MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS

UNIDAD N°8: Orificios, tubos y toberas

Docentes:

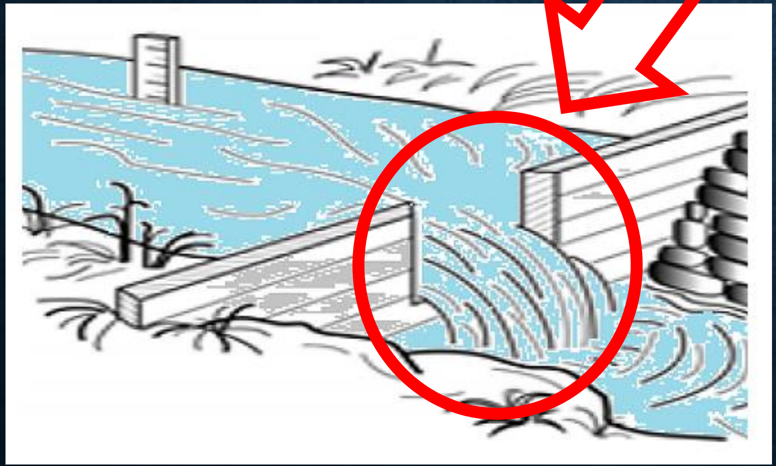
- Ing. RODRIGUEZ, Carlos
- Ing. CORREA, Gustavo
- Ing. POLISCZUK, Dario

