

# UTN – LA PLATA

DTO. INGENIERIA MECANICA

Practica Supervisada



*Dispositivo para medir la velocidad de un chorro.*

Alumno: Miguel Angel, Mangué Obando  
Docente Tutor: Juan José, Muriel

AÑO 2019

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVO PARTICULAR.....	3
MARCO DE REFERENCIA.....	3
La segunda Ley de Newton .....	4
El principio de conservación de la cantidad de movimiento .....	4
La ecuación de continuidad.....	4
El teorema del transporte de Reynolds .....	4
SISTEMAS CERRADOS Y SISTEMAS ABIERTOS .....	4
ELECCION DEL VOLUMEN DE CONTROL.....	6
FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UN VOLUMEN DE CONTROL.....	6
LA ECUACION DEL MOMENTO LINEAL.....	7
EL TEOREMA DEL TRANSPORTE DE REYNOLDS.....	8
FACTOR DE CORRECCION DEL FLUJO DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.....	8
FLUJOS LAMINAR Y TURBULENTO.....	10
NUMERO DE REYNOLDS.....	10
FLUJO ESTACIONARIO .....	11
FLUJO ESTACIONARIO CON UNA ENTRADA Y UNA SALIDA.....	12
CHORRO FLUIDO QUE CHOCA CONTRA UNA PLACA EN REPOSO.....	13
DISPOSITIVO EXPERIMENTAL .....	14
SIMBOLOGIA y UNIDADES.....	17
ENSAYO DE LA BALANZA (LABORATORIO)???	17
DATOS DEL ENSAYO: .....	17
DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL CHORRO.....	18
ECUACIONES EMPLEADAS.....	19
DATOS DEL ENSAYO .....	20
CONCLUSIONES .....	23
BIBLIOGRAFIA:.....	23
AGRADECIMIENTOS: .....	23

# **DISPOSITIVO PARA MEDIR IMPULSO Y VELOCIDAD DE UN CHORRO**

## **INTRODUCCIÓN**

El presente estudio trata sobre la posibilidad de medir indirectamente la velocidad de un chorro de fluido, aplicando el concepto de impulso y cantidad de movimiento.

La mayoría de los problemas de ingeniería, en particular los relacionados con el flujo de fluidos, pueden analizarse con la aplicación de uno de tres procedimientos básicos: los diferenciales, los experimentales y los de volumen de control.

En los procedimientos diferenciales, el problema se formula con exactitud con el uso de cantidades diferenciales, pero la resolución de las ecuaciones diferenciales resultantes es difícil, por lo general se necesita usar métodos numéricos con extensos programas de computadora.

Los procedimientos experimentales complementados con análisis dimensional son sumamente exactos, pero demasiado complicados y tediosos.

El procedimiento del volumen finito de control descrito en este informe es notablemente rápido y sencillo y suele dar respuestas bastante exactas para la mayoría de los propósitos de ingeniería. Pese a las aproximaciones con las que se relaciona, el análisis básico del volumen finito de control siempre ha sido un recurso indispensable para los ingenieros.

## **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la posibilidad de uso de un dispositivo de Impacto de chorro (Jet Impingement) construido en el laboratorio de combustibles a cargo del ing. Juan J. Muriel, para realizar ensayos de laboratorio relacionado con Impulso y cantidad de movimiento en chorro de fluidos.

## **OBJETIVO PARTICULAR**

Se pretende verificar la posibilidad de medir indirectamente la velocidad del chorro y redactar una guía de trabajos prácticos para su aplicación con fines académicos.

## **MARCO DE REFERENCIA**

El marco de referencia sobre el que basamos el análisis considera la segunda ley de Newton, el Principio de Conservación de la cantidad del movimiento, la ecuación de Continuidad y el Teorema del transporte de Reynolds.

## La segunda Ley de Newton

Expresa que la aceleración que experimenta un cuerpo es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él y es inversamente proporcional a su masa.

Para un cuerpo rígido de masa  $m$ , la segunda Ley de Newton se expresa como:

$$F = ma = m \frac{dV}{dt} = \frac{d(mV)}{dt}$$

Donde “ $F$ ” es la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo y “ $a$ ” es la aceleración de ese cuerpo bajo la influencia de “ $F$ ”.

El producto de la masa y de la velocidad de un cuerpo “ $mV$ ” se llama momento lineal o cantidad de movimiento de ese cuerpo.

El enunciado original de la segunda Ley de Newton establece que: La razón de cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta que actúa sobre él.

Este enunciado es más apropiado para usarse en la mecánica de fluidos cuando se estudian las fuerzas generadas como resultado de los cambios de velocidad de los flujos de fluidos.

Por lo tanto, suele hacerse referencia a la segunda Ley de Newton como la ecuación del momento lineal.

## El principio de conservación de la cantidad de movimiento

Establece que su valor para un sistema se mantiene constante cuando la fuerza neta que actúa sobre él es cero.

Este principio es muy útil cuando se analizan distintos casos que involucren colisiones como las que se tienen entre pelotas y raquetas, entre moléculas. etc.;

Recordemos que al igual que la fuerza y la velocidad, la cantidad de movimiento es una magnitud vectorial y como tal tiene magnitud, dirección sentido y punto de aplicación.

## La ecuación de continuidad

Aplicada a mecánica de los fluidos establece la relación existente entre la velocidad de circulación, la sección de flujo y el caudal del fluido.

## El teorema del transporte de Reynolds

Nos proporciona la relación existente entre las razones de cambio respecto del tiempo de una propiedad extensiva para un sistema cerrado y un sistema abierto respectivamente.

