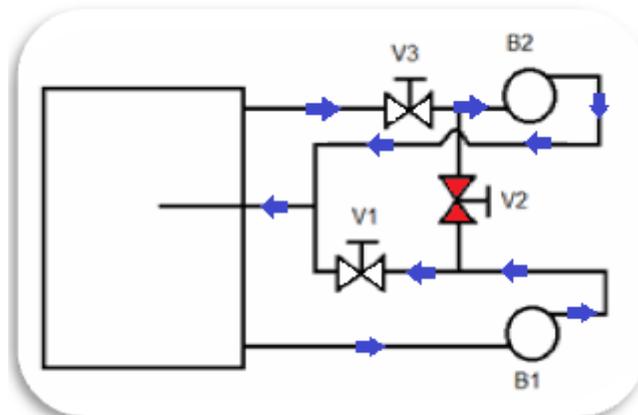


FIGURA 3.3

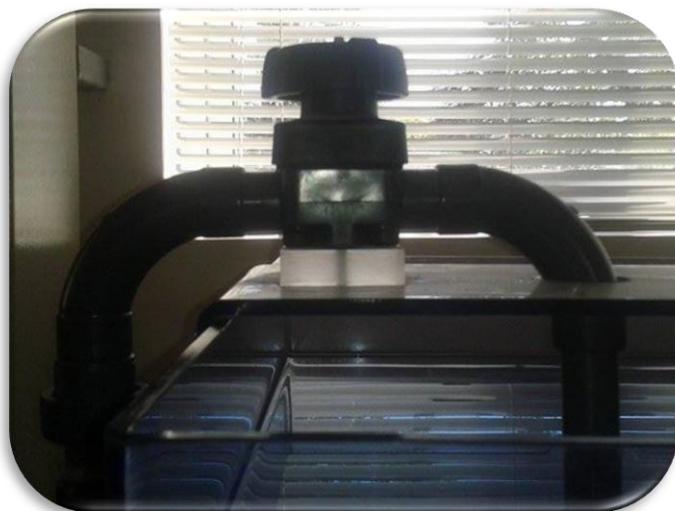
“Esquema del equipo conectado en paralelo”

Para activar la segunda bomba se debe de hacer click en AB-2 y se debe encender la luz verde. Esto confirma que ambas bombas están en funcionamiento.

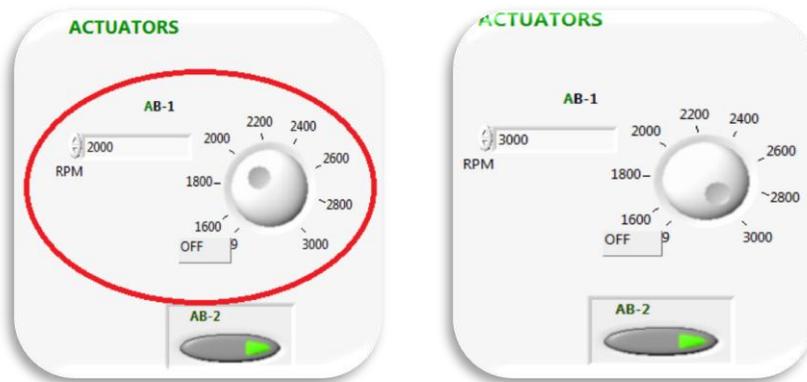


Para cada uno de los casos el experimento se puede realizar de 2 maneras, variando el caudal o variando las RPM de las bombas.

El caudal será variado a través de la válvula reguladora VG1 tomando 9 mediciones desde 100% de apertura hasta que esté completamente cerrada, todo esto a una rpm constante.



Para realizar el ensayo con variación de RPM se debe de tener abiertas las válvulas reguladoras sin variar, incrementar en forma gradual las rpm tomando mediciones desde el mínimo de rpm permitido, 1500 rpm, hasta el máximo, en este caso 3000 rpm.



Luego de realizadas estas mediciones, el programa arroja tablas de resultados y serán confeccionados los gráficos de altura vs caudal.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N)	Q(lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	2000,00	-0,50	-0,22	0,56	0,47	66,60	11,12	121,12	408,79	29,63
2,00	2500,00	-0,57	-0,03	0,64	0,75	71,97	12,63	148,63	666,44	22,30
3,00	3000,00	-0,57	0,25	0,74	1,10	78,31	13,73	175,78	1289,56	13,63

Finalmente se realizara un análisis de resultados para cada caso y se entregaran las conclusiones.

3.4 Tablas de resultados y gráficos

3.4.1 Ensayo de una bomba por variación de apertura de válvula.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N.m)	Q(lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	2000,00	0,00	0,94	0,00	0,25	0,00	9,74	0,00	51,40	0,00
2,00	2000,00	-0,05	0,79	0,00	0,36	22,00	8,74	31,44	74,69	42,09
3,00	2000,00	-0,11	0,65	0,00	0,41	33,18	7,97	43,26	86,85	49,81
4,00	2000,00	-0,14	0,59	0,00	0,43	36,89	7,63	46,00	89,97	51,13
5,00	2000,00	-0,14	0,57	0,00	0,45	38,44	7,47	46,97	93,99	49,97
6,00	2000,00	-0,16	0,54	0,00	0,45	39,46	7,34	47,33	93,65	50,54
7,00	2000,00	-0,16	0,53	0,00	0,43	39,97	7,28	47,55	90,78	52,38
8,00	2000,00	-0,16	0,53	0,00	0,46	40,34	7,28	48,03	95,77	50,15

TABLA 3.1

Grafico H/Q

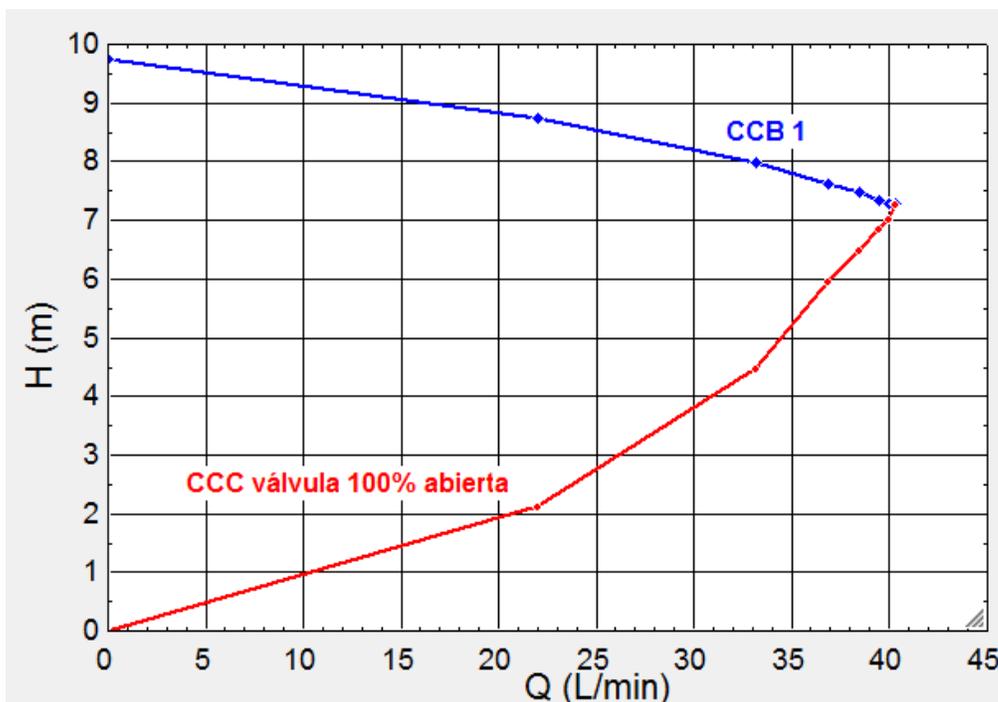


GRAFICO 3.1

3.4.2 Ensayo de una bomba por variación de RPM.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N.m)	Q(Lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00
2,00	1500,00	-0,12	0,22	0,00	0,29	34,15	3,76	20,99	46,17	45,45
3,00	1750,00	-0,17	0,29	0,00	0,36	40,95	4,93	33,03	66,37	49,77
4,00	2000,00	-0,22	0,37	0,00	0,45	47,51	6,29	48,82	93,30	52,33
5,00	2250,00	-0,29	0,46	0,00	0,58	53,72	7,87	69,16	137,33	50,36
6,00	2500,00	-0,36	0,56	0,00	0,80	60,34	9,61	94,77	209,20	45,30
7,00	3000,00	-0,48	0,74	0,00	1,12	70,90	12,85	149,01	351,00	42,45

TABLA 3.2

Grafico H/Q

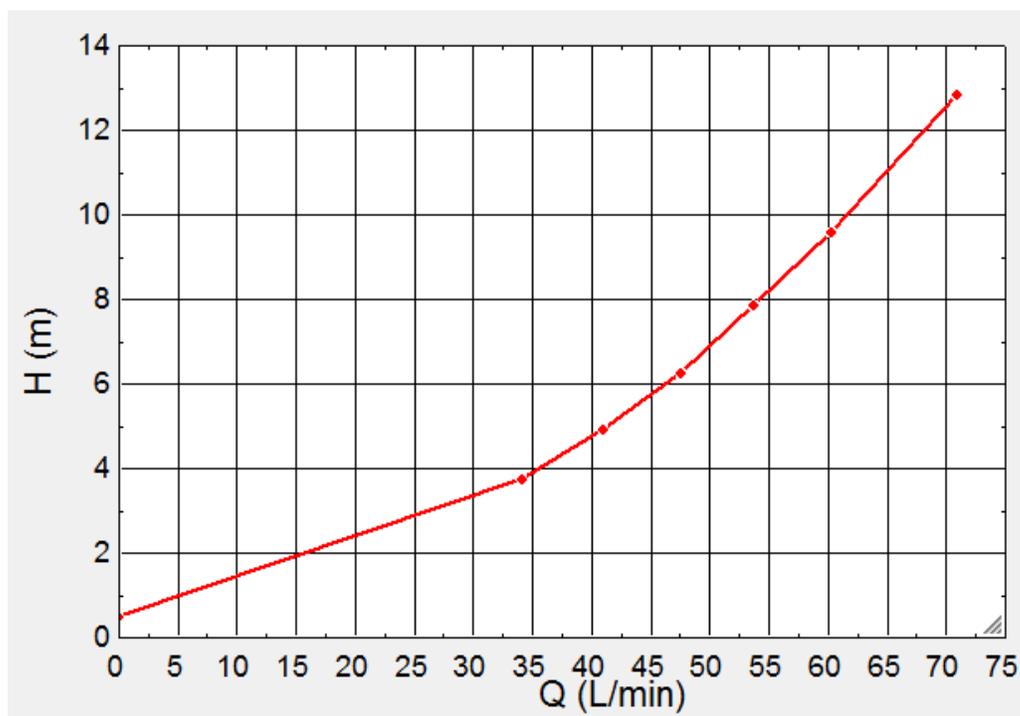


GRAFICO 3.2

“Gráfico que representa curva característica del circuito con válvula 100% abierta”

3.4.3 Ensayo en serie por variación de apertura de válvula.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N ^o)	Q(lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	2000,00	0,00	0,94	2,95	0,25	0,00	30,21	0,00	NaN	0,00
2,00	2000,00	-0,04	0,83	2,68	0,35	19,54	27,88	89,17	NaN	0,00
3,00	2000,00	-0,23	0,36	1,77	0,49	48,34	20,60	162,86	NaN	0,00
4,00	2000,00	-0,31	0,14	1,35	0,49	56,48	17,21	158,95	NaN	0,00
5,00	2000,00	-0,42	-0,16	0,79	0,46	65,39	12,69	135,70	NaN	0,00
6,00	2000,00	-0,43	-0,20	0,69	0,49	66,39	11,79	128,01	NaN	0,00
7,00	2000,00	-0,44	-0,23	0,64	0,46	66,28	11,28	122,22	NaN	0,00
8,00	2000,00	-0,44	-0,24	0,59	0,47	66,81	10,80	117,94	NaN	0,00