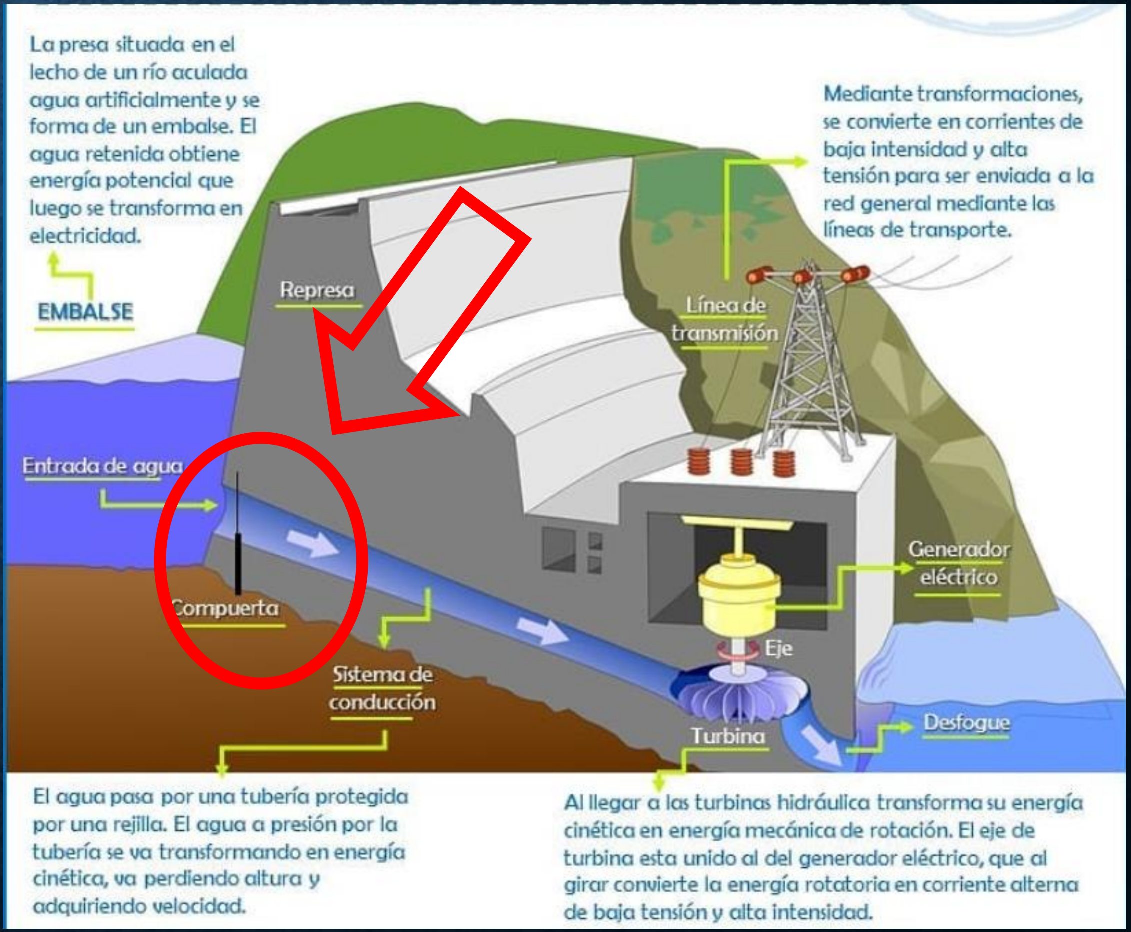
ORIFICIOS

Orificio: es una abertura practicada en la pared de un depósito (orificio lateral o de fondo) o en un diafragma en una tubería por donde circula un fluido.

Características

- Formas: puede ser cualquiera, aunque la más común es circular.
- Tamaño: puede ser desde unos mm^2 hasta varios m^2.

