

IMPACTO DE UN CHORRO

I.1.OBJETIVO

- Aplicar las ecuaciones de conservación de la masa y cantidad de movimiento para calcular la fuerza de impacto de un chorro sobre una placa.
- Establecer la relación entre la fuerza generada por un chorro y la velocidad de impacto.
- Comparar la fuerza generada por un chorro cambiando la superficie de impacto.
- Encontrar la constante del sistema comparando los datos experimentales y teóricos.

I.2.EQUIPO

TecQuipment H8 Impacto de chorro, Banco hidráulico H1D, cronometro.



Fuente: Propia

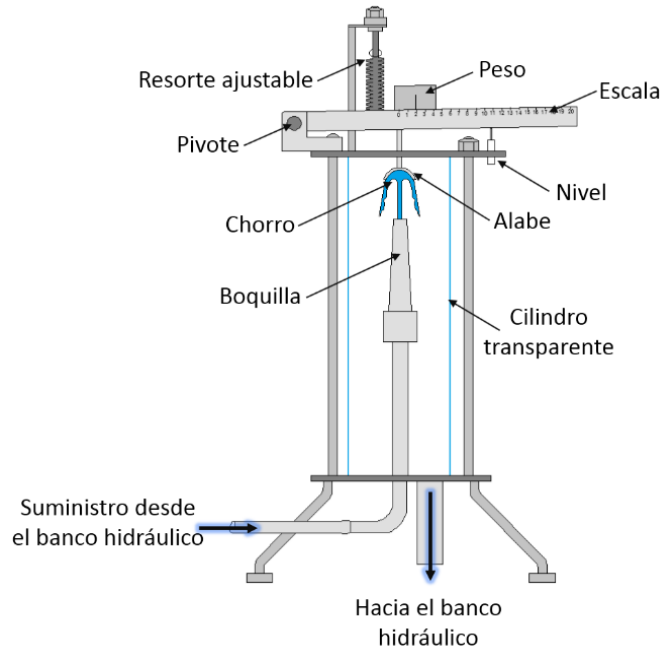
Fig. 1 Montaje experimental impacto de chorro

I.1.INTRODUCCIÓN

Las turbinas de agua son ampliamente utilizadas para generar energía; en el tipo de turbina conocida como rueda Pelton uno o más chorros de agua son dirigidos tangencialmente sobre los álabes o cucharas que están fijas al borde del disco de la turbina. El impacto del agua sobre las paletas genera un torque en la rueda que causa que esta gire y se desarrolle potencia. Aunque el concepto es simple, tales turbinas son capaces de generar rendimientos considerables con altas eficiencias. Potencias que superan los 100MW y eficiencias hidráulicas mayores de 95% no son raras. Se debe anotar que la rueda Pelton es aconsejada para condiciones donde la altura disponible de agua es grande y la tasa de flujo es comparativamente pequeña. Por ejemplo, con una carga de 100m y una tasa de flujo de $1\text{m}^3/\text{s}$ una rueda Pelton rodando a unas 205rpm podría ser utilizada para desarrollar unos 900kW de potencia. La misma potencia de agua estaría disponible si la carga fuera de solo 10m y el flujo de $10\text{m}^3/\text{s}$, pero se necesitaría un tipo diferente de turbina.

Para estimar el rendimiento de una rueda Pelton y determinar su velocidad óptima de rotación, es necesario comprender cómo la deflexión del chorro genera una fuerza sobre los álabes, y cómo esta fuerza está relacionada con la tasa del momento de flujo en el chorro (UIS, 2012, p1). En este experimento se mide la fuerza generada por un chorro de agua que golpea una placa plana y una placa hemisférica, y se comparan los resultados con la tasa de momento calculada en el chorro (Reynoso, 2010, p2).

I.2.DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE



Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics"
Fig. 1 Disposición del aparato

En la Fig. 1 se muestra la disposición del montaje en la cual el agua suministrada por el banco hidráulico entra en un tubo vertical que termina en una boquilla estrecha. Esto produce un chorro de agua el cual incide en un álabe en forma de una placa plana o una hemisférica.

El álabe y la boquilla están contenidos dentro de un cilindro transparente, y en la base del cilindro hay una salida para medir el caudal en el tanque de medida (tanque volumétrico). Como se indica en la Fig. 1 el álabe está sostenido por una palanca la cual lleva un peso. Cualquier fuerza generada por el impacto de un chorro sobre el álabe se puede medir moviendo el peso a lo largo de la palanca (Markland, 1994).