TABLA 3.3

Grafico H/Q

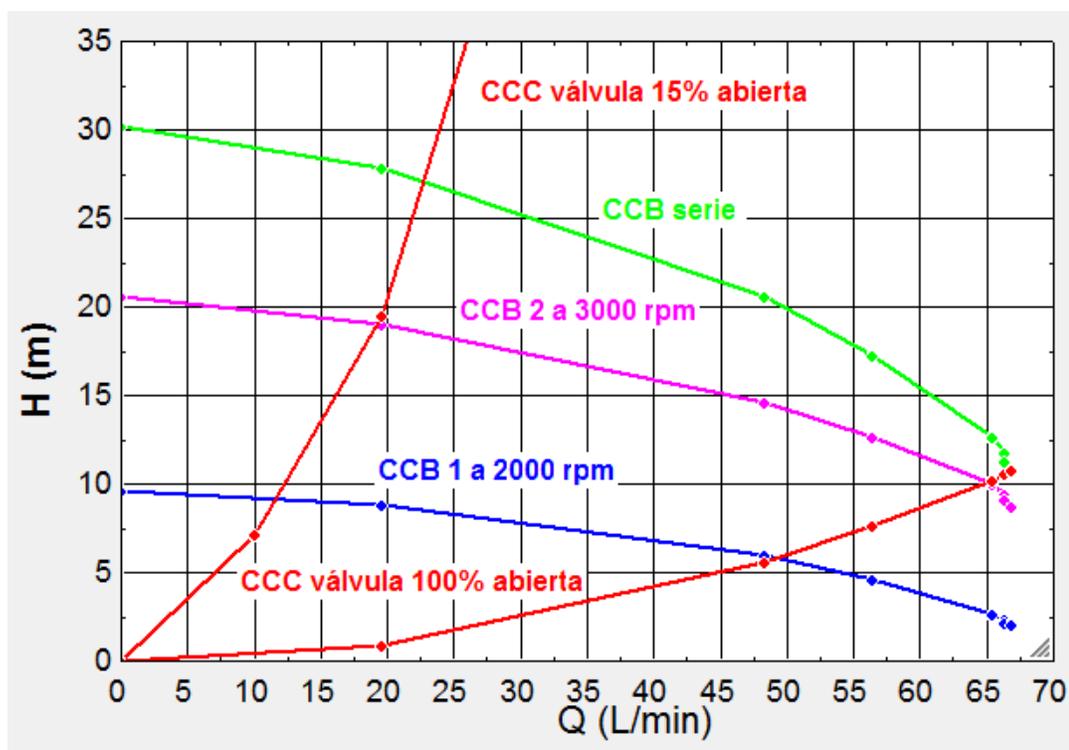


GRAFICO 3.3

3.4.4 Ensayo en serie por variación de RPM.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N·m)	Q(Lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,01	0,00	0,55	0,00	NaN	0,00
2,00	1500,00	-0,37	-0,33	0,50	0,31	61,25	9,10	91,08	NaN	0,00
3,00	1750,00	-0,40	-0,25	0,53	0,40	63,88	9,82	102,52	NaN	0,00
4,00	2000,00	-0,44	-0,15	0,58	0,49	67,59	10,70	118,29	NaN	0,00
5,00	2250,00	-0,48	-0,03	0,63	0,61	70,32	11,61	133,45	NaN	0,00
6,00	2500,00	-0,51	0,10	0,67	0,77	73,30	12,38	148,39	NaN	0,00
7,00	2750,00	-0,55	0,24	0,71	1,02	76,55	13,18	164,94	NaN	0,00
8,00	3000,00	-0,58	0,36	0,75	1,11	78,52	13,89	178,27	NaN	0,00

TABLA 3.4

Grafico H/Q

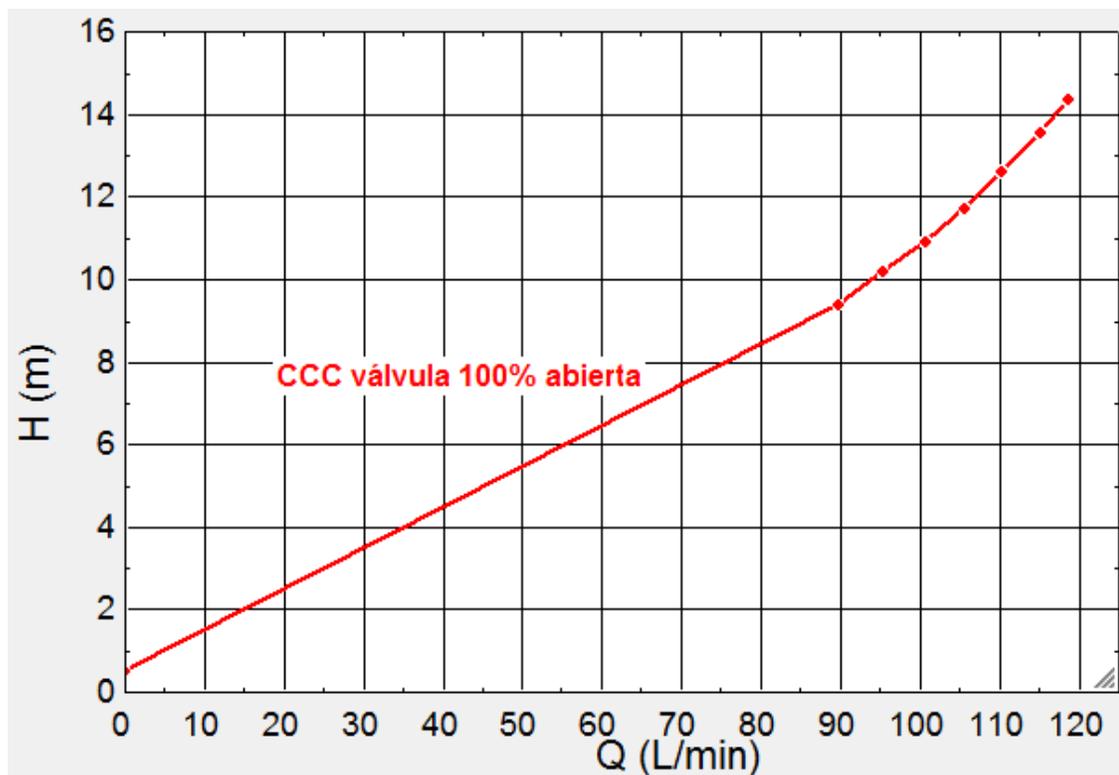


GRAFICO 3.4

“Grafico que representa la CCC con válvula 100% abierta”

3.4.5 Ensayo en paralelo por variación de apertura de válvula.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(Nm)	Q(lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	3000,00	0,00	2,06	2,05	0,63	0,00	21,02	0,00	-77,16	0,00
2,00	3000,00	-0,02	1,93	1,93	0,74	34,94	20,12	114,94	-106,68	0,00
3,00	3000,00	-0,11	1,71	1,74	0,92	71,04	19,25	223,64	-142,18	0,00
4,00	3000,00	-0,18	1,52	1,58	0,95	90,03	18,51	272,48	-266,88	0,00
5,00	3000,00	-0,22	1,42	1,48	0,95	99,26	18,03	292,55	-407,16	0,00
6,00	3000,00	-0,25	1,36	1,43	1,09	104,72	17,91	306,61	-410,33	0,00
7,00	3000,00	-0,24	1,37	1,12	1,10	116,81	14,81	282,81	1408,32	20,08
8,00	3000,00	-0,25	1,35	1,08	1,04	118,91	14,53	282,39	1193,57	23,66

TABLA 3.5

Grafico H/Q

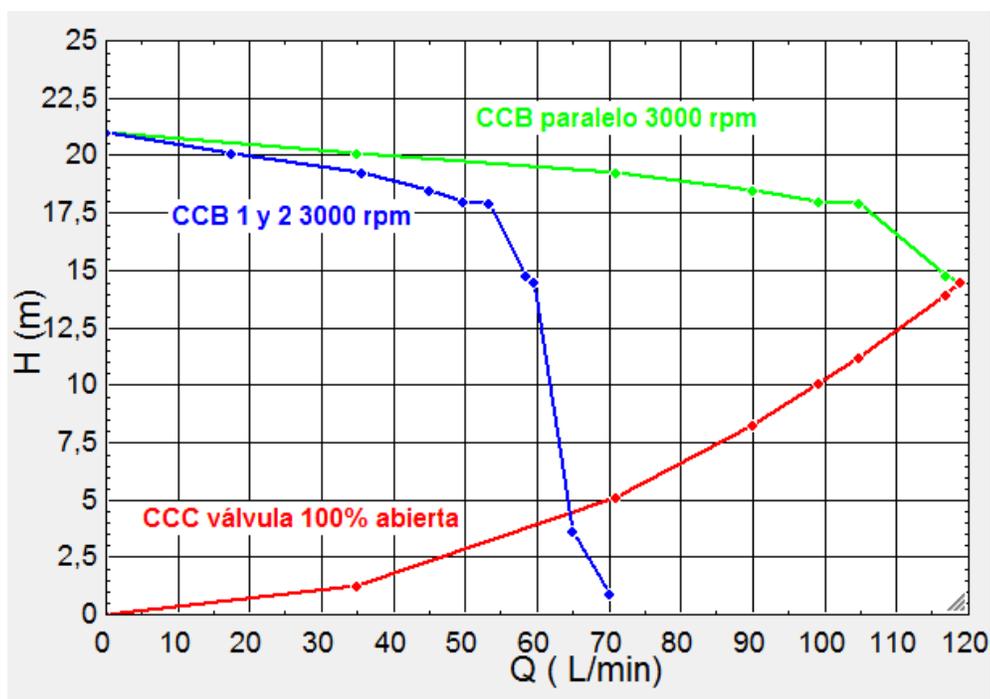


GRAFICO 3.5

3.4.6 Ensayo en paralelo por variación de RPM.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N.m)	Q(lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.01	0.00	0.55	0.00	NaN	0.00
2.00	1500.00	-0.03	0.46	0.84	0.22	89.77	9.41	138.11	NaN	0.00
3.00	1750.00	-0.05	0.58	0.88	0.29	95.40	10.20	159.13	NaN	0.00
4.00	2000.00	-0.09	0.72	0.92	0.41	100.78	10.92	179.94	NaN	0.00
5.00	2250.00	-0.12	0.87	0.95	0.55	105.65	11.72	202.43	NaN	0.00
6.00	2500.00	-0.17	1.03	0.99	0.68	110.40	12.62	227.85	NaN	0.00
7.00	2750.00	-0.22	1.21	1.02	0.88	115.19	13.56	255.41	NaN	0.00
8.00	3000.00	-0.26	1.36	1.05	1.07	118.77	14.38	279.20	NaN	0.00

TABLA 3.6

Grafico H/Q

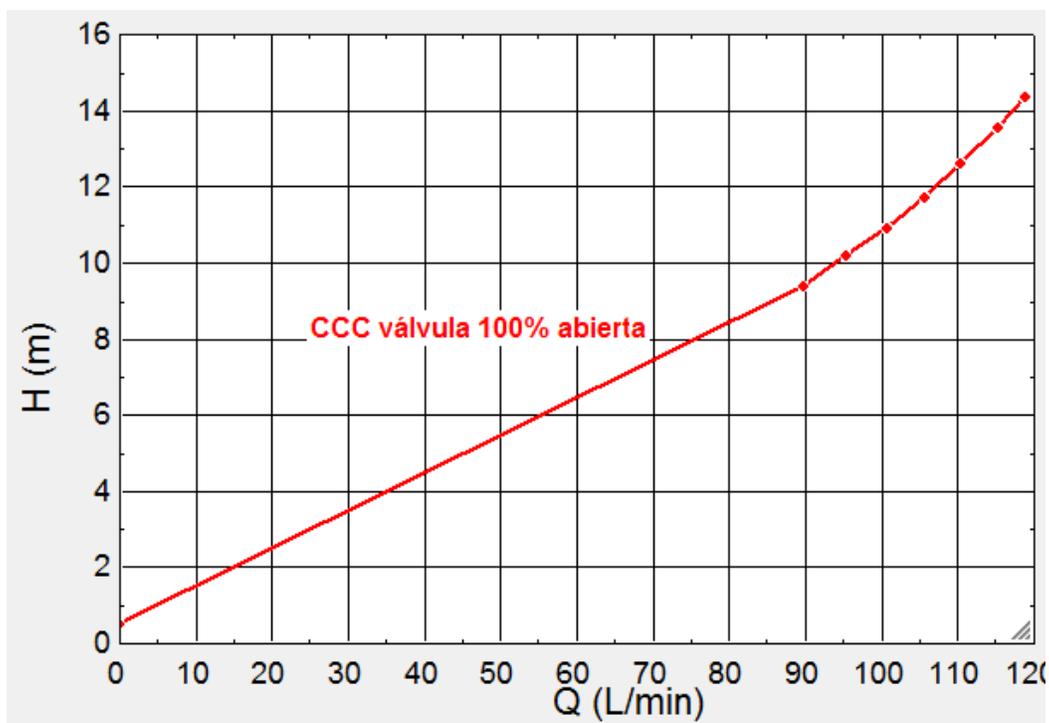


GRAFICO 3.6

“Grafico representa CCC con valvula 100% abierta”

3.5 Conclusión

Luego de realizados los ensayos, obtenidas las tablas de resultados y graficados los datos es posible apreciar las diferencias que existen entre la conexión de las bombas en serie, paralelo y de una bomba trabajando en forma independiente.