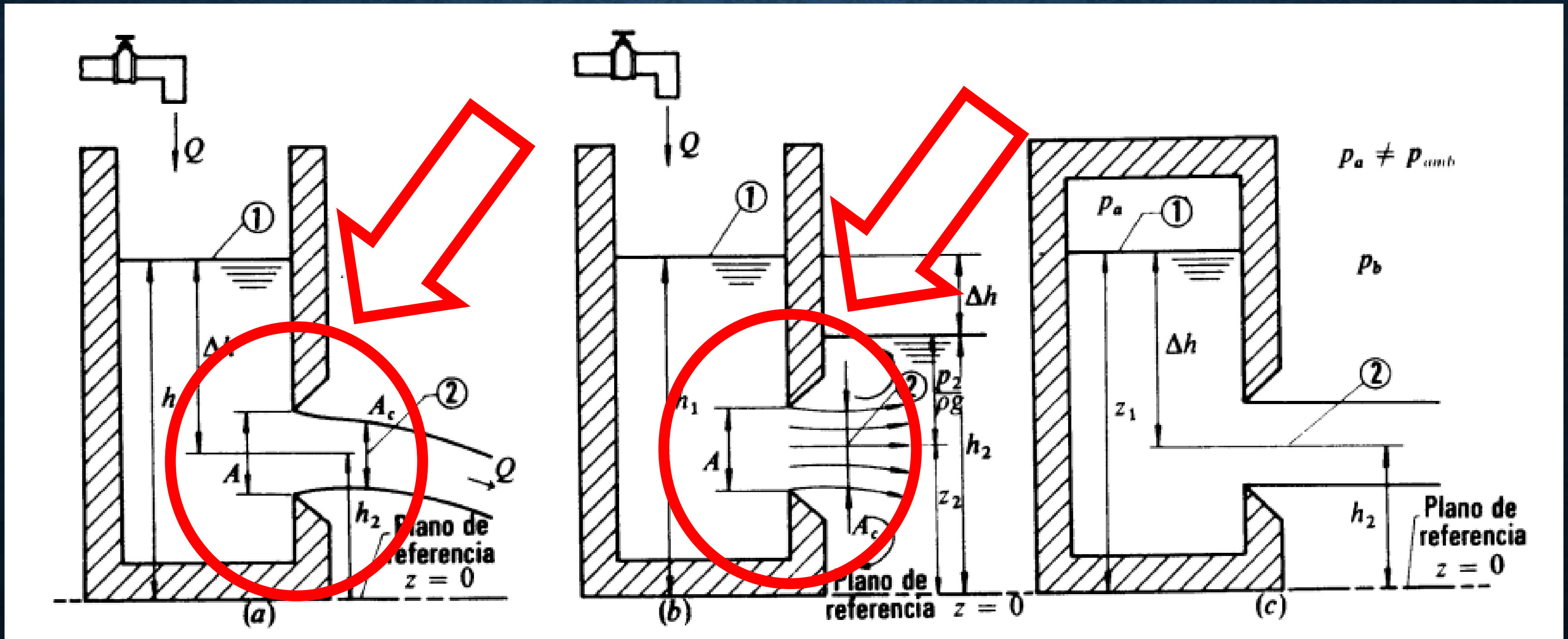




ORIFICIOS

Características

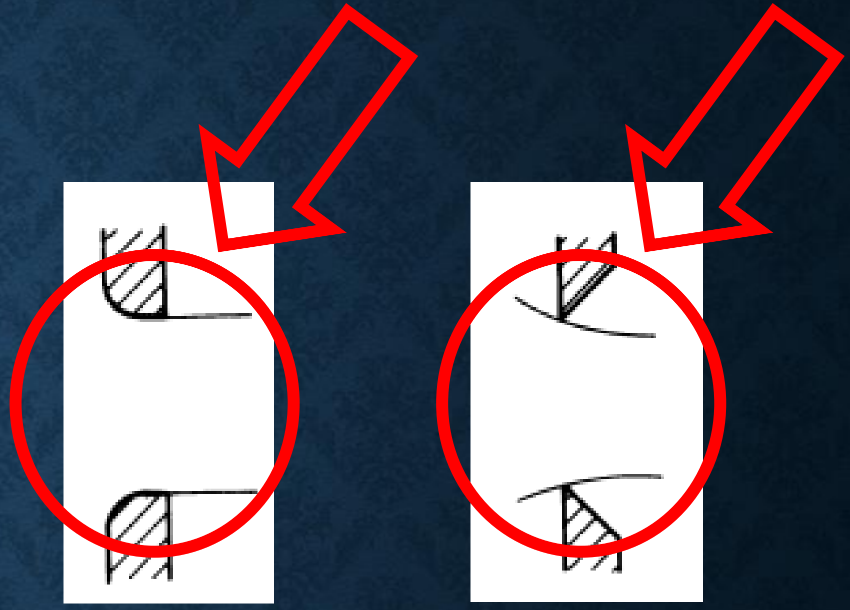
- El orificio se puede comunicar con atmósfera o bien con otro fluido bajo presión.



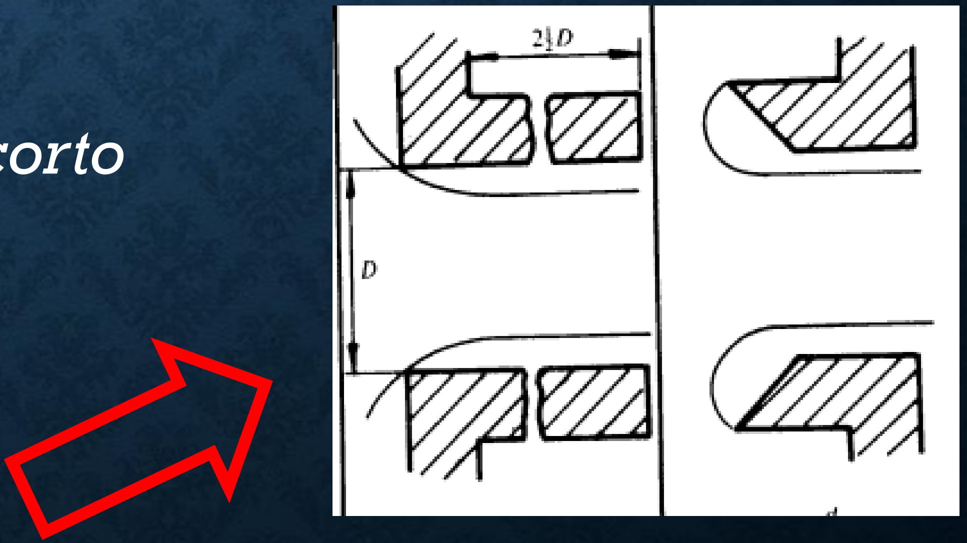
ORIFICIOS

<u>Características</u>

- Las paredes del orificio pueden ser de *contornos redondeados* o de *aristas vivas*.



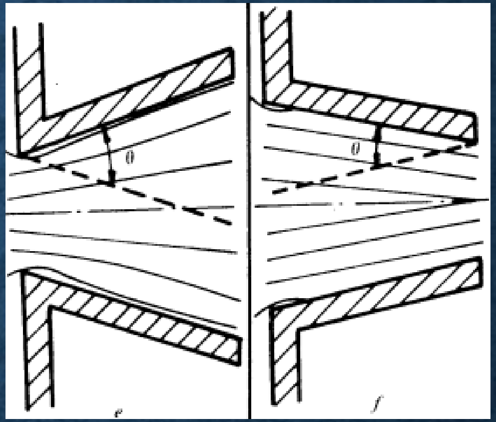
- El orificio puede terminar en *tubo corto cilíndrico* de diversas maneras.