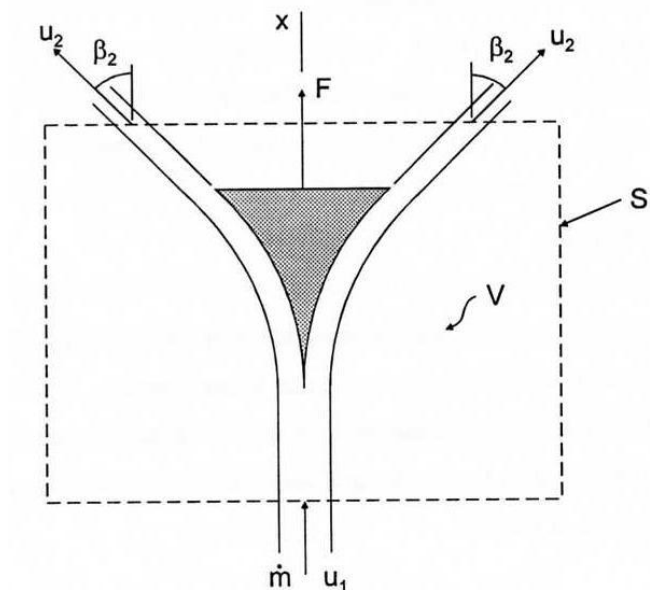
I.3.MARCO TEÓRICO

La ecuación de cantidad de movimiento aplicada a un volumen de control fijo en el espacio está dada por:

$$\frac{d}{dt} \int_{VC} \rho v dV + \int_{dVC} \rho v (vn) dA = \sum F$$

Para un problema de flujo permanente (estacionario) el primer término de la ecuación es cero. Por otra parte, para el caso de fronteras constantes, la ecuación se reduce a:

$$-\sum \dot{m}_{in} v_{in} + \sum \dot{m}_{out} v_{out} = \sum F$$



Fuente: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics"
Fig. 2 Esquema de un chorro incidiendo en un álabe

Notando la tasa de flujo de masa en el chorro como $\dot{m}$ e imaginando un volumen de control V limitado por una superficie de control S la cual encierra el álabe como se muestra en la Fig. 2; la velocidad con la cual el chorro entra en el volumen de control es u_1 en la dirección x , el chorro es desviado por su impacto sobre el álabe dejando la superficie de control con una velocidad u_2 con un ángulo de inclinación β_2 en la dirección x . La presión sobre toda la superficie del chorro con omisión de la parte donde fluye sobre la superficie del álabe es la atmosférica. Por consiguiente, despreciando el efecto de la gravedad, el cambio en la dirección del chorro es debido únicamente a la fuerza generada por los esfuerzos de presión y corte en la superficie del álabe (Markland, 1994). Si esta fuerza sobre el chorro en la dirección x es notada por F_j , la ecuación de momentum en la dirección x es:

$$F_j = \dot{m} (u_2 \cos \beta_2 - u_1)$$

La fuerza F sobre el álabe es igual y opuesta a esta, es decir:

$$F = \dot{m} (u_1 - u_2 \cos \beta_2)$$

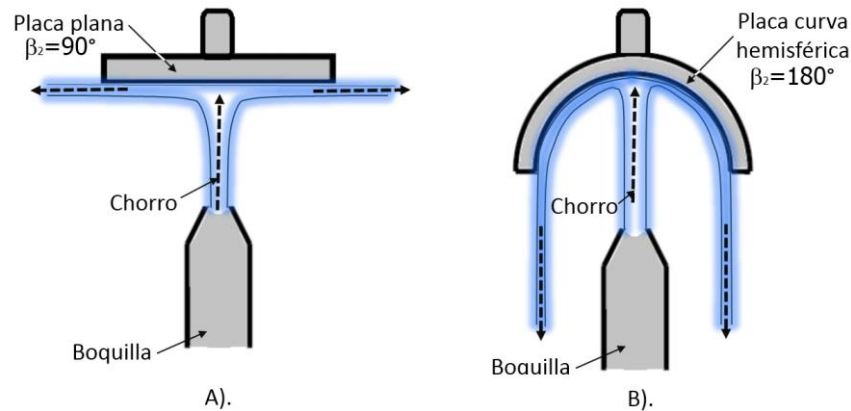
Para el caso de la placa plana $\beta_2 = 90^\circ$ así que $\cos \theta \cdot \beta_2 = 0$, por tanto,

$$F = \dot{m} u_1$$

Que corresponde a la fuerza sobre la palca plana independientemente del valor de u_2 .

Para el caso de la placa hemisférica se asume que $\beta_2 = 180^\circ$ así que $\cos \theta \cdot \beta_2 = 1$, y

$$F = \dot{m} (u_1 + u_2)$$



Fuente: Propia

Fig. 3 Esquema de un chorro en diferentes placas o alabes

Si se desprecian el efecto del cambio de elevación sobre la velocidad del chorro y las pérdidas de velocidad debido a la fricción sobre la superficie del álabe, entonces $u_1 = u_1$, por tanto:

$$F = 2\dot{m} u_1$$

que es el valor máximo posible de la fuerza sobre la placa hemisférica, esto corresponde a dos veces la fuerza sobre la placa plana (Markland, 1994).

Volviendo a la Fig. 2, la tasa con la cual el momentum entra al volumen de control es $\dot{m} u_1$. Esto se puede pensar como una tasa de flujo del momento en el chorro y denotarlo por el símbolo J , donde

$$J = \dot{m} u_1$$

Para la placa plana por consiguiente se tiene que:

$$F = J$$

Y para la taza hemisférica el valor máximo posible de la fuerza es:

$$F = 2J$$

En el SI de las unidades de $\dot{m}$ y u son:

$$\dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right] \quad y \quad u \left[\frac{m}{s} \right]$$

I.4.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El aparato debe ser primero nivelado y el peso llevado a la posición cero. Se deben anotar los pesos y las siguientes dimensiones: diámetro de la boquilla, altura del álabe sobre la punta de la boquilla cuando la palanca está balanceada, distancia del pivote de la palanca al centro del álabe, masa del peso de prueba.