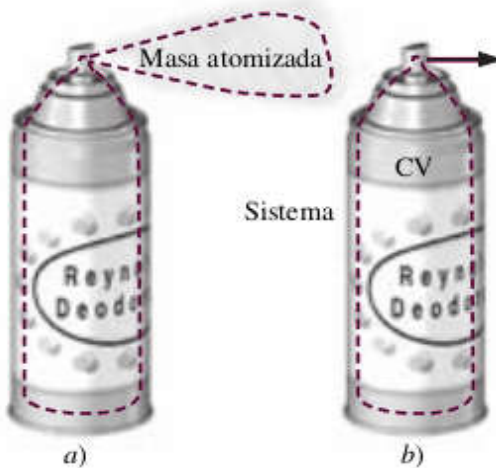
## SISTEMAS CERRADOS Y SISTEMAS ABIERTOS

Con frecuencia, en Termodinámica y en Mecánica del Sólido, se trabaja con Sistemas cerrados, el cual se define y caracteriza por contener una cantidad de materia de masa fija.

En Mecánica de Fluidos es más común que se trabaje con un volumen de control (también conocido como un sistema abierto), el cual se define como una región en el espacio elegida para su estudio.

El tamaño y la forma de un sistema cerrado pueden cambiar durante un proceso, pero nada de masa cruza sus límites. Por el contrario, en un volumen de control (sistema abierto) se permite que la masa, entre o salga a través de sus límites, los cuales se conocen como superficies de control. Un volumen de control también puede moverse y deformarse durante un proceso, pero numerosas aplicaciones del mundo real se relacionan con volúmenes de control, fijos e indeformables.

En la figura 1 se ilustra un sistema cerrado y un volumen de control para un aerosol que se rocía desde un recipiente. El sistema cerrado representado en la figura "a" considera toda la masa de fluido y el volumen de control representado en "b" al volumen limitado por las superficies interiores de la lata.



**Figura 1 – Representación a)- sistema cerrado. b)- volumen de control.**

Estas dos selecciones son idénticas antes de atomizar el desodorante. Pero cuando se descarga algo del contenido del recipiente, en el enfoque de sistema cerrado, se considera la masa descargada como parte de ese sistema y se le sigue el rastro (la masa del sistema permanece constante)

Desde el punto de vista conceptual, esto equivale a sujetar un globo sin inflar a la boquilla de la lata y dejar que el fluido atomizado lo infle. La superficie interior del globo ahora se convierte en parte del límite del sistema.

En el enfoque de volumen de control (sistema abierto) no se tiene interés en lo absoluto acerca del fluido que ha escapado de la lata (otro interés que no sea el de sus propiedades a la salida)

La masa encerrada en el volumen de control disminuye durante este proceso, en tanto que el volumen permanece constante.

Resumiendo, en el enfoque de sistema cerrado, se trata el proceso de atomización como una expansión del volumen del propio sistema, en tanto que en el de volumen de control se le considera como una descarga de fluido a través de la superficie de control de ese volumen que se considera fijo.

## ELECCION DEL VOLUMEN DE CONTROL

Un volumen de control puede seleccionarse como cualquier región arbitraria en el espacio por la cual el fluido se desplaza y su superficie limitante de control puede estar fija, en movimiento e inclusive deformándose en el curso del flujo.

La aplicación de una ley de conservación es sencillamente un procedimiento sistemático de contabilizar o tomar en cuenta la cantidad que se esté considerando y, por lo tanto, es en extremo importante que las fronteras del volumen de control estén definidas adecuadamente en el desarrollo del análisis.

Muchos sistemas de flujo incluyen accesorios en reposo, fijos a una superficie también estacionaria y la mejor manera de analizarlos es con el empleo de volúmenes fijos de control. Por ejemplo, cuando se determina la fuerza de reacción que actúa sobre un trípode que sostiene la boquilla de una manguera contra incendios (Figura 2), una selección natural del volumen de control es aquel que pasa perpendicularmente por el flujo de salida de esa boquilla y las patas del trípode.

Este es un volumen de control fijo y la velocidad del agua en relación con un punto fijo sobre el suelo es igual a la velocidad del agua en relación con el plano de salida de la boquilla.

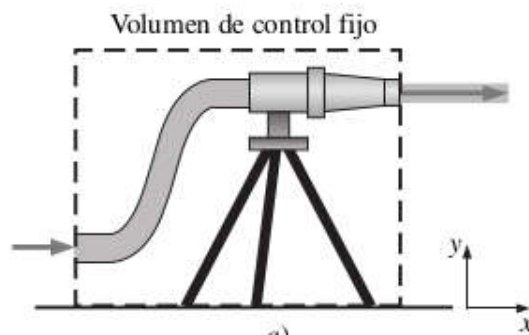


Figura 2 – Caso de Volumen fijo de control - Trípode que sostiene manguera de incendio.

Cuando se analizan sistemas de flujo que están en movimiento o deformándose, es más conveniente dejar que el volumen de control se mueva o se deforme. Por ejemplo, en la determinación del empuje producido por el motor de propulsión de un avión en vuelo de crucero a velocidad constante, una elección adecuada del volumen de control, es uno que encierra al avión y corta pasando por el plano de salida de la tobera.

## FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UN VOLUMEN DE CONTROL

Es importante considerar todas las fuerzas que actúan sobre el volumen de control, tanto aquellas que actúan sobre todo el cuerpo encerrado en ese volumen (como la fuerza de gravedad, eléctrica y magnética), y las fuerzas superficiales, que

actúan sobre la superficie de control (como la fuerza de presión, la viscosa, así como las fuerzas de reacción en los puntos de contacto).