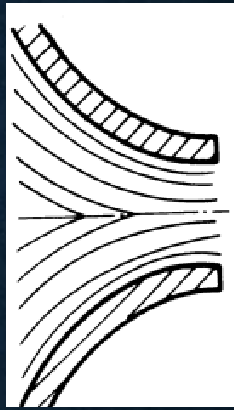


ORIFICIOS

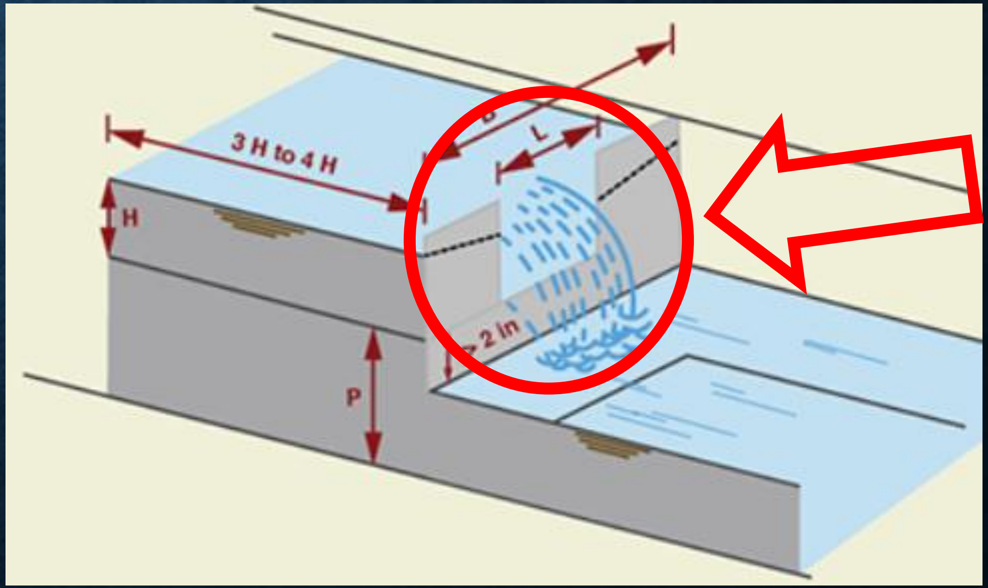
<u>Características</u>

- El orificio puede terminar en una *tobera* o en un *difusor*.