La conexión de las bombas en serie ayuda a aumentar la altura teórica impulsada por las bombas, en cambio la conexión en paralelo se utiliza para aumentar el caudal impulsado, esto en comparación a una bomba trabajando sola.

Conexión serie:

En el gráfico 3.3 se puede apreciar que, cuando las bombas son conectadas en serie, para cada caudal (Q) se suma la altura (H) aportada por cada bomba y así se obtiene la altura total.

Por las características del circuito del laboratorio se observa, en dicho gráfico, que no se justifica una conexión serie pues el punto de operación es sólo levemente mayor que el que aporta la bomba 2 operando sola. En consecuencia, para efectos didácticos, se recomienda realizar ensayos con menor abertura de la válvula, lo que simula un circuito de mayor exigencia, como por ejemplo las coordenadas $H = 25$ m y $Q = 30$ L/min, punto que no puede satisfacer ninguna de las bombas operando sola.

Conexión paralelo:

En el gráfico 3.5 se puede observar las bombas trabajando en paralelo y además de cómo se comportan cuando trabajan a 3000 rpm, para cada altura (H) los caudales (Q) se suman.

Se pudo apreciar que la conexión en paralelo nos entrega una altura de 14 m y un caudal 118 L/min y una bomba trabajando sola nos entregan valores menores (altura 4 m y un caudal 65 L/min).

En este caso como las 2 bombas se encuentra trabajando a 3000 rpm cada una entrega el mismo caudal, en el caso de que una bomba trabajara a menores revoluciones podría pasar el caso que una bomba no aportara en el caudal, por lo cual en ese caso no se justificaría la conexión en paralelo.

Otras observaciones:

Al obtener experimentalmente un punto de operación entre máquina y circuito, obviamente se conoce un punto real de la curva característica tanto de la máquina como del circuito. Si además, es posible obtener datos de al menos otro caudal (incluso $Q = \text{cero}$) se puede deducir una ecuación y curva característica aproximada lo que resulta útil en muchas aplicaciones reales y se ha incorporado en los gráficos realizados.

Al hacer el ensayo por variación de rpm se obtiene la curva característica del circuito cuando la válvula se encuentra totalmente abierta.

Cuando el ensayo se realiza por el cierre de la válvula es posible encontrar la curva característica de la bomba para ciertas RPM constantes.

Capítulo 4

Ensayo de Cavitación

4.1 Introducción

Por cavitación se entiende a la formación de bolsas localizadas de vapor dentro del líquido, pero casi siempre en las proximidades de las superficies sólidas que limitan al líquido.

El proceso físico de la cavitación es similar al que ocurre durante la ebullición, la cual puede ser producida por un aumento en la temperatura o por la disminución de la presión estática ambiente del fluido. En general la cavitación se produce por la reducción hidrodinámica de la presión

Si las bolsas de vapor condensan violentamente en una pared sólida, se crean presiones localizadas muy altas que dañan la superficie sólida, arrancando micro partículas del cuerpo de la bomba, dando lugar a su deterioro, a un deficiente suministro del fluido y a un envejecimiento rápido de la bomba, con pérdida de su capacidad de bombeo (caudal) y generación de presión.

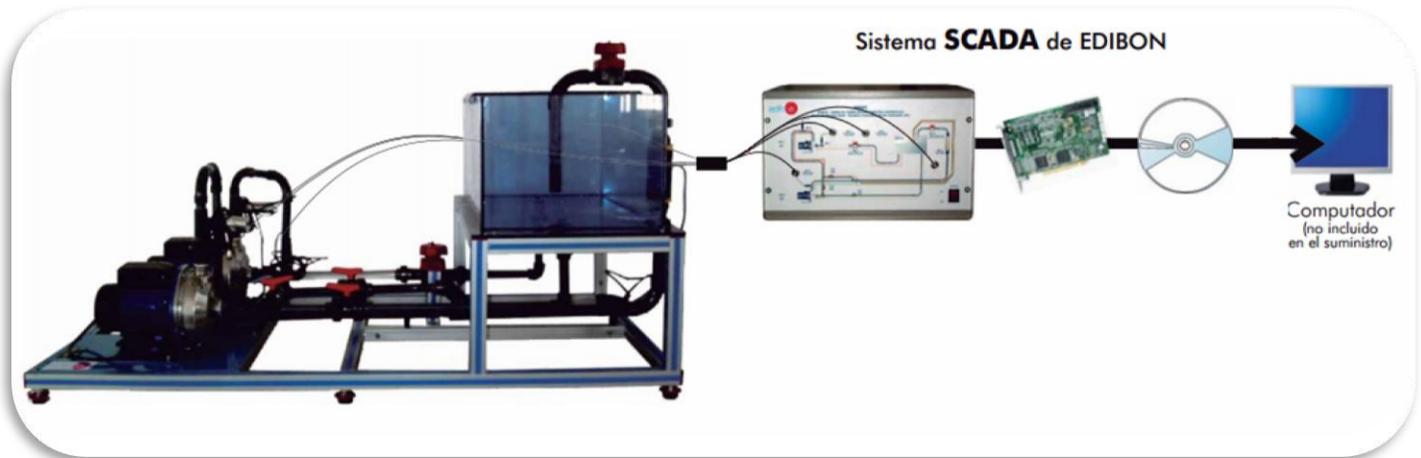


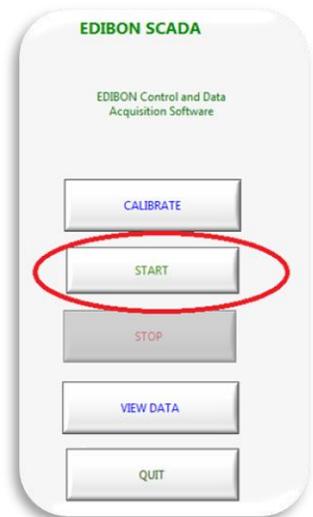
FIGURA 4.1

“Equipo EDIBON PBSPC disponible en laboratorio de mecánica de fluidos”

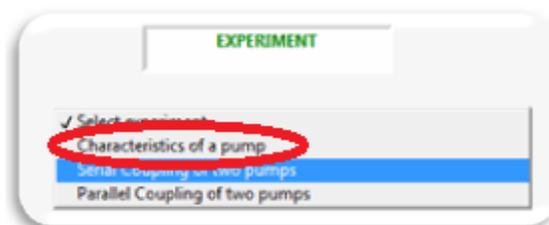
4.2 Procedimiento:

En primer lugar se debe de asegurar que el equipo e instrumentos a utilizar estén en buenas condiciones para su correcto desempeño. Se debe encender el equipo PBSPC y también el computador conectado a este.

En el ordenador se abrirá el programa ubicado en el escritorio “PBSPC”, una vez abierto se presiona donde dice “START.”



Con esto el equipo está preparado para operar, se debe de seleccionar el tipo de experimento en “Select experiment” donde se debe de seleccionar “characteristics of pump”.



Al momento de seleccionar se debe de tener e ajustado el sistema de la siguiente manera

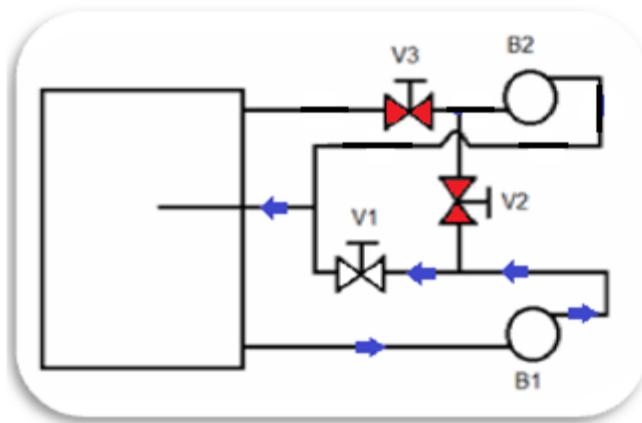


FIGURA 4.2

Donde:

- V1: Abierta
- V2: Cerrada
- V3: Cerrada

Para realizar el ensayo se trabajara a RPM constante sobre 2000 rpm, teniendo la válvula a la entrada de la bomba (V_e) 100% abierta. Gradualmente esta válvula irá siendo cerrada con el fin de aumentar las pérdidas de carga singulares y acercarse al punto de cavitación, hasta encontrarlo mediante observación de burbujas de vapor en conducto transparente, cercano a la entrada de la bomba. De esta manera se obtiene el límite de cavitación.

Para estudiar el riesgo de cavitación es necesario calcular el $NPSH_{disp}$ y el requerido, para obtener el disponible se tendrá que calcular con la siguiente ecuación que se deduce de un balance de energía entre los punto 1 y 2.

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} - \frac{V^2}{2 \cdot g} - Z - Perd$$

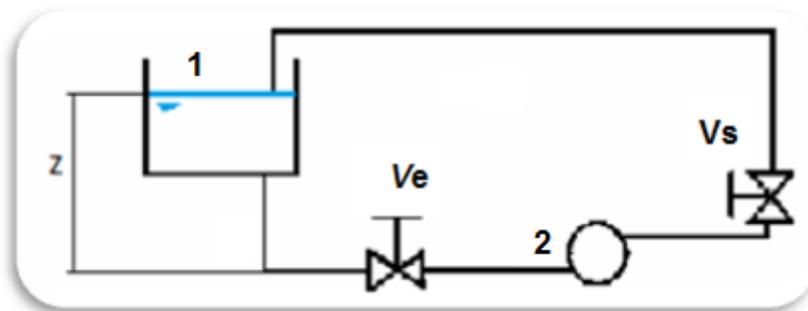


FIGURA 4.3

“Esquema simplificado del sistema”

Se utiliza como referencia el nivel de la superficie libre del fluido del estanque, y al encontrarse la bomba bajo este nivel el valor de “Z” será negativo quedando así:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} + Z_2 - \frac{V^2}{2 \cdot g} - Perd$$

El valor del $NPSH_{req}$ se puede obtener por información del fabricante de la bomba o bien estimar de alguna ecuación obtenida previamente en forma experimental como la siguiente:

$$NPSH_{req} = Q^{2/3} \cdot n^{4/3} \cdot Cte.$$

Para que no ocurra la cavitación es necesario que se cumpla la siguiente condición.

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req}$$

4.3 Obtención de Cte. para ecuación de $NPSH_{requerido}$

Se utilizó una sola bomba trabajando con rpm constante e igual a 2000 rpm. y variando la apertura de la válvula, comenzando desde 100% abierta hasta completamente cerrada. En este proceso se visualizó el punto donde comenzó la cavitación, con un porcentaje de apertura menor a un 10% y se obtuvieron los siguientes datos:

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N.m)	Q(lit/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1.00	2000,00	-0,22	0,37	0,00	0,46	47,39	6,27	48,55	95,95	50,60
2.00	2000,00	-0,23	0,37	0,00	0,45	47,39	6,34	49,12	94,46	52,00
3.00	2000,00	-0,25	0,35	0,00	0,45	46,03	6,38	48,01	95,19	50,44
4.00	2000,00	-0,29	0,33	0,00	0,46	44,63	6,60	48,14	96,91	49,68
5.00	2000,00	-0,33	0,30	0,00	0,44	42,47	6,73	46,74	92,35	50,62
6.00	2000,00	-0,42	0,23	0,00	0,40	35,37	6,84	39,56	83,39	47,44
7.00	2000,00	-0,44	0,08	0,00	0,31	17,43	5,51	15,70	65,55	23,94
8.00	2000,00	-0,36	0,04	0,00	0,26	5,17	4,27	3,60	55,19	6,53
9.00	2000,00	-0,56	0,01	0,00	0,22	0,00	6,03	0,00	45,35	0,00

TABLA 4.1

Los datos enmarcados en la Tabla 4.1 son los del punto de cavitación, en este momento se cumple que:

$$NPSH_{requerido} = NPSH_{disponible}$$

Como es conocido:

$$NPSH_{req} = Q^{2/3} \cdot n^{4/3} \cdot Cte.$$

El caudal en ese punto es conocido al igual que las rpm, por lo que solo se necesita obtener el $NPSH_{disponible}$ para obtener la constante de la ecuación.

