

# Laboratorio de Mecánica de Fluidos

## Impacto de un Chorro

### INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio del flujo de fluidos encontramos el impacto de un chorro sobre una superficie, base principal para el desarrollo de la teoría de turbomaquinas. Es mediante las turbomaquinas, que se realiza la realización de un trabajo a partir de la energía que trae un fluido, como también la aplicación de un trabajo a un fluido, para agregarle una energía mayor.

En el siguiente informe se realizara el estudio de dos situaciones sencillas, pero que dan una idea de cómo la energía que puede traer un fluido puede ser aprovechada para realizar un trabajo cualquiera, además de tener otros criterios como la eficiencia.

Por ello nos enfocaremos en determinar la fuerza de reacción que se genera por un impacto de chorro a una superficie, sea plana o semicircular.

### RESUMEN

La siguiente práctica tuvo como objetivo medir la fuerza producida por un chorro sobre una superficie plana y circular. Para ello se utilizo sobre el banco de pruebas un cilindro cerrado que contenía un sistema que sostenía la placa respectiva y una fuente de caudal de líquido. Realizando el procedimiento para distintos caudales, se pudo determinar distintos valores de fuerza y así obtener una función característica para el impacto de chorro a una placa plana, como también a una placa semicircular. En la

grafica se obtuvieron valores de 1,22 y 2,18, obteniéndose errores de 22% y 9% respectivamente por distintas causas como calibración del sistema y la medición de caudal real.

### OBJETIVOS

1. Medir experimentalmente la fuerza generada por un chorro, cuando este golpea una placa de forma conocida.
2. Calcular mediante la ecuación mediante la ecuación de movimiento lineal para un volumen de control, la fuerza generada por el chorro sobre la placa, y compararla con aquella medida experimentalmente.
3. Comprender la aplicación del principio, en las turbomáquinas.

### FUNDAMENTO TEORICO

Deducción del método gravimétrico:

Teniendo un banco de pruebas con un sistema de palanca, cuyo brazo derecho es tres veces mayor al brazo izquierdo.

Cuando no coloquemos pesa en el soportapesas y cargamos con un caudal  $Q$ , entonces tenemos:

$$\sum M_0 = 0 = -3m_s g + \gamma Q t_1$$
$$3m_s g = \gamma Q t_1$$

Cuando coloquemos pesa en el portapesas y con el mismo caudal Q:

$$\begin{aligned}\sum M_0 = 0 &= -3(m_s + m_p)g + \gamma Q t_2 \\ \sum M_0 = 0 &= -3(m_s + m_p)g + \gamma Q(t_2 + t_1 - t_1) \\ 3m_s g + m_p g &= \gamma Q t_1 + \gamma Q(t_2 - t_1)\end{aligned}$$

Sustituyendo la primera expresión en la segunda:

$$\begin{aligned}3m_p g &= \gamma Q(t_2 - t_1) \\ Q &= \frac{3m_p g}{\gamma(t_2 - t_1)} \\ Q &= \frac{3m_p}{\rho(t_2 - t_1)}\end{aligned}$$

La ecuación de momentum lineal del volumen de control:

$$F = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho v dV + \int_{SC} v \rho v dA$$

Si tenemos una placa plana, la cual se le aplica un chorro en forma perpendicular. Como el chorro posee velocidad inicial en Y

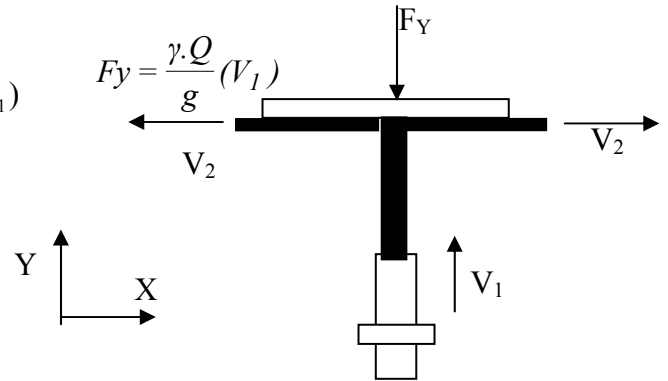
Y como posee salida en X, y no en

$$F_y = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (V_{2y} - V_{1y})$$

Y

$$F_y = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (0 - V_{1y})$$

Obtenemos, la fuerza en componente Y



$$F_y = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (V_1)$$

La velocidad  $V_1$  se puede expresar como una función de velocidad de salida de la boquilla  $V_0$ :