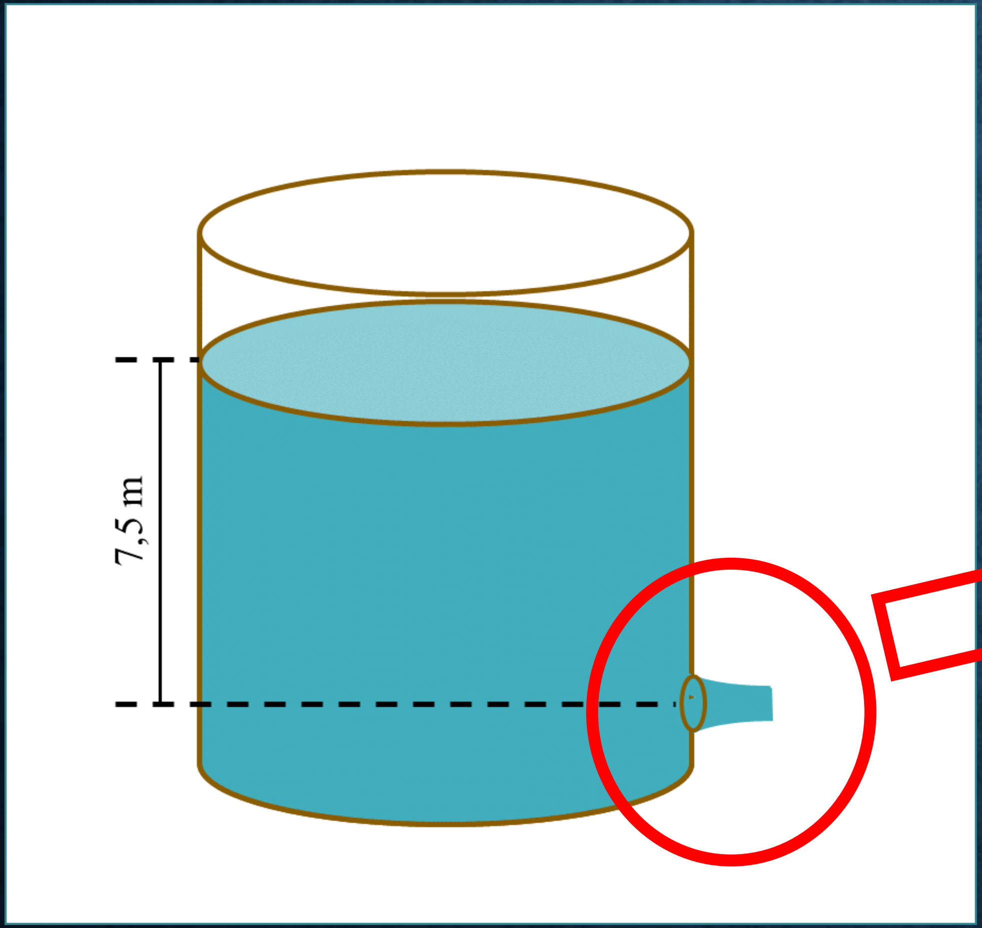


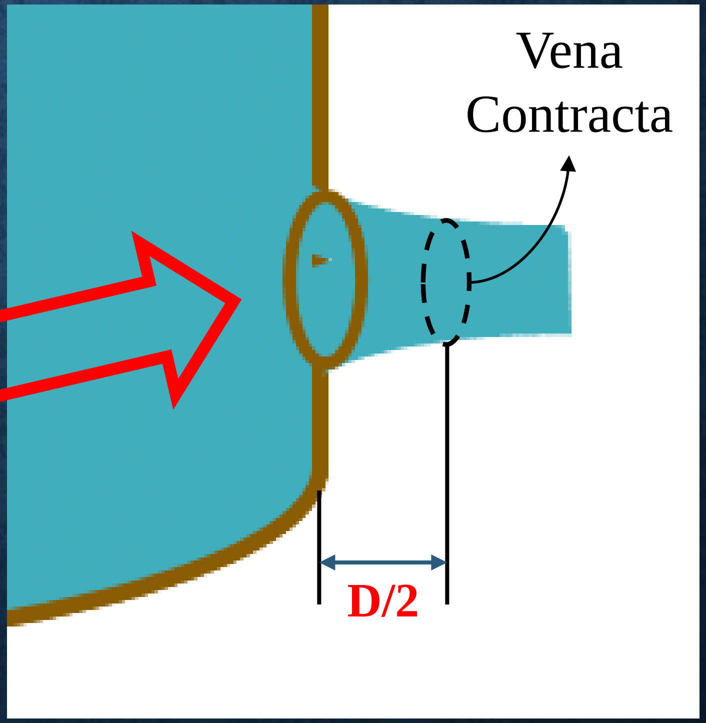


- Un *vertedero* viene a ser como un orificio que llega hasta la superficie libre del líquido.