Como se anticipó, para la obtención del $NPSH_{disponible}$ se requiere de la siguiente ecuación:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} + Z - \frac{V^2}{2 \cdot g} - Perd.$$

La cual puede ser ordenada de la siguiente manera:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} + Z - \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot g} - Perd.$$

Siendo valores conocidos:

$$P_{ATM} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$P_{SAT} = 2.32 \text{ kPa}$$

$$Q = 5.17 \text{ L/min} = 8.616 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\gamma_{fluido} = 9800 \text{ N/m}^3$$

$$Z = 0.37 \text{ m}$$

$$\pi = 3.14$$

$$d = 2.54 \text{ cm}$$

Aun se desconoce el valor de las pérdidas de carga en ese punto las cuales pueden ser calculadas mediante un balance de energía, tomando como puntos la superficie libre del fluido y la entrada de la bomba.

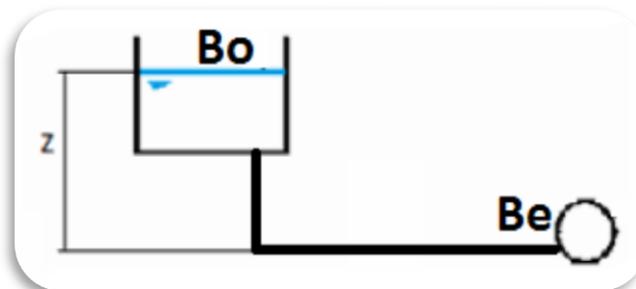


FIGURA 4.4

Con el fin de encontrar las pérdidas de cargas se utilizara la ecuación de Bernoulli, la cual dice:

$$B_0 = B_e + Perd.$$

$$B_0 = Z_0 + \frac{P_0}{\gamma_{fluido}} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g}$$

$$B_e = Z_e + \frac{P_e}{\gamma_{fluido}} + \frac{V_e^2}{2 \cdot g}$$

Al tomar como punto de referencia la entrada de la bomba Z_e será igual a cero, a demás en la superficie libre del fluido la presión manométrica y la velocidad son igual a cero. Por lo que la ecuación queda ordenada de la siguiente manera:

$$Z_0 = \frac{P_e}{\gamma_{fluido}} + \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot g} + Perd.$$

De la tabla 4.1 se obtiene el valor de la presión a la entrada de la bomba.

$P_e = -0.36 \text{ bar} = -36 \text{ kPa}$; entonces se dispone de todos los datos para encontrar las pérdidas de carga:

$$0.372 = -\frac{36000}{9800} + 198714.13 \cdot (8.61 \cdot 10^{-5})^2 + Perd.$$

$$Perd. = 4.04 \text{ m}$$

Ahora que el valor de las pérdidas de carga en la succión son conocidas, son reemplazadas en la ecuación de NPSH disponible:

$$NPSH_{disp} = 10.1 + 0.372 - 9.487 \cdot 10^{-7} - 4.042$$

$$NPSH_{disp} = 6.427$$

Como se mencionó anteriormente se está evaluando el punto de cavitación por lo que los NPSH disponibles y requeridos son iguales en este punto.

$$NPSH_{disp} = NPSH_{req}$$

$$6.427 = (8.616 \cdot 10^{-5})^{2/3} \cdot 2000^{4/3} \cdot Cte.$$

$$Cte. = 0.13$$

Por lo que la ecuación para NPSH requerido estará regida por:

$$NPSH_{req} = Q^{2/3} \cdot n^{4/3} \cdot 0.13$$

4.4 Gráficos

➤ H vs Q

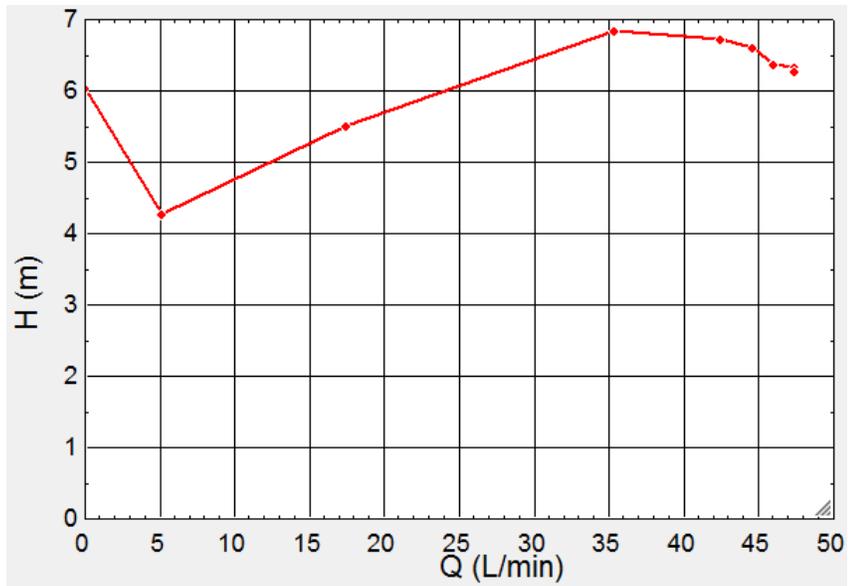


GRAFICO 4.1

➤ NPSH vs Q

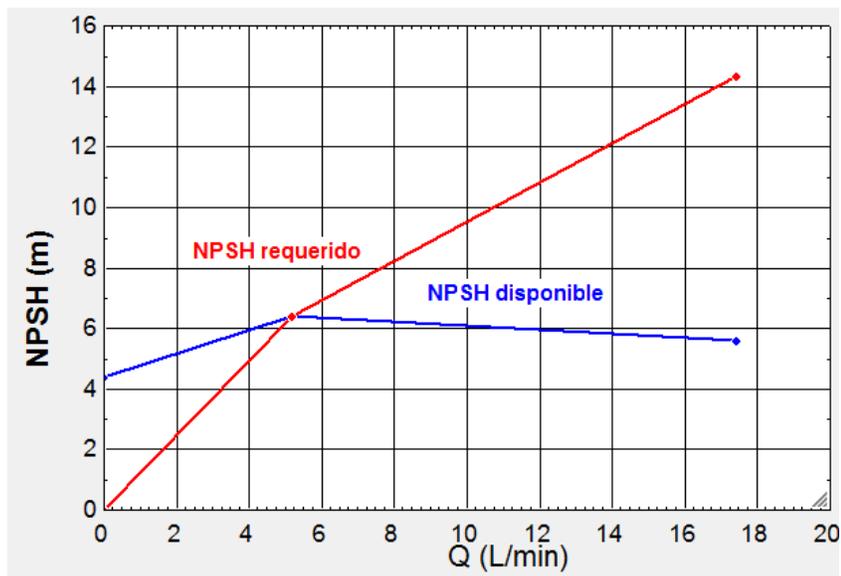


GRAFICO 4.2

4.5 Conclusión

Se pudo observar que a medida que es cerrada la válvula gradualmente, el caudal impulsado por la bomba es menor, pero aumentan sus pérdidas de cargas en la succión lo que con lleva que el NPSH disponible disminuya en tanto el NPSH requerido igual disminuye pero de manera más lenta así aumentando la posibilidad de cavitación

El instante que ambos NPSH son iguales es llamado límite de cavitación, cuyo cálculo permite definir la zona libre de riesgo de cavitación ($NPSH_{disp} > NPSH_{req}$).

Se puede apreciar en el grafico 4.2 que el NPSH disponible empieza con un valor de 4.39 y luego en el punto de cavitación aumenta a un valor de 6.42 para luego empezar a bajar, en cambio el NPSH requerido aumenta constantemente.

El punto de cavitación se encuentra cuando la válvula se encuentra con un porcentaje a abertura menor al del 12%, trabajando a 2000 rpm.

Al producirse la cavitación es posible percibir por un cambio en el sonido que emite la bomba y en este caso se puede apreciar la formación de burbujas en el ducto de succión.

Fue posible encontrar la ecuación de NPSH requerido, la cual será incluida en la guía de laboratorio, de esta manera al momento de realizar la experiencia se simplificará este proceso. También quedará estipulado que las pérdidas de carga serán calculadas mediante la ecuación de Bernoulli, que en este caso es más simple y rápido que utilizando las ecuaciones de pérdidas regulares y singulares.

Capítulo 5

Catastro de equipos disponibles en Laboratorio

5.1 Equipo FME06 (Demostración de OSBORNE-REYNOLDS)

Especificaciones técnicas:

- ◆ Diámetro interior del tubo: 10 mm
- ◆ Diámetro exterior del tubo: 13 mm
- ◆ Longitud de la tubería de visualización : 700 mm
- ◆ Capacidad del depósito de colorante: 0,3 L
- ◆ Capacidad del depósito : 10 L
- ◆ Válvula de control de flujo: tipo membrana
- ◆ La inyección de colorante es regulada con una válvula de aguja
- ◆ Sistema de conexión rápida incorporado
- ◆ Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado
- ◆ Dimensiones: 450 x 450 x 1250 mm
- ◆ Peso: 20 kg

Posibilidades prácticas:

1. Observación de régimen laminar, de transición y turbulento.
2. Estudio de perfil de velocidades, reproduciendo el experimento OSBORNE-REYNOLDS.
3. Cálculo de número de REYNOLDS.



EDIBON FME06

5.2 Equipo FME20 (Demostración del flujo laminar)

Especificaciones técnicas:

- ◆ Capacidad del depósito de colorante: 0,3 L
- ◆ Ancho de la mesa: 400 mm.
- ◆ Longitud de la mesa: 210 mm.
- ◆ Profundidad de la mesa: ajustable según modelos.
- ◆ 2 circulares de 25 y 50 mm de diámetro.
- ◆ 2 cuadrados de 25 x 25 y 50 x 50 mm.
- ◆ Sistema de conexión rápida incorporado.
- ◆ Estructura de aluminio anodizado.
- ◆ Dimensiones: 870 x 450 x 400 mm
- ◆ Peso: 10 kg

Posibilidades prácticas:

1. Flujo ideal alrededor de un cilindro o perfil sumergido
2. Flujo ideal en un canal convergente o divergente
3. Flujo ideal a través de un codo de 90°
4. Flujo ideal a través de una contracción brusca
5. Flujo ideal en un ensanchamiento brusco
6. Sustitución de una línea de corriente por un borde sólido



EDIBON FME20

5.3 Equipo FME00 (Banco hidráulico)

Especificaciones técnicas:

- ☞ Banco hidráulico móvil, fabricado de poliéster con fibra de vidrio y montado en ruedas para su fácil movilidad.
- ☞ Bomba centrífuga de 0,37 kW, 30-80 L/min, a 20,1 – 12,8 m, monofásica.
- ☞ Rodete de acero inoxidable
- ☞ Capacidad del depósito sumidero: 165 L
- ☞ Canal pequeño: 8 L
- ☞ Medida de caudal: depósito volumétrico calibrado de 0 a 7 L para caudales bajos y de 0 a 40 para caudales altos.
- ☞ Válvula de control para regular caudal
- ☞ Probeta cilíndrica graduada para las mediciones de caudales pequeños.
- ☞ Válvula de cierre, en la base de tanque volumétrico, para su vaciado.
- ☞ Rapidez y facilidad para intercambiar módulos.
- ☞ Dimensiones: 1130 x 730 x1000 mm Peso: 70 kg

Posibilidades prácticas

1. Cálculo de caudal volumétrico de líquido
2. Acoplamiento de otros equipos EDIBON de mecánica de fluidos.



EDIBON FME 00

5.4 Equipo Aerolab (Túnel de viento)

Especificaciones técnicas:

El equipo tiene un sistema de balanzas las cuales indican las respectivas fuerzas que actúan sobre el perfil aerodinámico. En el caso de la fuerza de arrastre (Drag Force), y la fuerza de sustentación (Lift Force).

Además posee un manómetro diferencial inclinado, el cual sirve para medir la velocidad del aire en el túnel, específicamente en la zona de ubicación del perfiles u objetos.

- ✦ Túnel de viento Aerolab
- ✦ Perfil aerodinámico NACA.
- ✦ Pedestal regulable.
- ✦ Regulador de corriente, sirve para regular la velocidad del aire dentro del túnel.
- ✦ Largo del equipo 225 cm.
- ✦ Diámetro de extremos: 50 cm.
- ✦ Dimensiones zona de ensayos entre el sector convergente y el sector divergente: $161,28 \text{ cm}^2$.