En el análisis del volumen de control, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el volumen de control en un instante en particular, se representa por  $\vec{F}$  y se expresa como:

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{cuerpo} + \sum \vec{F}_{superficial}$$

## LA ECUACION DEL MOMENTO LINEAL

La segunda Ley de Newton para un sistema de masa  $m$  sometido a una fuerza neta  $F$  se expresa como:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt} (m\vec{V})$$

Dónde “ $mV$ ” es el momento lineal del sistema.

Considerando que, tanto la densidad como la velocidad pueden cambiar de punto a punto dentro del sistema, la segunda Ley de Newton se puede expresar de manera más general como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{sist} \rho \vec{V} dV$$

Dónde:

- $dm = \rho dV$  es la masa del elemento diferencial de volumen  $dV$ .
- $\rho V dV$  es su cantidad de movimiento.

Por lo tanto, la segunda Ley de Newton puede enunciarse como la suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un sistema es igual a la razón de cambio respecto al tiempo del momento lineal de ese sistema. Este enunciado es válido para un sistema de coordenadas que esté en reposo o se mueva con velocidad constante, conocido como sistema inercial de coordenadas o marco inercial de referencia.

Los sistemas en aceleración, como los aviones durante el despegue, se analizan de mejor manera con el uso de sistemas no-inerciales (o en aceleración) de coordenadas, fijos al avión.

La ecuación es para una masa dada de un sólido y es de uso limitado en la mecánica de fluidos, ya que la mayoría de los sistemas de flujo se analizan con el uso de volúmenes de control.

El teorema del transporte de Reynolds proporciona las herramientas necesarias para pasar de la formulación de sistema a la de volumen de control.

## EL TEOREMA DEL TRANSPORTE DE REYNOLDS

La mayoría de los principios de la mecánica de fluidos se adoptan de la mecánica de los sólidos, en donde las leyes físicas que se refieren a las razones de cambio respecto del tiempo de propiedades extensivas se expresan para sistemas cerrados. En la mecánica de fluidos, con frecuencia es más conveniente trabajar con volúmenes de control y, por lo tanto, surge la necesidad de relacionar los cambios en un volumen de control con los cambios en un sistema cerrado.

La relación entre las razones de cambio respecto del tiempo de una propiedad extensiva para un sistema cerrado y para un volumen de control, se expresa por el teorema del transporte de Reynolds (RTT, Reynolds transport theorem), el cual proporciona el vínculo entre los enfoques de sistema cerrado y de volumen de control.

El teorema del transporte de Reynolds para el momento lineal en su forma general que se aplica a los volúmenes de control fijos, en movimiento o en deformación, establece:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \int_{SC} \rho \vec{V} (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA$$

Que podemos enunciar como:

$$\left( \begin{array}{l} \text{La suma de todas} \\ \text{las fuerzas externas} \\ \text{que actúan sobre} \\ \text{un VC} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{La razón de cambio} \\ \text{respecto al tiempo del} \\ \text{momento lineal} \\ \text{del contenido de VC} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} \text{El flujo neto del momento} \\ \text{lineal hacia fuera de la} \\ \text{superficie de control por} \\ \text{el flujo de masa} \end{array} \right)$$

En aplicaciones prácticas relacionadas con fluidos circulantes, el fluido cruza las fronteras del volumen de control en una o más entradas y en una o más salidas, y lleva con él algo de cantidad de movimiento hacia dentro o hacia fuera de ese volumen.

**Caso particular:** En el caso de flujo estacionario en reposo, la magnitud de la cantidad de movimiento dentro del volumen de control permanece constante y, por lo tanto, la razón de cambio del momento lineal del contenido de ese volumen (el primer término de la parte derecha de la ecuación general) es cero. Esto da:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA$$

## FACTOR DE CORRECCION DEL FLUJO DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La velocidad a través de la mayoría de las entradas y salidas de interés para la ingeniería práctica no es uniforme. Sin embargo, puede convertirse la integral de la superficie de control de la ecuación anterior en una forma algebraica, introduciendo un factor adimensional de corrección  $\beta$ , llamado factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento. Entonces, la ecuación para un volumen fijo de control se escribe como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \sum_{sal} \beta \dot{m} \vec{V}_{prom} - \sum_{ent} \beta \dot{m} \vec{V}_{prom}$$



Donde se aplica un valor único del factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento a cada entrada y cada salida en la superficie de control.

Para el caso de flujo uniforme sobre una entrada o salida será  $\beta=1$

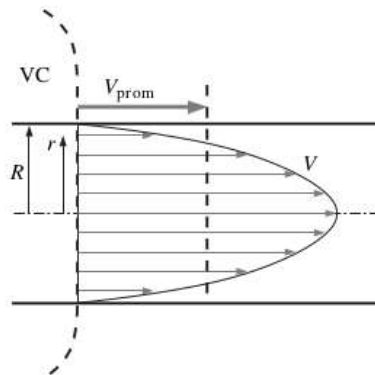
Para el caso general, se define  $\beta$  de tal manera que la forma integral del flujo de la cantidad de movimiento hacia adentro o hacia afuera de la superficie de control, en una entrada o salida con área  $A_c$  de la sección transversal, se pueda expresar en términos del flujo de masa  $\dot{m}$  a través de esa entrada o salida, y la velocidad promedio  $V_{prom}$  a través de éstas:

El factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento, se calcula mediante:

$$\beta = \frac{1}{A_c} \int_A \left( \frac{V}{V_{prom}} \right)^2 dA_c$$

Analizando la expresión anterior resulta que, para cualquier perfil de velocidad que pueda imaginarse,  $\beta$  siempre es mayor que la unidad o igual a ésta.