$$V_1^2 = V_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$$

es decir

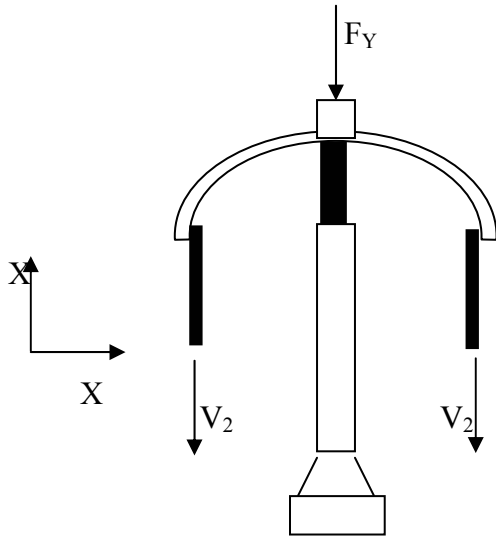
$$V_1 = \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot g \cdot h}$$

Las fuerzas actuantes, en función de la velocidad de salida de la boquilla son:

$$F_y = \frac{\gamma \cdot Q}{g} \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot g \cdot h}$$

Siendo  $h$ , la altura desde la salida de la boquilla, hasta la placa. La figura 2, muestra el volumen de control que incluye una placa semiesférica.

En el caso de una placa semicircular, se aplica la ecuación de momentum.



Sustituyendo según la figura se tiene:

$$F_y = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (-V_2 - V_1)$$

Bajo el supuesto que no hay pérdidas por fricción durante el recorrido por la placa, se debe cumplir que:

$$V_1 = V_2$$

$$F_y = 2 \cdot \frac{\gamma \cdot Q}{g} (V_1) \text{ Por lo tanto:}$$

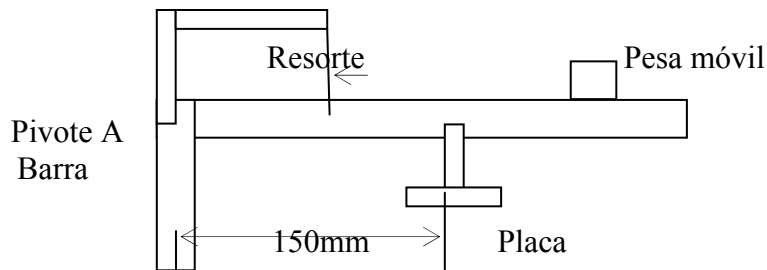
$$F_y = 2 \cdot \frac{\gamma \cdot Q}{g} \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot g \cdot h} \quad \text{La fuerza en función de la velocidad de salida de la boquilla es:}$$

$$F_y = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (V_{2y} - V_{1y})$$

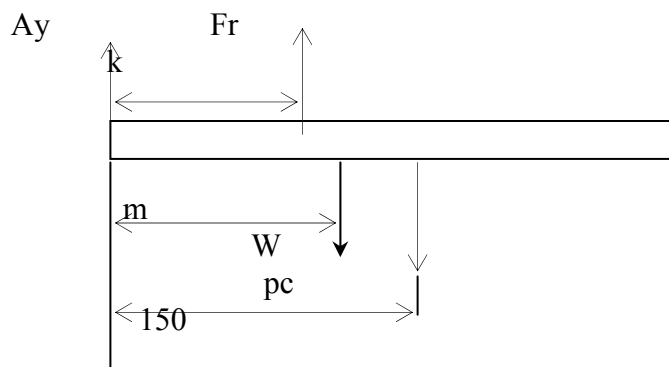
Aplicando la ecuación de cantidad de movimiento lineal según el sistema de referencia fijado, se tiene que:

Las fuerzas que se calculan, tanto para la placa plana como para la semi-esférica, son teóricas:

A continuación se deduce una relación para determinar la fuerza real sobre las placas, con la ayuda del conjunto mostrado en la figura.



La siguiente figura muestra un diagrama de cuerpo libre de la barra sin chorro:



Donde:

Fr: Fuerza del resorte sobre la barra.