Posibilidades prácticas:

1. Medir fuerzas de arrastre y sustentación en perfiles y objetos.
2. Calcular coeficientes de arrastre y sustentación.
3. Medir variación de alturas en el manómetro.
4. Medir la velocidad media de flujo de aire.



EQUIPO AEROLAB

5.5 Equipo Saybolt Universal ASTM D88 (viscosímetro)

Especificaciones técnicas:

Posee probetas cilíndricas normalizadas para colocar la muestra de aceite. En la parte inferior de ellos se encuentra un orificio de un diámetro específico, por el cual fluye el aceite, que es recolectado en un matraz de contención colocado abajo para recibir y así medir el aceite descargado.

- ◆ Se utiliza para aceites de bajas y medias viscosidades.
- ◆ Posee dos termómetros, uno en el aceite de muestra y otro en el baño.
- ◆ Dimensiones: 39 x 37 x 50 mm.
- ◆ Diámetro orificio: 0,0695 pulgadas.

Posibilidades prácticas:

1. Medir la viscosidad de aceites a distintas temperaturas.
2. Calcular el Índice de Viscosidad de cada uno de los aceites estudiados.
3. Realizar un diagrama Viscosidad v/s Temperatura



SAYBOLT UNIVERSAL ASTM D88

5.6 Equipo Saybolt Furol ASTM D88 (viscosímetro)

Especificaciones técnicas:

A igual que el Saybolt universal posee un recipiente cilíndrico para la muestra de aceite y un matraz de contención, colocado abajo para recibir y así medir el aceite descargado. En la parte inferior del recipiente se encuentra un orificio de un diámetro específico, por el cual fluye el aceite.

- ◆ Se utiliza para aceites muy altas viscosidades.
- ◆ Posee dos termómetros, uno en el aceite de muestra y otro en el baño.
- ◆ Dimensiones: 33 x 49 x 33 mm.
- ◆ Diámetro orificio: 0,124 pulgadas.

Posibilidades prácticas:

1. Medir la viscosidad de aceites a distintas temperaturas.
2. Calcular el Índice de Viscosidad de cada uno de los aceites estudiados.
3. Realizar un diagrama Viscosidad v/s Temperatura



SAYBOLT FUROL ASTM D88

5.7 Equipo para estudiar pérdidas de carga y medición de caudales.

Especificaciones técnicas:

Para realizar esta experiencia se cuenta con un Banco de Ensayos, recirculación de agua por medio de una bomba, estanque elevado y estanque o depósito inferior.

- ✦ Banco de Ensayos Norwood Instruments Ltd.
- ✦ Una regla central graduada ó manómetro diferencial.
- ✦ 4 Cañerías de diámetros nominales: 28, 22, 15, 8 mm.
- ✦ Un tubo de Venturi.
- ✦ Una placa Orificio.
- ✦ 4 Codos de 90°, conectados en serie.
- ✦ Un dispositivo de Expansión y Contracción brusca.
- ✦ Tubos piezométricos.
- ✦ Estanque de descarga con regla graduada, que permite la medición de Caudal por aforo volumétrico.

Posibilidades prácticas:

1. Pérdidas de carga en conductos.
2. Medición de caudal con manómetros diferenciales, tubo venturi, tubo pitot y placa orificio.
3. Pérdidas de carga en ensanchamiento brusco, contracción brusca y codos en 90°.



Capítulo 6

Recomendación de laboratorios y equipos a incorporar

Se realizó un catastro de los equipos de mecánica de fluidos en el laboratorio de termo fluidos de la Universidad del Bío-Bío y de las posibilidades prácticas de cada uno de ellos.

Por otro lado se estudió los laboratorios que se utilizan en la formación de ingenieros, considerando algunas universidades del mundo. De esta manera se pudo hacer una comparación con las instalaciones de la Universidad del Bío-Bío.

Luego de realizada la comparación se optó se recomiendan los siguientes laboratorios: “Vaciado de estanque” y “Golpe de ariete”

6.1 Vaciado de estanque:

En este laboratorio se observa el tiempo de vaciado de un estanque para distintos fluidos, lo que resulta ser un problema práctico interesante y como principales objetivos tienen:

- ◆ Determinar experimentalmente el coeficiente de descarga del escurrimiento en orificios.
- ◆ Determinar experimentalmente el coeficiente de velocidad.
- ◆ Determinar experimentalmente el coeficiente de contracción.
- ◆ Determinar las pérdidas de carga.
- ◆ Confeccionar gráficos prácticos que permitan determinar la influencia de la altura de descarga en los coeficientes de contracción, descarga y velocidad.

Para que este laboratorio pueda ser puesto en marcha se debe realizar un estudio del mismo, analizar las bases teóricas, realizar una caracterización del equipo y caracterización práctica de este. Finalmente la confección de una guía de laboratorio para su correcta puesta en marcha.

6.2 Golpe de ariete:

El objeto de esta práctica es estudiar los fenómenos de flujo transitorio en una instalación hidráulica y en concreto aquellos producidos por una variación brusca de las condiciones de contorno o de funcionamiento de la instalación, los denominados Golpes de Ariete.

En el banco de ensayo de pueden generarse golpes de ariete mediante el cierre rápido de una válvula y medir la evolución temporal de la presión en la sección aguas arriba de la mencionada válvula, en el golpe de ariete.

Es posible analizar los efectos sobre el golpe de ariete de la velocidad del fluido en la tubería y de la velocidad de cierre de la válvula.

Debido a esto, el análisis o el diseño adecuados de una instalación pasa por conocer la respuesta temporal de las variables hidráulicas de la instalación con el fin de evitar situaciones indeseables como:

- ◆ Presiones excesivamente altas o excesivamente bajas.
- ◆ Flujo inverso.
- ◆ Movimiento y vibraciones de las tuberías.
- ◆ Velocidades excesivamente bajas.

Para que este laboratorio pueda ser puesto en marcha se debe realizar un estudio del mismo, analizar las bases teóricas, realizar una caracterización del equipo y caracterización práctica de este, Finalmente la confección de una guía de laboratorio para su correcta puesta en marcha.

6.3 Catastro de equipos dentro y fuera de la Universidad.

	U. del Bío-Bío	U. de Chile	U. Pedagógica y tecnológica de Colombia	U. Autónoma metropolitana de México	U. Navarra España	U. del país Vasco
Fuerza hidrostática	Si	Si	Si	Si	No	Si
Túnel de viento	Si	Si	No	No	Si	Si
Medición de caudales	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Viscosidad	Si	No	Si	Si	No	Si
Tubo venturi	Si	Si	Si	Si	No	Si
Impacto de chorro	Si	No	Si	No	No	Si
Golpe de ariete	No	No	No	No	Si	No
Pérdidas de Carga	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Descarga de un tanque	No	Si	No	Si	No	Si

TABLA 6.1

Conclusiones

El laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad del Bío-Bío propuso la puesta en marcha de equipos de laboratorio que se encontraban en desuso, para así tener mayores alternativas de enseñanza práctica.

Los equipos considerados son:

- ◆ Fuerza sobre superficie sumergida
- ◆ Impacto de chorro
- ◆ Ensayo de bombas serie-paralelo
- ◆ Cavitación

En primer lugar, se comenzó por realizar una caracterización de cada uno de estos, basándose en los catálogos de los mismos, en experiencias de laboratorio de otras universidades y poniendo en práctica los conocimientos teóricos adquiridos previamente a lo largo de la carrera.

Luego de conocer el funcionamiento de cada equipo, se desarrollaron prototipos de guías de laboratorio en base a las posibilidades prácticas que presentaban los equipos estudiados.

Posteriormente se desarrolló cada uno de los laboratorios, realizando las experiencias e incluyendo el desarrollo teórico del mismo, con el fin de efectuar comparaciones entre lo que es la teoría y el desarrollo experimental.

Impacto de chorro:

Este laboratorio permite demostrar en forma práctica las bases del teorema de cantidad de movimiento.

Se realizó un análisis de sensibilidad en función del tiempo medido para evaluar el flujo volumétrico de agua y se observó una variación considerable en los resultados finales, por lo cual, se recomienda usar un cronómetro y tomar más de una medición con el fin de obtener resultados lo más exactos posibles.

Fuerza sobre superficie:

Para la realización del laboratorio de fuerza sobre superficie se tabularon los datos de volumen sumergido y del centro de presiones teóricos para cada uno de dichos volúmenes, información que no estaban disponible inicialmente.

Se realizaron ensayos y se comparó los resultados obtenidos en forma práctica con los que se pueden deducir en forma teórica.

La variación de los resultados de altura sumergida del cuerpo, al realizar el estudio de sensibilidad es poco significativa.

Bombas en serie o paralelo:

Se obtuvieron los gráficos de altura (H) vs caudal volumétrico (Q) de cada una de las experiencias, detectando los casos de mayor interés didáctico.

Analizado el caso de conexión en serie no era conveniente, puesto que la altura entregada era prácticamente aportada solo por la bomba 2.

En el caso de la bomba en paralelo era conveniente su conexión ya que el caudal aumentaba casi el doble y la altura mas del doble, en comparación a que si la bomba trabajara sola.

Cavitación:

El punto de cavitación se encontró de forma experimental de forma visual lo que permitió deducir una ecuación del $NPSH_{requerido}$.

Una vez que se encontró la ecuación del $NPSH_{requerido}$ nos permite encontrar el punto de cavitación a cualquier revolución.

En el caso analizado se recomienda trabajar sobre 2000 rpm, puesto que así aumentan la posibilidad de cavitación.

Revisión de equipos de laboratorio utilizados en docencia de ingeniería en otras instituciones educacionales:

De este proceso surge la recomendación de implementar dos laboratorios que no se encuentran en el laboratorio de termo fluidos: vaciado de estanque y golpe de ariete.

Impresión personal:

Los alumnos autores de este seminario estiman que han participado muy activamente, con un alto nivel de motivación y consideran que el resultado de este proyecto ha sido satisfactorio, dado que los principales objetivos han sido cumplidos.

Bibliografía

- ✦ Manual EDIBON de equipo de banco ensayos de bombas serie-paralelo.
- ✦ Catálogo equipos EDIBON.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad del Bío-Bío
- ✦ Guía laboratorio máquinas de termo fluidos Universidad del Bío-Bío.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad del Valle.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad Autónoma metropolitana.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad de Navarra.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad del país Vasco.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad Bolivariana de Venezuela.
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad Francisco de Paula Santander Caña
- ✦ Guía laboratorio mecánica de fluidos Universidad Autónoma de Nuevo León.
- ✦ <https://www.youtube.com/watch?v=PpFhzrf1ZVg>
- ✦ <http://www.bdigital.unal.edu.co/11934/36/3353962.2007.Parte8.pdf>
- ✦ <https://www.youtube.com/watch?v=KbhMkHYN784>
- ✦ http://ingenieria.mxl.uabc.mx/pe_imo/index.php/manuales/87-laboratorio/manuales/293-practicas-de-mecanica-de-fluidos
- ✦ <http://www.buenastareas.com/ensayos/Bombas-Serie-Paralelo/6710650.html>
- ✦ <https://es.scribd.com/doc/94978849/Guias-de-Lab-Oratorio-Mecanica-de-Fluidos>
- ✦ <http://es.slideshare.net/MonicaLopez2/bombas-centrifugas-en-serie-y-paralelo>
- ✦ http://cbi.izt.uam.mx/iq/lab_mec_de_fluidos/lab_mec_de_fluidos.html
- ✦ <http://www.ehu.eus/inwmooqb/asignaturas/Mecanica%20de%20fluidos/Guion%20de%20Practicas%2011-12.pdf>
- ✦ [file:///C:/Users/Jeanette/Downloads/GPL_All_Spanish_07_08%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Jeanette/Downloads/GPL_All_Spanish_07_08%20(1).pdf)

Anexos

En estos anexos se incluyen las guías propuestas para los laboratorios de:

- ◆ Fuerza sobre superficie sumergida
- ◆ Impacto de chorro
- ◆ Ensayo de bombas serie-paralelo
- ◆ Cavitación

Experimento 1

FUERZA DE UN FLUIDO SOBRE UNA SUPERFICIE SUMERGIDA

1.- OBJETIVOS

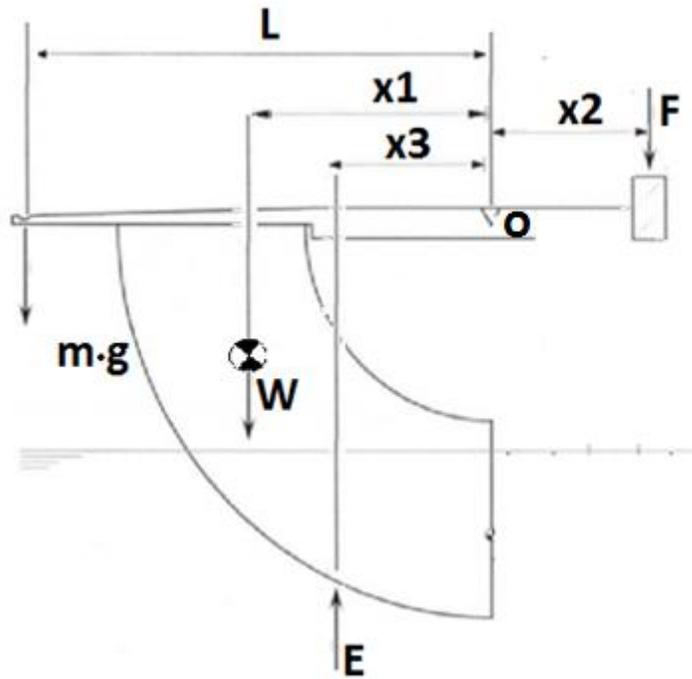
- Observar los efectos de un fluido incompresible en reposo, sobre una superficie sumergida
- Determinar la fuerza resultante que ejerce el líquido sobre la superficie parcial y totalmente sumergida.
- Determinar el centro de presiones.
- Realizar una comparación entre la altura de agua calculada teóricamente y la determinada en forma experimental.