Si consideramos el flujo laminar a través de una sección recta muy larga de un tubo circular resulta que el perfil de velocidad es parabólico, como muestra la figura 3.



**Figura 3 - Representación gráfica de flujo laminar.**

En este caso resulta  $\beta=4/3$  que se aparta bastante del valor unitario por lo que ignorar  $\beta$  en los cálculos, conduciría a un error importante.

Si se realiza el mismo tipo de integración para el flujo turbulento totalmente desarrollado, en vez de laminar, en un tubo se encontraría que  $\beta$  va desde 1,01 hasta 1,04.

Dado que estos valores están tan cercanos a la unidad, normalmente se descarta el factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento en casos de flujo turbulento.

Es importante indicar que aun cuando se desprecie el valor de  $\beta$  en los cálculos del flujo turbulento por tener un efecto insignificante sobre los resultados finales, es conveniente mantenerlo en las ecuaciones correspondientes.

Hacerlo así no sólo mejora la exactitud de los cálculos, sino también sirve de recordatorio para incluir este factor cuando se resuelven problemas de flujo laminar en el volumen de control.

## FLUJOS LAMINAR Y TURBULENTO

Cuando un fluido está circulando, las características de las líneas de flujo permiten distinguir régimen laminar, de transición y turbulento.

Una sencilla experiencia de inyección de unas líneas de colorante en el flujo en una tubería de vidrio, como hizo el ingeniero Osborne Reynolds, se muestra en las figuras 5 y 6.

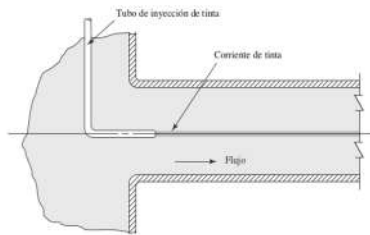


Figura 5 – Flujo laminar.

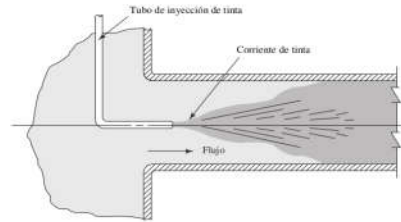


Figura 6 – Flujo turbulento.

La experiencia permite verificar la presencia de dichos regímenes. Las líneas de colorante forman líneas rectas y suaves a bajas velocidades cuando el flujo es laminar (es posible verlas un poco borrosas debido a la difusión molecular), presentan estallidos de fluctuaciones en el régimen de transición y zigzaguean rápida y aleatoriamente cuando el flujo se vuelve turbulento. Dichos zigzagueos y la dispersión del colorante son indicadores de las fluctuaciones en el flujo principal y la rápida mezcla de las partículas de fluido de capas adyacentes.

La intensa mezcla del fluido en el flujo turbulento como resultado de las rápidas fluctuaciones mejora la transferencia de cantidad de movimiento entre las partículas del fluido, lo que aumenta la fuerza de fricción sobre la superficie.

El flujo laminar es característico de fluidos muy viscosos, como los aceites.

## NUMERO DE REYNOLDS

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos se descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como.

$$Re = \frac{V_{prom} D \text{ Fuerza de inercia}}{v \text{ Fuerza viscosa}}$$

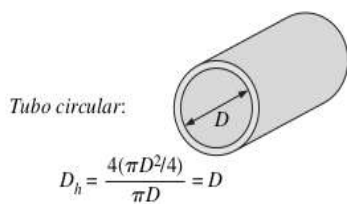
Debido a que todas las unidades se cancelan, el Re es adimensional, donde  $V_{prom}$ =velocidad de flujo promedio (m/s),  $D$ =longitud característica de la geometría (diámetro en este caso, en m),  $\nu = \mu/\rho$  =viscosidad cinemática del fluido ( $m^2/s$ ).

Para flujo a través de tuberías, el número de Reynolds se basa en el diámetro hidráulico  $D_h$ , que se define como:

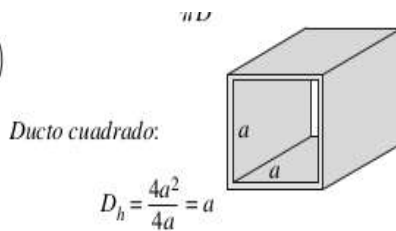
$$D_h = \frac{4A}{p}$$

Donde  $A$  es el área de sección transversal de la tubería y  $p$  es su perímetro húmedo. El diámetro hidráulico se define de modo que se reduce a diámetro común  $D$  para tuberías circulares:

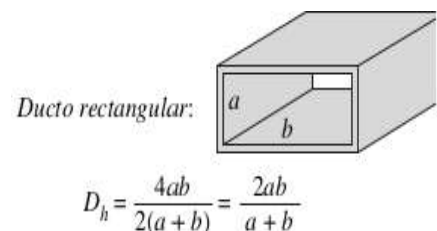
$$D_h = \frac{4A}{p} = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} = D$$



**Figura 7 – Diámetro hidráulico para sección circular.**



**Figura 8 - Diámetro hidráulico para sección cuadrada.**



**Figura 9 - Diámetro hidráulico para sección rectangular.**

En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para  $Re$  menores o iguales a 2000, turbulento para  $Re$  mayores o iguales 4 000. Es decir:

Si  $N_R < 2000$ , el flujo es laminar.