Pc: Peso del conjunto barra- placa.

W: Peso de la "pesa corrediza"

Ay: Reacción en el pivote A.

La sumatoria de momento alrededor del punto A sería:

$$MA = m.Pc + 150.w - K.Fr = 0 \text{ ec(4)}$$

La figura muestra el diagrama de cuerpo libre de la barra, cuando el chorro actúe sobre la placa.

La sumatoria de momento alrededor del punto A sería:

$$MA = m.Pc + (150 + x).w - K.Fr = 0$$

Ordenando de otra forma sería:

$$m.Pc + 150.w - K.Fr = 150.Fy - .w$$

si se compara con (4) se obtiene:

$$150.Fy - x.w = 0 \text{ por lo tanto}$$

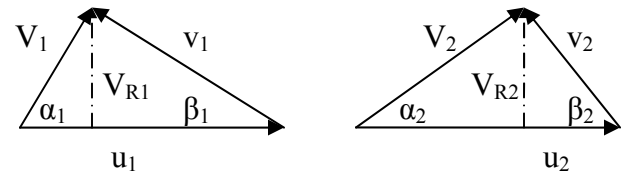
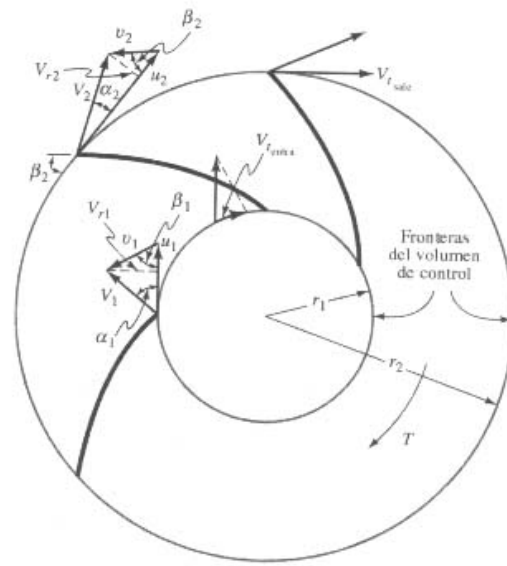
$$Fy = x.w/150.$$

Como la constante esta expresada en mm, la posición de la pesa con respecto al punto de referencia (x), debe expresarse en las mismas unidades, de tal manera que las unidades de las fuerzas (Fy), corresponderán con las de la pesa corrediza.

Alabes fijos: Superficies de cualquier material, generalmente metálicos que reciben el impacto en distinto ángulo de una corriente de fluido (liquido o gaseoso) y este, cambia su cantidad de movimiento generándose una fuerza de reacción. La superficie no cambia de posición relativa.

Alabes móviles: Poseen semejantes características a los alabes fijos con la diferencia que, al recibir un flujo con una cantidad de movimiento, los alabes adquieren un movimiento, el cual puede transmitirse transformándose esta energía a causa del cambio de cantidad de movimiento.

Turbomáquinas: Se encargan de hacer o extraer trabajo de un fluido en forma continua haciendo pasar el fluido por una serie de alabes móviles (o posiblemente móviles).



Diagramas de triángulo de turbomáquina: de entrada (1), de salida (2)

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En primer lugar, se debe nivelar el equipo, ayudándose de las patas roscadas del mismo.

A continuación, se nivela la barra horizontal, con la ayuda del resorte y la galga cilíndrica, con la pesa en la posición cero.

Posteriormente se abre al máximo la válvula del banco de prueba, y se centra el chorro por medio de los tornillos instalado a tal fin, de tal manera que este incida perpendicularmente a las placas.

Con el máximo caudal disponible, se desplaza la pesa corrediza, hasta que la barra se encuentre nivelada, según la galga cilíndrica. Se toma lectura del desplazamiento de la pesa, del peso utilizado para el método gravimétrico, y del tiempo empleado en el mismo.

Utilizando la válvula del banco de pruebas, se regula el caudal de tal manera que se obtenga 10 lecturas para cada tipo de placas, siempre con caudales decrecientes.

## DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

### 1. Banco de prueba:

Estación de trabajo por medio se realiza se realiza el experimento, además de impactar las placas se realiza la medición del caudal real.