2.- PRINCIPIOS TEÓRICOS

Cuando un cuerpo sólido es sumergido en un líquido en reposo, experimenta una fuerza que lo impulsa hacia la superficie, la cual es llamada empuje hidrostático. El cuerpo recibe fuerzas del líquido en reposo en todas sus superficies, por lo que las fuerzas laterales son anuladas y dejando así en consideración tan solo las fuerzas que actúan en forma vertical. Cuando el empuje hidrostático es mayor al peso del cuerpo, este es impulsado a la superficie, en caso contrario el cuerpo es impulsado a las profundidades y si el empuje se iguala con el peso se dice que el cuerpo queda entre aguas

.

Esquema del equipo:



Donde:

L: Distancia horizontal entre el eje y el colgante para peso.

m: Masa de ensayo.

g: Aceleración de gravedad.

W: Peso del cuerpo a sumergir.

F: Peso del contrapeso.

E: Empuje hidrostático.

X1: Distancia entre el punto de apoyo y el peso del cuerpo.

X2: Distancia entre el punto de apoyo y el contrapeso.

X3: Distancia entre el punto de apoyo y el centro de presiones.

Este experimento se basa en igualar los momentos generados por la masa de ensayo, el generado por el peso del cuerpo sumergido, el generado por el contrapeso y el generado por el empuje hidrostático.

$$\sum M_o = 0$$

Equilibrando el sistema antes de añadir una masa de ensayo y sin agregar el fluido al estanque se obtiene la siguiente relación:

$$X_1 \cdot W - X_2 \cdot F = 0$$

$$X_1 \cdot W = X_2 \cdot F$$

Entonces al realizar el análisis añadiendo una masa de ensayo y equilibrando el sistema con la presencia del fluido en el estanque se tiene:

$$m \cdot g \cdot L - E \cdot X_3 + W \cdot X_1 - F \cdot X_2 = 0$$

$$m \cdot g \cdot L = E \cdot X_3$$

El empuje hidrostático está determinado por el peso específico del fluido en el cual se encuentra sumergido el cuerpo, en este caso agua, y por el volumen sumergido, el cual se encuentra normado en la tabla 1.

$$E = \gamma_{agua} \cdot V_{sumergido}$$

$$\gamma_{agua} = \rho_{agua} \cdot g$$

$$m \cdot g \cdot L = \gamma_{agua} \cdot V_{sumergido} \cdot X_{3experimental}$$

De esta manera solo queda como incógnita la distancia $X_{3experimental}$ que corresponde a la distancia desde el punto de apoyo al centro de presiones en forma experimental ($CP_{experimental}$).

Dicha distancia debe ser comparada con la distancia al centro de presiones teórica que se encuentra en la Tabla 1.

Finalmente el porcentaje de error será calculado de la siguiente manera:

$$\%error = \frac{(CP_{teorico} - CP_{experimental})}{CP_{teorico}}$$

Altura sumergida (mm)	$V_{sumergido}$ (cm^3)	$CP_{teorico}$ (mm)
10	29.290	20.637
20	82.217	33.183
30	149.864	39.938
40	228.900	46.332
50	317.312	50.584
60	413.721	55.458
70	516.945	58.960
80	626.210	62.089
90	740.727	65.290
100	859.859	68.275
110	962.470	71.520
120	1052.520	75.360
130	1136.065	79.121
140	1215.320	82.553
150	1291.490	85.822
160	1367.321	88.762

TABLA 1

De ser necesario se deberá interpolar los valores que no se encuentren en la tabla de datos con el fin de encontrar los valores intermedios, utilizando la siguiente ecuación general para una interpolación lineal:

$$Y_2 = Y_1 + \frac{(X_2 - X_1) \cdot (Y_3 - Y_1)}{(X_3 - X_1)}$$

3.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Se utilizara un equipo marca EDIBON, modelo FME08, del cual cabe rescatar los siguientes datos:

- Capacidad del depósito: 5,5 litros
- Distancia entre las masas suspendidas y punto de apoyo: 285 mm
- Área de la sección: 0,007 m²
- Profundidad total del cuadrante sumergido: 160 mm
- Altura del punto de apoyo sobre el cuadrante: 100 mm
- Juego de discos con diversas masas, los cuales son: 4 masas de 100 gr, 1 masas de 50 gr, 2 masas de 20 gr, 2 masas de 10 gr y 2 masas de 0,5 gr.
- Dimensiones: 550 x 250 x 350 mm (aprox.)
- de Caudal por Aforo Volumétrico.

4.- PROCEDIMIENTO

- Verificar que todos los elementos estén en condiciones de operación.
- Dejar el sistema en equilibrio, es decir, colocar el extremo del eje en la posición marcada en el equipo , haciendo girar el contrapeso hasta llegar a la posición deseada.
- Añadir un peso en el extremo del eje, el cual sacara de equilibrio el sistema.
- Agregar agua al estanque hasta que el eje vuelva a su posición de equilibrio.
- Medir con exactitud la altura que alcanza el agua dentro del estanque.
- Realizar los cálculos correspondientes.

Experimento 2

IMPACTO DE CHORRO

1.-OBJETIVOS

- Determinar teóricamente el caudal necesario para que chorro logre igualar la fuerza ejercida por la masa de ensayo.
- Determinar prácticamente el caudal utilizado para que el chorro logre igualar la fuerza ejercida por la masa de ensayo.
- Realizar una comparación entre los resultados.

2.-PRINCIPIOS TEORICOS

El impacto de chorro sobre una superficie es la base principal del desarrollo de turbo máquinas. Mediante las turbo máquinas es posible el generar trabajo a partir de la energía que trae consigo el fluido. Además existen turbo máquinas que entregan trabajo al fluido para agregarle mayor energía.

Este equipo consta de tres posibles ensayos, gracias a las distintas superficies de recepción del chorro que posee. Se parte por añadir una determinada masa la cual se levantara mediante la fuerza que genera el chorro de agua. Cuando se encuentra en régimen permanente, es decir, el chorro esta a un caudal constante que mantiene igualada la fuerza ejercida por la masa, se mide el tiempo en segundos que tarda en pasar un volumen determinado del fluido, con el fin de obtener dicho caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = 0.001 \text{ m}^3$$

Se tomaran tres mediciones para cada superficie de impacto debido a que el tiempo medido debe ser lo más exacto posible.

Primero se debe realizar un el cálculo teórico del caudal necesario para lograr levantar la masa del ensayo, para lograr esto se utilizaran las variables de la masa de ensayo, el área de salida del chorro, la gravedad y la densidad del liquido utilizado, en este caso el agua. La ecuación se obtiene al igualar la cantidad de movimiento ejercida por el chorro con la fuerza ejercida por la masa ($F_{externas}$).

$$m \cdot g = F_{externas}$$

El teorema de cantidad de movimiento es el principio fundamental para obtener una relación entre el caudal del chorro necesario y la masa de ensayo añadida al sistema. Este propone que las fuerzas externas que se ejercen en un sistema serán igual a la sumatoria de las fuerzas de entrada y de salida del chorro. Refiriéndose a fuerza de entrada a la fuerza que conlleva el chorro en el momento del impacto con la superficie y de salida a la fuerza que conlleva después del impacto en dicha superficie.

$$\sum F_{externas} = \dot{m}_s \cdot V_s - \dot{m}_e \cdot V_e$$

Donde:

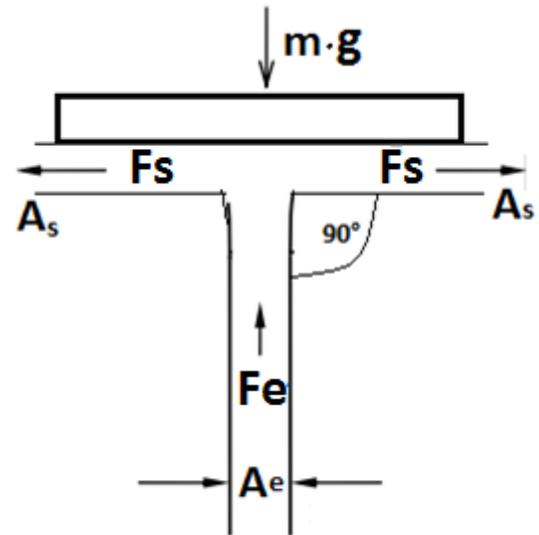
$F_{externas}$ = fuerza; \dot{m} = flujo másico; V= velocidad

Entendiendo que $\dot{m} = \rho_{agua} \cdot Q$ y $Q = V \cdot A$ la ecuación puede expresarse de la siguiente manera:

$$\sum F_{externas} = \rho_{agua} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}$$

PARA SUPERFICIE PLANA

Para realizar el cálculo de la sumatoria de las fuerzas ejercidas por el chorro se deben tener en consideración todas las fuerzas que se generan, en este caso las fuerzas de salida están en 90° con respecto a las fuerzas de entrada, generando solo efectos en forma horizontal. Las fuerzas horizontales son de igual magnitud y dirección con sentidos opuestos por lo que se anulan las unas a las otras. Tomando en cuenta solo las fuerzas que actúan en forma vertical.

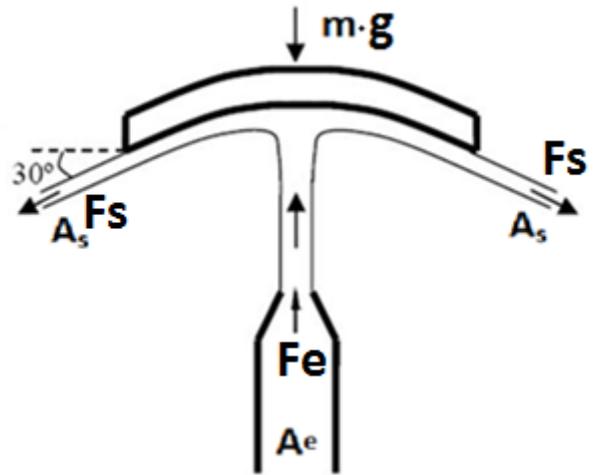


$$\begin{aligned} \sum F_{externas} &= 2 \cdot \cos 90^\circ \cdot \rho_{agua} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\ &= 2 \cdot \cos 90^\circ \cdot \rho_{agua} \cdot \frac{\frac{Q_e^2}{4}}{\frac{A_e}{2}} - \rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\ &= \cos 90^\circ \cdot \rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \end{aligned}$$

$$\sum F_{externas} = -\rho_{agua} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} = -m \cdot g$$

PARA SUPERFICIE CURVA

Sabiendo que por el teorema de conservación de la masa, el flujo másico es constante y estimando que el área de salida es igual al área de la entrada, a diferencia del caso anterior las fuerzas de salidas poseen un ángulo de 30° con respecto a la horizontal, por ende esta vez si nos afectan en la sumatoria de fuerzas con respecto al eje y.