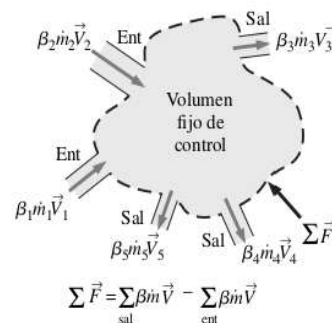
Si  $N_R > 4000$ , el flujo es turbulento.

## FLUJO ESTACIONARIO

Si el flujo es estacionario en reposo, el término de la derivada respecto al tiempo se anula y queda:

Ecuación del momento lineal en flujo estacionario en reposo:

$$\sum \vec{F} = \sum_{sal} \beta \dot{m} \vec{V}_{prom} - \sum_{ent} \beta \dot{m} \vec{V}_{prom}$$



Donde se ha eliminado el subíndice “prom” de la velocidad promedio. Se puede expresar que la fuerza neta que actúa sobre el volumen de control en el curso del flujo estacionario en reposo es igual a la diferencia entre las razones de los flujos entrantes y salientes de la cantidad de movimiento.

### FLUJO ESTACIONARIO CON UNA ENTRADA Y UNA SALIDA

En muchos problemas prácticos intervienen sólo una entrada y una salida. El flujo de masa para esos sistemas de una sola corriente se mantiene constante

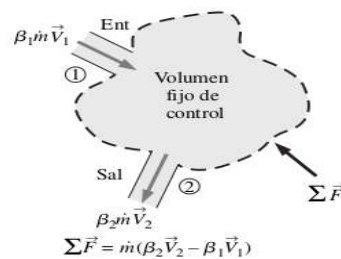


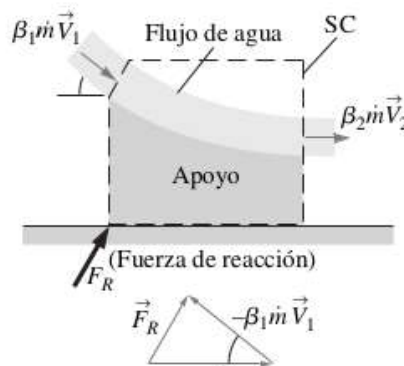
Figura 11 – Flujo estacionario con una entrada y una salida.

entonces:

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1)$$

Como todas las relaciones antes dadas son ecuaciones vectoriales y, donde, todas las adiciones y sustracciones son vectoriales, recordando que al restar un vector equivale a sumarlo después de invertir su dirección. Asimismo, cuando se escribe la ecuación de la cantidad de movimiento a lo largo de una coordenada especificada (como el eje x), se usan las proyecciones de los vectores sobre ese eje. Se puede escribirse a lo largo de la coordenada x como:

A lo largo de la coordenada x



$$\sum F_x = \dot{m}(\beta_2 V_{2,x} - \beta_1 V_{1,x})$$

Donde  $\sum F_x$  es la suma vectorial de las componentes x de las fuerzas, y  $V_{2,x}$  y  $V_{1,x}$  son las componentes x de las velocidades de entrada y de salida del flujo de fluido, respectivamente. Las componentes de la fuerza o de la velocidad en la dirección x positiva son cantidades positivas y aquéllas en la dirección x negativa son cantidades negativas. También, es una práctica adecuada tomar la dirección de las fuerzas desconocidas en las direcciones positivas (a menos que el problema sea muy directo). Un valor negativo que se obtenga para una fuerza desconocida indica que la dirección supuesta no es la correcta y debe invertirse.

### CHORRO FLUIDO QUE CHOCA CONTRA UNA PLACA EN REPOSO

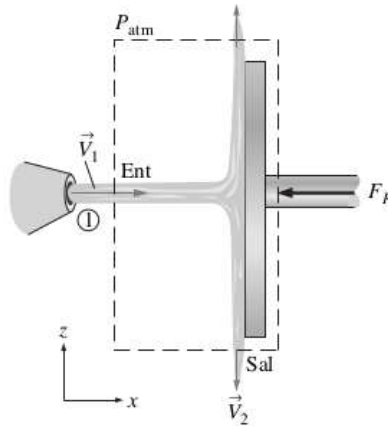
Si se proyecta un chorro de fluido con una velocidad determinada mediante una boquilla y si se lo hace chocar contra una placa vertical en reposo, después del choque el chorro fluido se dispersa en todas direcciones en el plano de la placa.

Podemos determinar la fuerza del chorro de agua eligiendo un volumen de control que contenga la placa completa y corte normalmente el chorro de agua y la barra de soporte.

La ecuación general de la cantidad de movimiento para el caso planteado de flujo unidimensional resulta:

A lo largo de la coordenada x

$$\begin{aligned} \sum F_x &= \dot{m}(\beta_2 V_{2,x} - \beta_1 V_{1,x}) \\ &= \beta \dot{m} \vec{V}_1 \end{aligned}$$



flujo unidireccional.

Considerando el signo negativo para la fuerza y considerando que  $V_{1x} = V_1$  y  $V_{2x} = 0$  resulta:

Expresión que relaciona la fuerza ejercida por el chorro contra la pared con el caudal másico y la velocidad del chorro.