### 2. Una placa semicircular circular:

Se utiliza en la segunda parte del experimento, superficie donde va a ser impactada el chorro.

### 3. Una placa plana:

Se utiliza para que le sea impactado el chorro.

### 4. Una pesa:

Por medio de esta pesa, se buscara balancear la fuerza por el impacto de chorro.

### 5. Un cronometro:

Necesario para realizar la medición del caudal real.

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se conocen los siguientes datos:

$$m_p = 2,5 \text{Kg}$$

$$\rho = 1000 \text{Kg/m}^3$$

$$h = 0,035 \text{m}$$

$$m_{\text{MOVIL}} = 0,6 \text{Kg}$$

$$A_{\text{CHORRO}} = 7,85 \cdot 10^{-05} \text{m}^2$$

Para el primer caudal:

En la placa plana:

Lo calculamos utilizando el método gravimétrico, adaptado al banco de pruebas del Laboratorio:

$$Q = \frac{3m_p}{\rho(t_2 - t_1)}$$

$$Q = \frac{2,5 \text{Kg}}{1000 \text{Kg/m}^3 (22,66 \text{s} - 9,96 \text{s})}$$

$$Q = 5,91 \cdot 10^{-04} \text{m}^3 / \text{s}$$

Para calcular la fuerza teórica sobre la placa plana:

$$F_y = \frac{9800 \text{N/m}^3 \cdot 5,91 \cdot 10^{-04}}{9,8 \text{m/s}^2} \sqrt{\left(\frac{5,91 \cdot 10^{-04} \text{m}^3 / \text{s}}{7,85 \cdot 10^{-05}}\right)^2 - 2 \cdot 9,8 \text{m/s}^2 \cdot 0,035 \text{m}}$$
$$F_y = 4,41 \text{N}$$

Para calcular la fuerza real sobre la placa plana:

$$F_y = \frac{0,119 \text{m} \cdot 0,6 \text{Kg} \cdot 9,8 \text{m/s}^2}{0,150 \text{m}}$$

$$F_y = 4,66 \text{N}$$

En la placa semicircular:

Lo calculamos utilizando el método gravimétrico, adaptado al banco de pruebas del Laboratorio:

$$Q = \frac{3m_p}{\rho(t_2 - t_1)}$$

$$Q = \frac{2,5 \text{Kg}}{1000 \text{Kg/m}^3 (27,41 \text{s} - 11,42 \text{s})}$$

$$Q = 4,72 \cdot 10^{-04} \text{m}^3 / \text{s}$$

Para calcular la fuerza teórica sobre la placa plana:

$$F_y = n \frac{9800 \text{N/m}^3 \cdot 4,72 \cdot 10^{-04}}{9,8 \text{m/s}^2} \sqrt{\left(\frac{4,72 \cdot 10^{-04} \text{m}^3 / \text{s}}{7,85 \cdot 10^{-05}}\right)^2 - 2 \cdot 9,8 \text{m/s}^2 \cdot 0,035 \text{m}}$$
$$F_y = n \cdot 2,81 \text{N}$$

El valor de n es dos teóricamente, en la grafica se confirmara esta aseveración.

Para calcular la fuerza real sobre la placa plana:

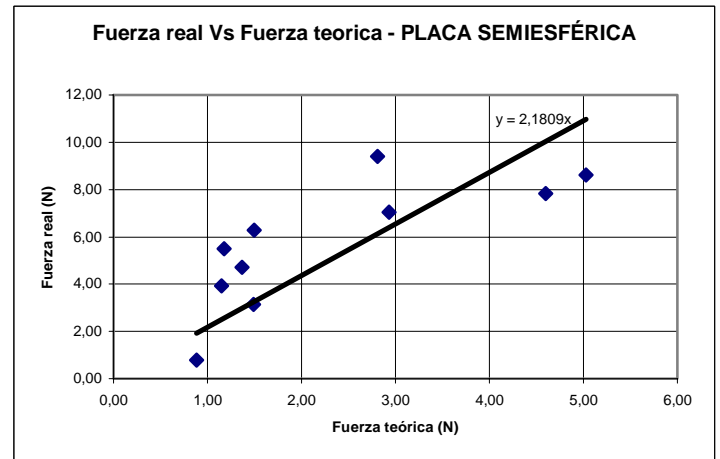
$$F_y = \frac{0,24 \text{m} \cdot 0,6 \text{Kg} \cdot 9,8 \text{m/s}^2}{0,150 \text{m}}$$

$$F_y = 9,41 \text{N}$$

Para los demás resultados, se muestran en la siguiente tabla:

Resultados para la placa plana:

| N  | X(m)  | t <sub>0</sub> (s) | t <sub>F</sub> (s) | Q(m <sup>3</sup> /s) | F <sub>T</sub> (N) | F <sub>R</sub> (N) |
|----|-------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1  | 0,119 | 9,96               | 22,66              | 5,91E-04             | 4,41               | 4,66               |
| 2  | 0,11  | 9,98               | 23,91              | 5,38E-04             | 3,66               | 4,31               |
| 3  | 0,1   | 12,91              | 26,74              | 5,42E-04             | 3,72               | 3,92               |
| 4  | 0,09  | 10,51              | 29,17              | 4,02E-04             | 2,03               | 3,53               |
| 5  | 0,08  | 12,02              | 34,32              | 3,36E-04             | 1,41               | 3,14               |
| 6  | 0,07  | 14,35              | 33,45              | 3,93E-04             | 1,94               | 2,74               |
| 7  | 0,06  | 15,46              | 35,81              | 3,69E-04             | 1,70               | 2,35               |
| 8  | 0,05  | 16,32              | 37,64              | 3,52E-04             | 1,55               | 1,96               |
| 9  | 0,04  | 19,27              | 43,14              | 3,14E-04             | 1,23               | 1,57               |
| 10 | 0,03  | 23,04              | 67,3               | 1,69E-04             | 0,34               | 1,18               |



Resultados para la placa semicircular:

| n  | x(m) | t <sub>0</sub> (s) | t <sub>F</sub> (s) | Q(m <sup>3</sup> /s) | F <sub>T</sub> (N) | F <sub>T</sub> (N)<br>* | F <sub>R</sub> (N) |
|----|------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| 1  | 0,24 | 11,42              | 27,31              | 4,72E-04             | 2,81               | 5,62                    | 9,41               |
| 2  | 0,22 | 16,16              | 28,06              | 6,30E-04             | 5,03               | 10,06                   | 8,62               |
| 3  | 0,2  | 19,65              | 32,09              | 6,03E-04             | 4,60               | 9,20                    | 7,84               |
| 4  | 0,18 | 14,88              | 30,44              | 4,82E-04             | 2,93               | 5,86                    | 7,06               |
| 5  | 0,16 | 14,34              | 36                 | 3,46E-04             | 1,50               | 3,00                    | 6,27               |
| 6  | 0,14 | 16,02              | 40,43              | 3,07E-04             | 1,17               | 2,35                    | 5,49               |
| 7  | 0,12 | 18,74              | 41,4               | 3,31E-04             | 1,37               | 2,74                    | 4,70               |
| 8  | 0,1  | 19,34              | 43,99              | 3,04E-04             | 1,15               | 2,30                    | 3,92               |
| 9  | 0,08 | 31,59              | 53,33              | 3,45E-04             | 1,49               | 2,98                    | 3,14               |
| 10 | 0,02 | 34,53              | 62,55              | 2,68E-04             | 0,88               | 1,77                    | 0,78               |

## ANALISIS DE RESULTADOS

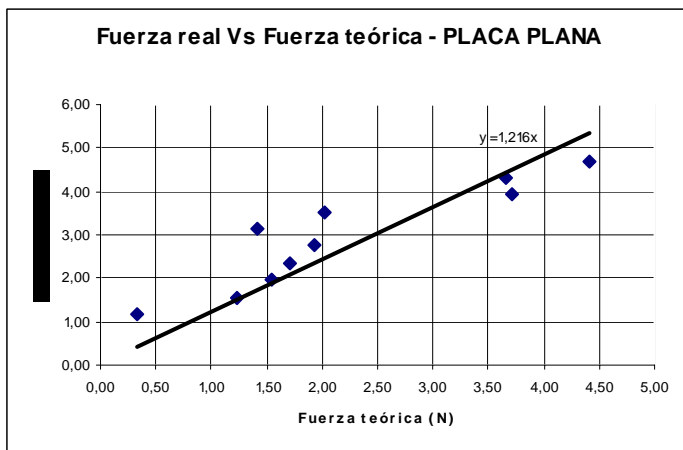
Para la placa plana se obtuvo distintos valores de fuerza, que comparados con los valores teóricos, calculados por Berboulli, observamos que existe un factor de correspondencia de 1,22%, mostrando una diferencia de 22% con el valor teórico. Esto se debe a que estamos despreciando las pérdidas de energía en el proceso, pues el fluido se mueve verticalmente, el esfuerzo cortante que genera la superficie, el método de medición de caudal, como también el movimiento oscilante que tenía el soporte de la superficie.