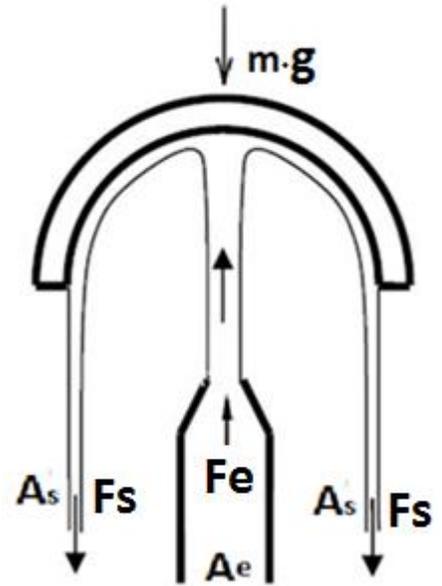
$$\begin{aligned}
 -m \cdot g &= -2 \cdot \text{sen } 30^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\
 &= -2 \cdot \text{sen } 30^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{\frac{Q_e^2}{4}}{\frac{A_e}{2}} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} \\
 &= -\text{sen } 30^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}
 \end{aligned}$$

$$-m \cdot g = -\frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A}$$

$$\sum F_{\text{externas}} = -\frac{3}{2} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A} = -m \cdot g$$

PARA SUPERFICIE SEMIESFERICA

Para este último las fuerzas de salida están en un ángulo de 90° con respecto a la horizontal, por lo que solo se manifiestan fuerzas en forma vertical.



$$-m \cdot g = 2 \cdot -\text{sen } 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_s^2}{A_s} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}$$

$$= 2 \cdot -\text{sen } 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{\frac{Q_e^2}{4}}{\frac{A_e}{2}} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} = -\text{sen } 90^\circ \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}$$

$$-m \cdot g = -1 \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} - \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e}$$

$$\sum F_{\text{externas}} = -2 \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \frac{Q_e^2}{A_e} = -m \cdot g$$

Luego de realizados los cálculos de las fuerzas, estas se ordenan en tablas y se realiza un análisis de los resultados obtenidos

Luego de realizadas las tablas de resultados se procederá a calcular un porcentaje de error entre los caudales teóricos y prácticos, y así, poder realizar las conclusiones correspondientes.

$$\%error = \frac{(Caudal_{teorico} - Caudal_{experimental})}{Caudal_{teorico}}$$

3.-DESCRIPCION DEL EQUIPO

Equipo EDIBON, modelo FME01

- Diámetro del chorro: 8 mm
- Diámetro de las superficies de impacto: 40 mm.
- Tres superficies que reciben el impacto:
 - Superficie semiesférica de 180°
 - Superficie curva de 120°
 - Superficie plana de 90°
- Juego de masas de 5, 10, 50 y 100 gr.
- Sistema de conexión rápida incorporado.
- Dimensiones: 250 x 250 x 500 mm aprox.

4.- PROCEDIMIENTO

- Verificar que todos los elementos estén en condiciones de operación.
- Instalar el equipo en el banco hidráulico EDIBON FME00 y conectarlo a la bomba.
- Elegir una de las tres superficies existentes para realizar el experimento e instalarla en el equipo.
- Observar la posición de la aguja antes de añadir el peso de ensayo.
- Añadir un peso de ensayo al sistema.
- Encender la bomba y regular el caudal hasta que vuelva la posición inicial marcada por la aguja.
- Medir el tiempo que tarda en aumentar un litro de agua el estanque.
- Repetir el proceso para diferentes pesos de ensayo.
- Realizar esta operación con las distintas superficies.
- Hacer las respectivas comparaciones.

5.- RESULTADOS

General

Al final de la sesión, debe entregar un Informe

Simple ➤ Realice un esquema simplificado del equipo.

Porcentaje de error

- Para las diferentes superficies utilizadas por el equipo, realizar la comparación correspondiente entre los resultados teóricos con los adquiridos en forma experimental.

6.-TABLAS DE MEDICIONES

Superficie Plana:

Medición	Masa [g]	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo [3]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Superficie curva

Medición	Masa [g]	Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo [3]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Fuerzas

Medición	$m \cdot g$ [N]	PLANA [N]	CURVA [N]	SEMIESFERICA [N]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Experimento

ENSAYO DE BOMBAS SERIE-PARALELO

1.- OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento del sistema cuando las bombas centrífugas se encuentran conectadas en serie o paralelo.
- Obtener curvas características para cada uno de los casos.

2.- PRINCIPIOS TEÓRICOS

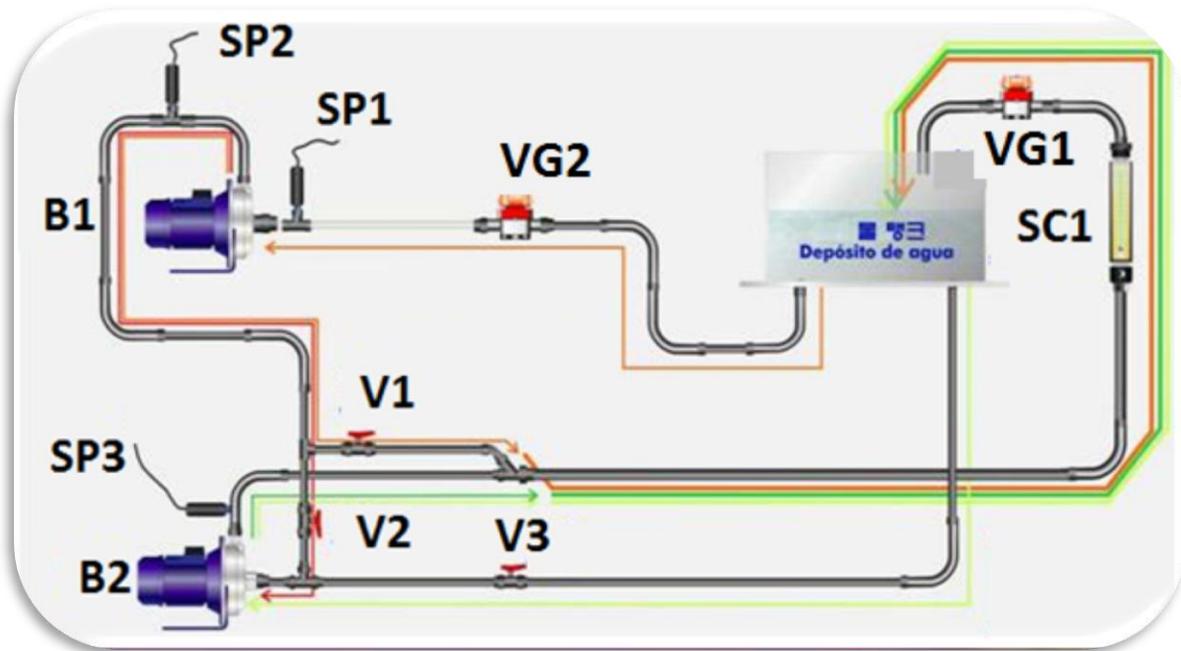
Una bomba es dispositivo cuya función es transferir energía a una corriente de un fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión a otro de mayor presión, algo que no puede ocurrir en forma natural.

Dos bombas pueden ser acopladas de dos maneras, en serie y en paralelo.

Serie: Cuando las bombas están conectadas de esta manera se entiende que la impulsión de una bomba será la aspiración de la que la conlleva, por lo que el caudal será igual para todos los dispositivos conectados. Este método se utiliza cuando se desea adquirir mayores alturas.

Paralelo: Cada uno de los equipos aspiran el fluido desde un mismo punto en común, para que luego los flujos impulsados por cada una de las bombas se unan en una sola cañería. Este método se utiliza cuando se desean obtener caudales más grandes.

Esquema del equipo:



Donde:

B1: Bomba 1

B2: Bomba 2

SP1: Sensor de presión 1

SP2: Sensor de presión 2

SP3: Sensor de presión 3

VG1: Válvula de globo 1

VG2: Válvula de globo 2

V1: Válvula 1

V2: Válvula 2

V3: Válvula 3

SC1: Sensor de caudal

Para que las bombas se encuentren conectadas en SERIE se debe de tener cerradas las válvulas V1 y V3, dejando abierta la válvula V2. Para una conexión en paralelo se tendrán abiertas V1 y V2 dejando cerrada V2. Finalmente para utilizar solo una bomba se tendrá abierta V1 y cerradas V2 y V3.

3.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Se utilizara un equipo marca EDIBON, modelo PBSPC, del cual cabe rescatar los siguientes datos:

- Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado.
- Diagrama en el panel frontal con distribución similar a la de los elementos en el equipo real.
- 2 Bombas centrífugas:

-Caudal máximo: 120 l./min.

-Altura máxima (aprox.): 25 m.c.a. (metros de columna de agua).

- Válvulas que nos permiten conectar las bombas por separado, en serie ó en paralelo.
- Sensor de presión de descarga (0 a 2,5 bar).
- Sensor de presión de descarga (0 a 6 bar).
- Sensor de presión-aspiración (-1 a 0 bar).
- Sensor de caudal (0-150 l./min.).
- Equipo:
 - Dimensiones: 1530 x 700 x 800 mm. Aprox.
 - Peso: 105 Kg. aprox.
- Caja-Interface de Control:
 - Dimensiones: 490 x 330 x 310 mm. Aprox.
 - Peso: 10 Kg. Aprox.

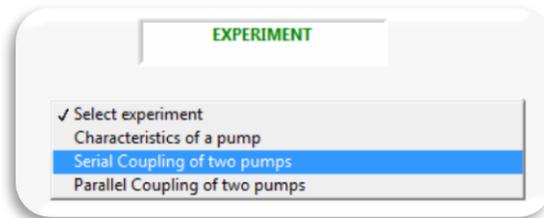
4.- PROCEDIMIENTO

En primer lugar se debe de asegurar que el equipo e instrumentos a utilizar estén en buenas condiciones para su correcto desempeño. Se debe encender el equipo PBSPC y también el computador conectado a este.

En el ordenador se abrirá el programa ubicado en el escritorio "PBSPC", una vez abierto se presiona donde dice "START."



Con esto el equipo esta preparado para operar, se debe de seleccionar el tipo de experimento en "Select experiment" donde se puede elegir entre SERIE o PARALELO.



Al momento de seleccionar se debe de tener e ajustado el sistema para cada uno de los casos, de la siguiente manera:



SERIE



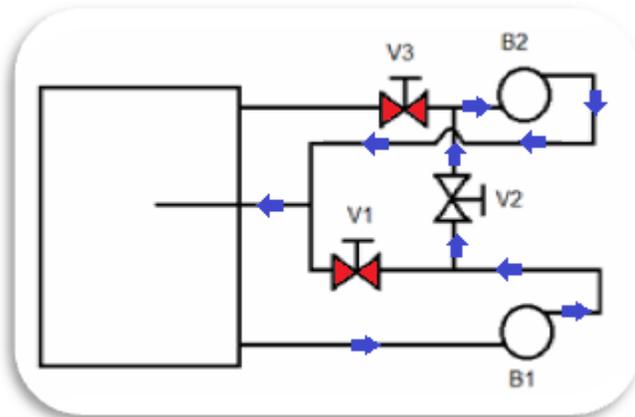
PARALELO

Para conectar las bombas en serie o paralelo, estas tienen que ser conectadas de la siguiente manera.

- Serie:

V1 y V3 cerradas

V2 abierta

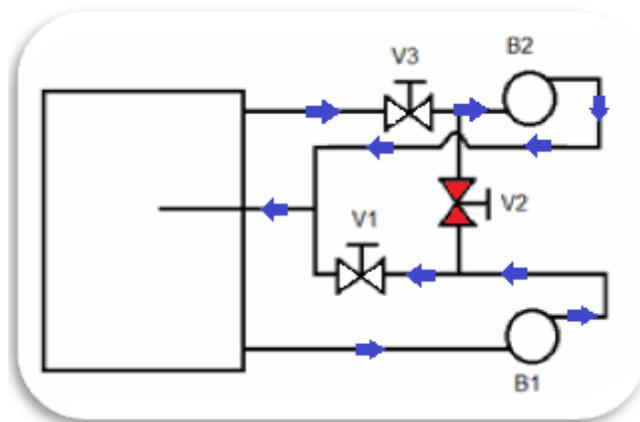


“Esquema del sistema conectado en serie”

- Paralelo:

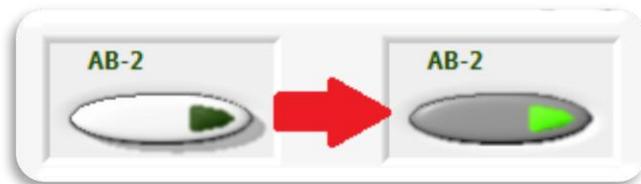
V1 y V3 abierta

V2 cerrada



“Esquema del equipo conectado en paralelo”

Para activar la segunda bomba se debe de hacer click en AB-2 y se debe prender la luz verde. Esto confirma que ambas bombas están en funcionamiento.