## **DISPOSITIVO EXPERIMENTAL**

Se construyó un dispositivo en forma de cámara donde se puede proyectar un chorro de fluido sobre una probeta. El pico de proyección responde al diseño de "Solid Stream" o Chorro sólido, que garantiza alta coherencia y uniformidad del mismo.

El cuerpo principal de la cámara tiene una forma de prisma rectangular con una de sus caras vidriadas y una tolva inferior para coleccionar el fluido líquido proyectado.

Un recipiente cerrado externo, oficia de contenedor del fluido y está provisto de conexiones superiores para carga y presurizado del domo y una conexión tipo sifón para la salida del fluido a presión. Además, el citado recipiente está equipado con un instrumento para medir presión y una válvula de seguridad. Como fuente de presión se utiliza un tubo de Nitrógeno y una válvula reguladora de presión con rango 0-10Kg/cm<sup>2</sup>.



**Imagen 1 - Dispositivo experimental.**

El fluido que sale del recipiente es filtrado y proyectado mediante una lanza contra la probeta a través de un pico de diámetro 300 a 500 micrones.

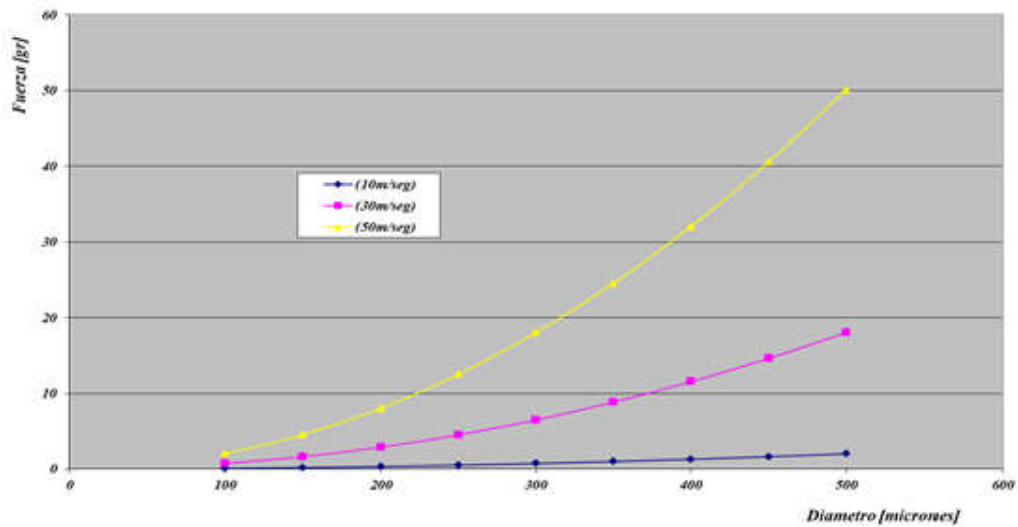


**Imagen 2 – Interior de la cámara y las posiciones relativas del interior de la placa plana donde choca el fluido.**

A los efectos de comprobar en la práctica la posibilidad de medir la velocidad del chorro a partir del Impulso generado por el mismo, se diseñó y construyó un mecanismo de balanza, solidario al eje del soporte de la probeta.

El mecanismo de balanza permite medir la fuerza del chorro, para luego, aplicando conceptos de Impulso y cantidad de movimiento, cuantificar la velocidad media del mismo.

El estudio teórico previo, permite predecir la fuerza de impacto sobre el blanco en función del diámetro del inyector y para distintas velocidades de proyección, como se muestra en el gráfico 1.

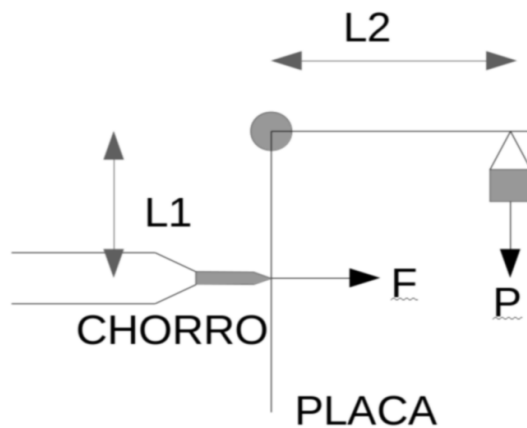


**Grafico 1– Fuerza del impacto en función del diámetro del inyector para distintas velocidades del chorro.**

Más aún las ecuaciones muestran que la fuerza de impacto aumenta con el cuadrado de la velocidad, esto también puede verse en el gráfico.

La implementación de la mencionada balanza, permite equilibrar el par generado por la acción del chorro (que actúa a una distancia “L1” del eje) mediante el desplazamiento de un peso “P” que se sitúa a una cierta distancia “L2” del eje de rotación.

Esquema simplificado, ver figura 14.



**Figura 14 – Modelo esquemático del sistema en equilibrio.**



Inicialmente se realizaron una serie de ensayos con el objetivo de verificar la sensibilidad y la repetitividad de la indicación de la balanza.

Luego de verificada esa condición se realizaron ensayos para medir la velocidad del chorro

### **SIMBOLOGIA y UNIDADES**

- F= Fuerza
- m= masa
- v=velocidad
- t= tiempo
- V=Volumen
- $\rho$ = Densidad
- A=Sección de flujo
- Q= Caudal volumétrico
- p= Presión
- P= Peso
- T= Temperatura absoluta
- R= Constante particular del gas
- L= Longitud

Conicionados por el instrumental disponible en el laboratorio trabajamos con unidades del sistema técnico.