Se suministra el agua del banco incrementando la tasa de flujo al máximo. La fuerza sobre el álabe desplaza la palanca la cual se lleva a su posición de balance desplazando el peso a lo largo de la palanca. La tasa de flujo se establece recolectando agua en un intervalo de tiempo determinado. Otras mediciones se realizan reduciendo la tasa de flujo.

El experimento se debe realizar dos veces, primero con la placa plana y luego con la placa semiesférica.

Consigne los datos en la siguiente tabla para cada superficie de prueba:

<i>Medida</i>	Volumen (L)	Tiempo (s)	Distancia (mm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

I.5.CUESTIONES DE DISCUSIÓN

1. Determine la expresión para la velocidad del chorro inmediatamente antes de que este impacte la superficie haciendo uso de la expresión de Bernoulli y el principio de conservación de la masa.
2. Determine la ecuación para la fuerza del chorro sobre la superficie como función de la posición de la masa de prueba; para esto realice sumatoria de fuerzas y de momentos al sistema de medida.
3. La tabla de datos anterior completarla con la siguiente información:

<i>Medida</i>	<i>Volumen (L)</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Distancia (mm)</i>	<i>Caudal (L/s)</i>	<i>Flujo Másico (Kg/s)</i>	<i>U_1 (m/s)</i>	<i>U_2 (m/s)</i>	<i>Fchorro (N)</i>
1								
2								
3								
4								
5								
6								

4. Graficar la fuerza de impacto contra el caudal. En la misma gráfica las curvas de fuerza experimental y teórica para ambas placas (plana y curva).
5. Analice y concluya sobre la gráfica realizada.
6. Determine el porcentaje de error de las lecturas de fuerza tomadas y el valor teórico de la fuerza
7. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el aparato?
8. ¿Cuál sería el efecto sobre el valor calculado de la eficiencia del álabe a partir de los siguientes errores sistemáticos de medida?:

La masa del peso en error de 0.001 kg.

La distancia L del centro del alabe al pivote de la palanca en error de 1 mm.

El diámetro del chorro del agua saliendo de la boquilla en error de 0.1 mm

9. Se ha asumido que la velocidad en el chorro es uniforme sobre su sección transversal. ¿cómo se vería afectado el momento de flujo en el chorro si esto no fuera así? Considere por ejemplo un chorro de sección transversal A en el cual la velocidad es $0.5u_1$ sobre la mitad del área y $1.54u_1$ sobre la otra mitad. La tasa de flujo de masa es la misma como si la velocidad fuera u_1 sobre la totalidad, es decir

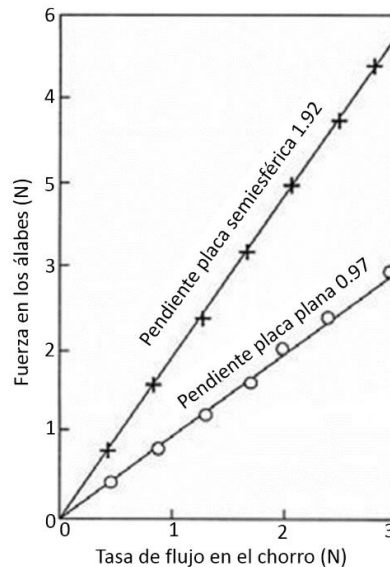
$$\dot{m} = \rho u_1 A$$

Demuestre que la tasa del momento de flujo en el choro es

$$J = 1.25 \dot{m} u_1$$

es decir un 25% mayor que si la velocidad fuera uniforme sobre el chorro.

10. ¿Cuál sería el efecto sobre la fuerza calculada en la placa plana, si el chorro no golpeará la placa completamente horizontal sino con una inclinación en un ángulo de 1° ?
11. Si el experimento se repitiera con el alabe en forma de cono con un ángulo de 60° ¿cómo sería la gráfica de tasa de flujo vs fuerza en el álabe?



Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics"
Fig. 4 Fuerza en los alabes en función de la tasa de flujo

I.6.BIBLIOGRAFÍA

Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics" by Emeritus Professor E. Markland, Published by TecQuipment Limited, 1994.

Impacto de chorro y turbina Pelton, practica no. 5 – Primera parte, Universidad industrial de Santander, (2012), Recuperado de: http://tic.uis.edu.co/ava/pluginfile.php/174780/mod_resource/content/1/5. Impacto de chorro GUIA.pdf, Fecha de recuperación: 20 de julio de 2014.

Reynoso M., (2010) MANUAL PARA LOS ENSAYOS DE VISCOSIDAD, CENTROS DE PRESIÓN, LÍNEAS DE CORRIENTE E IMPACTO DE UN CHORRO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3152_C.pdf, Fecha de recuperación: 20 de julio de 2014.