\* Valores teóricos verdaderos

Los valores calculados a la izquierda no fue multiplicado por dos, para efectos de la grafica.

Mientras que en la placa semicircular se obtuvo un factor de correspondencia de 2,18%, mostrando un error porcentual de 9% con el valor teórico de 9%. Es interesante que en esta superficie el error sea menor que el anterior, pues esta superficie tenía mejores características que la anterior, la anterior tenía un leve pandeo. Igualmente para la diferencia influye las pérdidas de energía, causadas por el método de medición de caudal, como también por el esfuerzo cortante que genera la superficie.

A continuación se muestran las graficas respectivas:



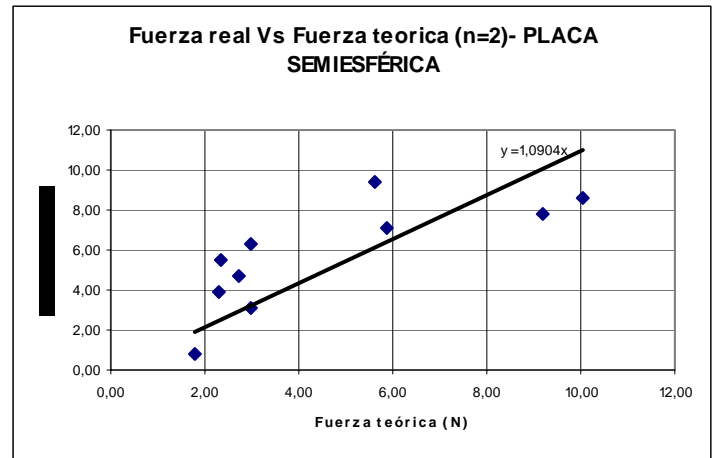
## CONCLUSIONES

Se concluye que se logró medir experimentalmente la fuerza que genera un chorro sobre una superficie conocida, en estos casos fueron, la superficie plana y la superficie semicircular, para ello se dedujo una expresión, a partir de sumatoria de momentos sobre el soporte de la placa respectiva y utilizando un contrapeso para crear equilibrio.

## APÉNDICES O ANEXOS

Igualmente se obtuvo los valores teóricos para cada situación, tomando como referencia el caudal real, mediante método gravimétrico. Al realizar la comparación se obtienen valores de correspondencia de 1,22 y 2,18 para la placa plana y la placa semicircular respectivamente, cuando los valores teóricos deberían ser 1 y 2. Obteniéndose así errores de 22% y 9%. Esto se debe principalmente al despreciamiento de las pérdidas, las características de la superficie y el método de medición utilizado.

El estudio de la fuerza generada por un impacto de chorro sobre una superficie nos permite entender el fundamento del funcionamiento de las turbomaquinas que poseen una gran cantidad de alabes con una configuración mucho mas compleja, que la estudiada en esta experiencia.



Observe la correspondencia de los valores.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar ajustes en el sistema de desagüe del banco de pruebas. Esto es determinante para obtener valores de caudal creíbles.
2. Tener un sistema de comprobación de balance de fuerzas mucho mas completo.
3. Sustituir la placa plana por una nueva, cuando se realizo la experiencia la placa plana estaba algo pandeada. Observe que el valor del error porcentual fue mayor en este inciso.

## FUENTES CONSULTADAS

STREETER, Victor; WYLIE, E. Benjamín;  
BEDFORD, Keith W. Mecánica de Fluidos. Mc  
Graw Hill. Novena Edicion. 2000.

ZARATE, Jaime. Guía de laboratorio de  
Fluidos, IUPEG 1989