### **ENSAYO DE LA BALANZA**

#### **DATOS DEL ENSAYO:**

Fluido: agua

Diámetro del inyector  $\phi=300$  micrones

Peso del elemento equilibrante P=3gr

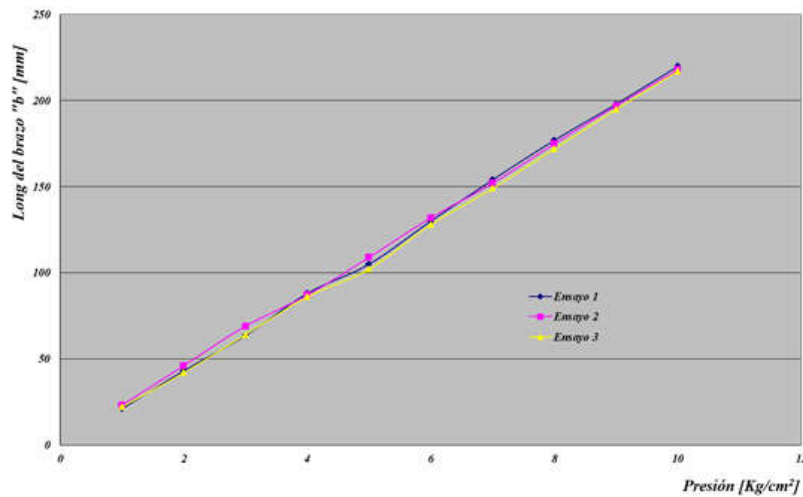
Distancia del inyector al eje L1=61mm

<b>PRESION</b>	<b>LONG DEL BRAZO L2 [mm]</b>		
<b>[Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Ensayo 3</b>
1	21	23	22
2	43	46	42
3	63,5	69	64
4	88	87	86

5	105	109	102
6	130	132	128
7	154	152	149
8	177	175	172
9	198	197	195
10	220	218	217

**Tabla 1- Datos.**

Veamos gráficamente



L

**Gráfico 2 – Ensayo de repetitividad de la balanza.**

os

ensa

Los ensayos realizados confirman una muy buena sensibilidad de la balanza que permite distinguir valores de 1/10 de gramo y una más que aceptable repetitividad de las medidas (sensibilidad y precisión) dos atributos para calificar un instrumento.

## **DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL CHORRO**

A efectos de hacer una comparación experimental del método se procede a medir simultáneamente el caudal de fluido proyectado para finalmente calcular la velocidad del chorro según el impulso del mismo y mediante la aplicación de la ecuación de continuidad a la vena fluida, como se muestra en las imagen 3.



**Imagen 3- Dispositivo en funcionamiento de dos puntos de vista diferentes.**

El dispositivo contiene al inyector y a la placa plana donde choca el corro de agua, esta placa está conectada con una regla que se coloca a nivel con un peso determinado para variar el momento que ejerce. En la imagen 3a la derecha se puede ver la escala graduada donde se coloca el peso deslizante.

Se realizaron una serie de ensayos de caracterización del nuevo dispositivo utilizando agua coloreada como fluido proyectado, los cuales confirmaron la predicción teórica, mostrando una muy buena correspondencia con las medidas realizadas a partir de mediciones volumétricas, empleando conceptos de caudalimetría.

**Importante:** Todas las determinaciones se realizaron utilizando el equipo en régimen permanente.

### **ECUACIONES EMPLEADAS**

Aplicando el concepto de impulso:  $F = \beta \dot{m} V_x$  (1)

Por condición de flujo turbulento:  $\beta = 1$

Considerando régimen permanente:  $\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$

Por flujo unidireccional:  $V_x = v$

Reemplazando en (1)  $F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v$  (2)

Por definición de densidad:  $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$

Reemplazando nos queda:  $F = \frac{\Delta(\rho V)}{\Delta t} v = \rho \frac{\Delta V}{\Delta t} v = \rho Q v$

De acuerdo con la ecuación de continuidad:  $Q = vA \Rightarrow v = \frac{Q}{A}$

Resulta;  $F = \rho Q v = \rho A v^2$

De donde:  $v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$

Aplicando la condición de equilibrio de momentos en la balanza

$$FL1 = PL2 \Rightarrow F = P \frac{L2}{L1}$$

Igualando las anteriores:  $v = \sqrt{P \frac{L2}{L1} \frac{1}{\rho A}}$  (3)

Según la ecuación de estado para gases ideales:

$$pV = mRT \Rightarrow \frac{m}{V} = \rho = \frac{p}{RT}$$

Esta última expresión permite hacer determinaciones de velocidad en chorros de un fluido gaseoso.

## DATOS DEL ENSAYO

- Ensayo realizado con agua coloreada.
- El diámetro del inyector es de  $\varnothing=300 \mu\text{m}$
- El volumen de control es de  $200 \text{ cm}^3$
- El peso es de 10 gr

- $L_1=60,9$  mm
- La sección de flujo es de  $0,707\text{mm}^2$

DATOS EXPERIMENTALES			
Presión	Brazo "L2"	Tiempo	
[Kg/cm <sup>2</sup> ]	[mm]	[Min]	[Seg]
0	0,0	0	0,00
1	21,0	4	3,93
2	43,0	2	50,22
3	63,5	2	16,20
4	88,0	1	57,89
5	105,0	1	46,31
6	130,0	1	38,33
7	154,0	1	30,75
8	177,0	1	24,50

**Tabla 2 – datos obtenidos experimentalmente.**

El instrumento empleado en el laboratorio para medir la presión relativa de presurización del domo del depósito contenedor de fluido está graduado en Kg/cm<sup>2</sup>

A partir de estos datos se pueden realizar cálculos de velocidad según los criterios anteriormente indicados.