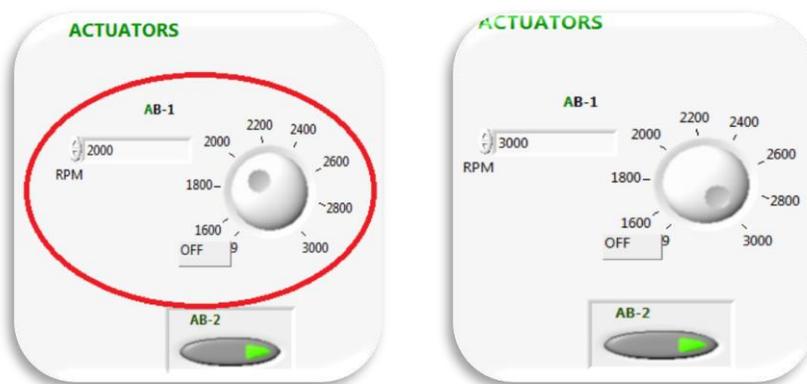


Para cada uno de los casos el experimento se puede realizar de 2 maneras, variando el caudal o variando las RPM de las bombas.

El caudal será variado a través de la válvula de globo VG1 tomando 9 mediciones desde 100% de apertura hasta que esté completamente cerrada, todo esto a una rpm constante.



Para realizar el ensayo con variación de RPM se debe de tener abiertas las válvulas de globo sin variar, incrementar en forma gradual las rpm tomando mediciones desde el mínimo de rpm permitido, 1500 rpm, hasta el máximo, en este caso 3000 rpm.



Luego de realizadas estas mediciones, el programa arroja tablas de resultados y serán confeccionados los gráficos de altura vs caudal.

Data	RPM	Padm(bar)	Pdes1(bar)	Pdes2(bar)	Torque(N·m)	Q(lt/min)	Ht(m)	Nh(W)	Nm(W)	Eff(%)
1,00	2000,00	-0,50	-0,22	0,56	0,47	66,60	11,12	121,12	408,79	29,63
2,00	2500,00	-0,57	-0,03	0,64	0,75	71,97	12,63	148,63	666,44	22,30
3,00	3000,00	-0,57	0,25	0,74	1,10	78,31	13,73	175,78	1289,56	13,63

Finalmente se realizara un análisis de los resultados obtenidos por el programa para cada caso: Paralelo por rpm y apertura de válvula, serie por rpm y apertura de válvula y una bomba funcionando en forma independiente, confeccionando los gráficos correspondientes para cada caso y se entregaran las conclusiones.

5.- RESULTADOS

General

Al final de la sesión, debe entregar un Informe

Simple > Realice un esquema simplificado del equipo.

Experimento 4

CAVITACION

1.-OBJETIVOS

-Determinar prácticamente el punto de cavitación de la bomba, variando distintos parámetros.

2.-PRINCIPIOS TEORICOS

Por cavitación se entiende a la formación de bolsas localizadas de vapor dentro del líquido, pero casi siempre en las proximidades de las superficies sólidas que limitan al líquido.

El proceso físico de la cavitación es casi exactamente igual que el que ocurre durante la ebullición, la cual puede ser producida por un aumento en la temperatura o la disminución de la presión estática ambiente del fluido, en cambio la cavitación es producida por la reducción hidrodinámica de la presión. Si las bolsas de vapor están próximas (o en contacto) a una pared sólida, cuando desaparecen las fuerzas que el líquido ejerce al introducirse violentamente en las cavidades crean presiones localizadas muy altas que dañan la superficie sólida. Cuando estas burbujas de vapor, llamadas cavidades, pasan de la zona de aspiración a la zona de impulsión (bomba), donde son comprimidas bruscamente bajo presiones dinámicas muy elevadas. Al explotar arrancan micro partículas del cuerpo de la bomba, dando lugar a su deterioro, a un deficiente suministro del fluido y a un envejecimiento rápido de la bomba, con pérdida de su capacidad de bombeo (caudal) y subida de presión.

Para estudiar el riesgo de cavitación es necesario calcular el $NPSH_{disp}$ y el requerido, para obtener el disponible se tendrá que calcular con la siguiente formula.

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} - \frac{V^2}{2 \cdot g} - Z - Perd$$

Se utiliza como referencia el nivel de la superficie libre del fluido del estanque, y al encontrarse la bomba bajo este nivel el valor de "Z" será negativo quedando así:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} + Z - \frac{V^2}{2 \cdot g} - Perd$$

La cual puede ser ordenada de la siguiente manera:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ATM} - P_{SAT}}{\gamma_{fluido}} + Z - \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot g} - Perd.$$

Siendo valores conocidos:

$$P_{ATM} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$P_{SAT} = 2.32 \text{ kPa}$$

$$Q = 5.17 \text{ L/min} = 8.616 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

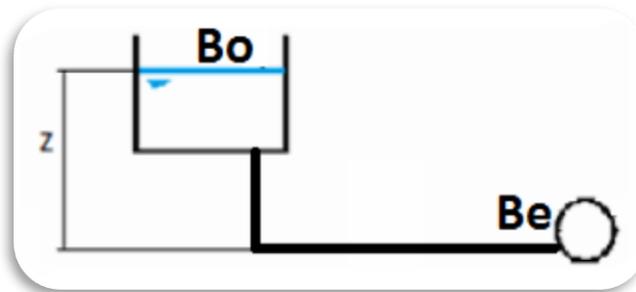
$$\gamma_{fluido} = 9800 \text{ N/m}^3$$

$$Z = 0.372 \text{ m}$$

$$\pi = 3.141$$

$$d = 2.54 \text{ cm}$$

Aun se desconoce el valor de las pérdidas de carga en ese punto las cuales pueden ser calculadas utilizando el principio de Bernoulli, tomando como puntos la superficie libre del fluido y la entrada de la bomba.



Con el fin de encontrar las pérdidas de cargas se utilizará la ecuación de Bernoulli, la cual dice:

$$B_0 = B_e + Perd.$$

$$B_0 = Z_0 + \frac{P_0}{\gamma_{fluido}} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g}$$

$$B_e = Z_e + \frac{P_e}{\gamma_{fluido}} + \frac{V_e^2}{2 \cdot g}$$

Al tomar como punto de referencia la entrada de la bomba Z_e será igual a cero, además en la superficie libre del fluido la presión manométrica y la velocidad son igual a cero. Por lo que la ecuación queda ordenada de la siguiente manera:

$$Z_0 = \frac{P_e}{\gamma_{fluido}} + \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot g} + Perd.$$

EL programa entregará los datos de las presiones y caudales correspondientes para cada caso.

El valor del $NPSH_{req}$ se obtiene a través de la ecuación de la bomba:

$$NPSH_{req} = Q^{2/3} \cdot n^{4/3} \cdot Cte.$$

3.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Se utilizara un equipo marca EDIBON, modelo PBSPC, del cual cabe rescatar los siguientes datos:

- Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado.
- Diagrama en el panel frontal con distribución similar a la de los elementos en el equipo real.
- 2 Bombas centrífugas:

-Caudal máximo: 120 l./min.

-Altura máxima (aprox.): 25 m.c.a. (metros de columna de agua).

- Válvulas que nos permiten conectar las bombas por separado, en serie ó en paralelo.
- Sensor de presión de descarga (0 a 2,5 bar).
- Sensor de presión de descarga (0 a 6 bar).
- Sensor de presión-aspiración (-1 a 0 bar).
- Sensor de caudal (0-150 l./min.).
- Equipo:

-Dimensiones: 1530 x 700 x 800 mm. Aprox.

-Peso: 105 Kg. aprox.

- Caja-Interface de Control:

-Dimensiones: 490 x 330 x 310 mm. Aprox.

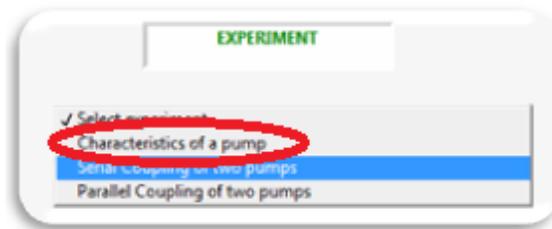
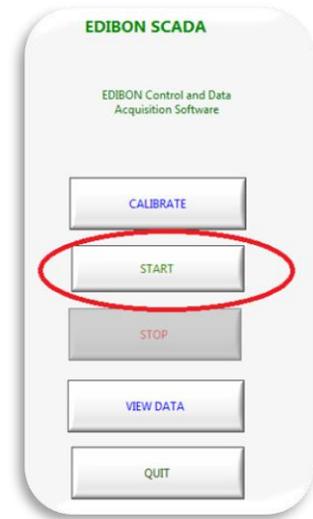
-Peso: 10 Kg. Aprox.

4.- PROCEDIMIENTO

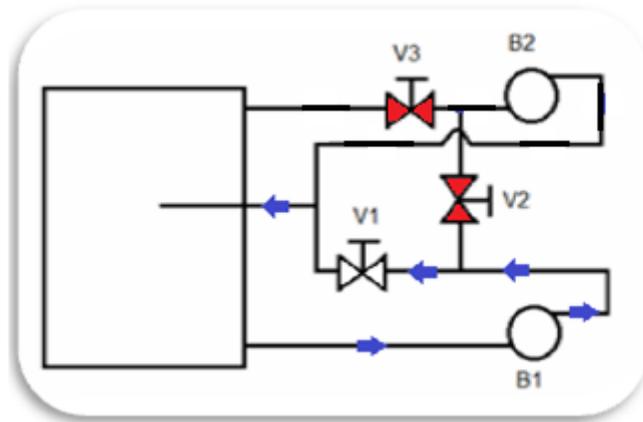
En primer lugar se debe de asegurar que el equipo e instrumentos a utilizar estén en buenas condiciones para su correcto desempeño. Se debe encender el equipo PBSPC y también el computador conectado a este.

En el ordenador se abrirá el programa ubicado en el escritorio "PBSPC", una vez abierto se presiona donde dice "START."

Con esto el equipo está preparado para operar, se debe de seleccionar el tipo de experimento en "Select experiment" donde se debe de seleccionar "characteristics of pump".



Al momento de seleccionar se debe de tener e ajustado el sistema de la siguiente manera.



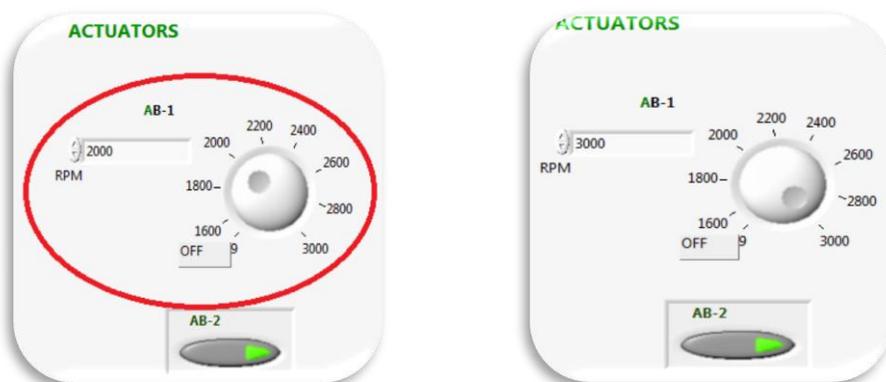
Se utiliza una bomba trabajando independiente con el siguiente orden:

V1: Abierta

V2: Cerrada

V3: Cerrada

Para realizar el ensayo se variaran las RPM se debe de tener abiertas las válvulas de globo sin variar, incrementar en forma gradual las rpm tomando mediciones desde el mínimo de rpm permitido, 1500 rpm, hasta el máximo, en este caso 3000 rpm.



Finalmente se tomaran las medidas para encontrar el punto de cavitación de la bomba, realizar los gráficos correspondientes, analizar resultados y crear conclusiones.

5.- RESULTADOS

General

Al final de la sesión, debe entregar un Informe

Simple > Realice un esquema simplificado del equipo.