La tabla 3 y los gráficos 3 y 4 muestran los resultados obtenidos.

VALORES CALCULADOS				
x CAUDALIMETRIA		x IMPULSO		
Caudal	Velocidad	Fuerza	Velocidad	Diferencia
[lt/h]	[m/seg]	[gr]	[m/seg]	[%]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,95	11,60	1,03	11,97	3,2
4,23	16,62	2,11	17,12	3,0
5,29	20,77	3,12	20,81	0,2
6,11	24,00	4,33	24,50	2,1
6,77	26,62	5,16	26,76	0,5
7,32	28,77	6,39	29,77	3,5
7,93	31,18	7,57	32,40	3,9
8,52	33,48	8,70	34,74	3,8

Tabla 3 – Valores calculados.

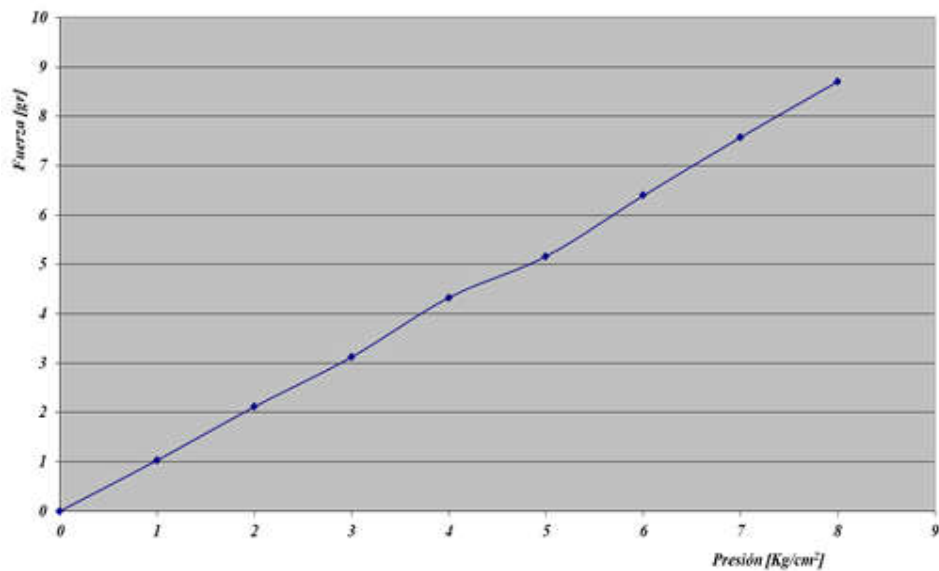
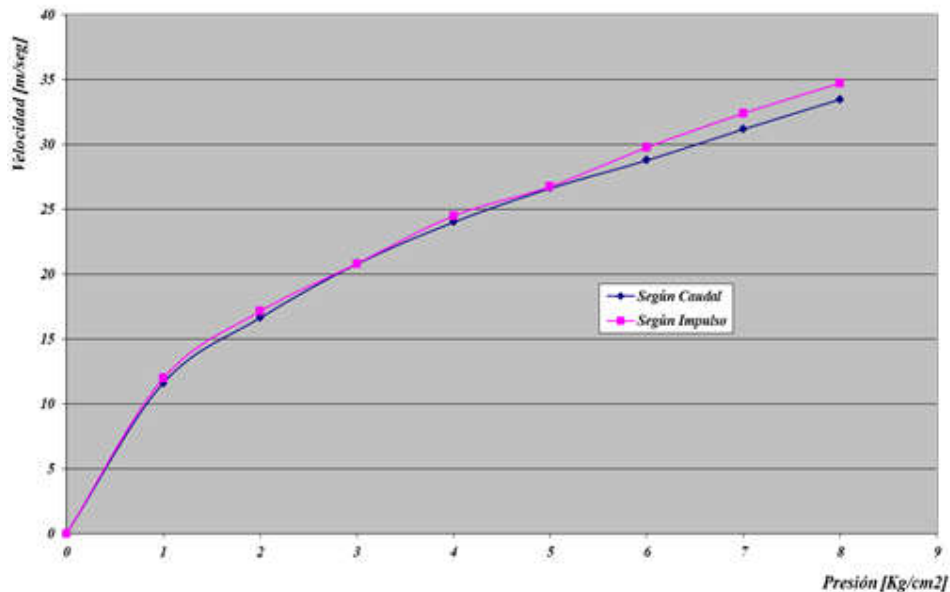


Grafico 3 – Fuerza vs presión.



**Gráfico 4 – Velocidad del chorro vs presión.**

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos nos muestran una muy buena correspondencia entre las dos formas de medir la velocidad, observándose para estos ensayos una diferencia porcentual menor al 4%, lo cual permite indicar que son resultados coherentes, con el fin perseguido y que se encuadran dentro del error aceptado para un equipo de medición indirecta sujeto a una serie de errores operativos.

## BIBLIOGRAFIA:

- Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones - Yunus Cengel y John Cimbala - Primera Edición
- Mecánica de fluidos 6ta edición Robert Mott
- Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas - Claudio Mataix – 2ed

## AGRADECIMIENTOS:

Por colaborar en la realización de este trabajo y por servirme de guía para elaboración de este informe, a los Ingenieros:

Emmanuel Orence, Comin

Juan José, Muriel

Víctor Sergio, Sacchetto