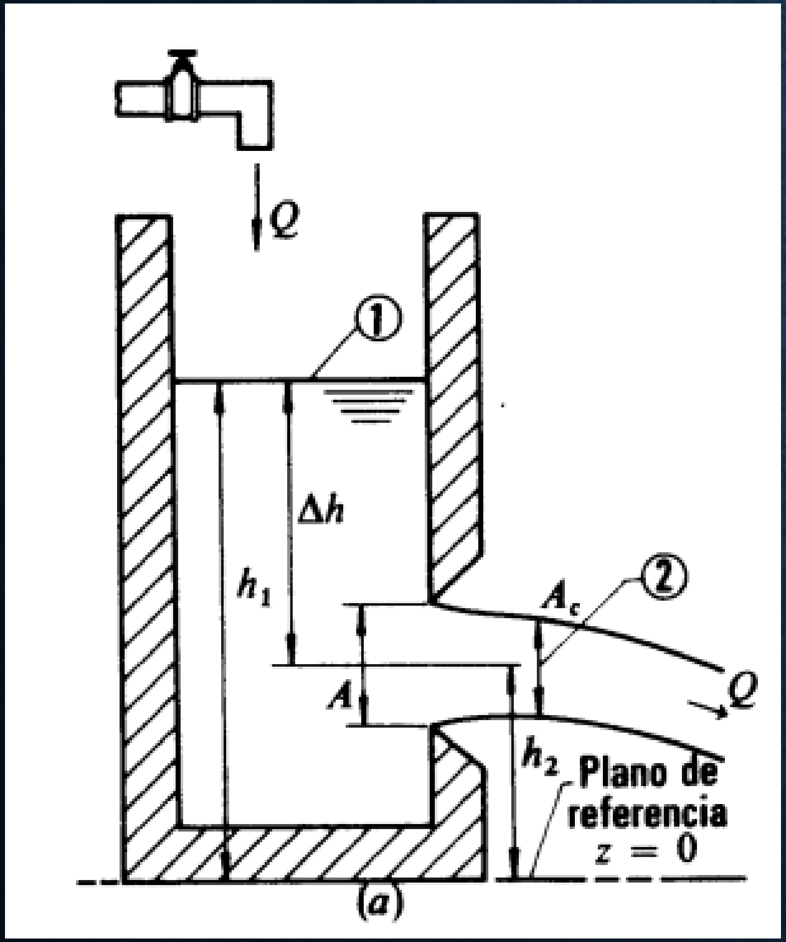


VENA CONTRACTA





ORIFICIOS, TUBOS Y TOBERAS



$$\frac{\overset{=0}{p_1}}{\gamma}+\frac{\overset{=0}{v_1^2}}{2\cdot g}+h_1=\frac{\overset{=0}{p_2}}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2\cdot g}+h_2$$

$$h_1=\frac{v_2^2}{2\cdot g}+h_2 \rightarrow v_2=\sqrt{2\cdot g\cdot \Delta h}=v_t$$

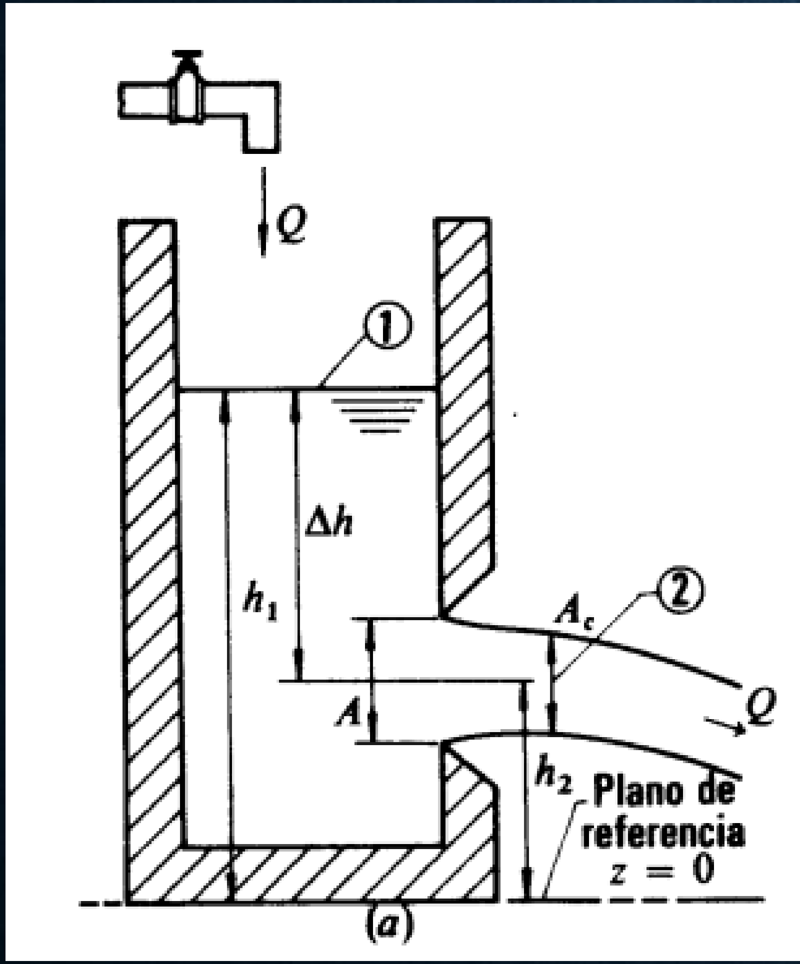
$v_t \rightarrow Velocidad\ teórica\ en\ la\ vena\ contracta$

$$v_{vc}=C_v\cdot v_t$$

$C_v \rightarrow Coeficiente\ de\ velocidad$

$v_{vc} \rightarrow Velocidad\ real\ en\ la\ vena\ contracta$

ORIFICIOS, TUBOS Y TOBERAS



$$A_c = C_c \cdot A$$

$A_c \rightarrow \text{Área en la vena contracta}$

$A \rightarrow \text{Área en el orificio}$

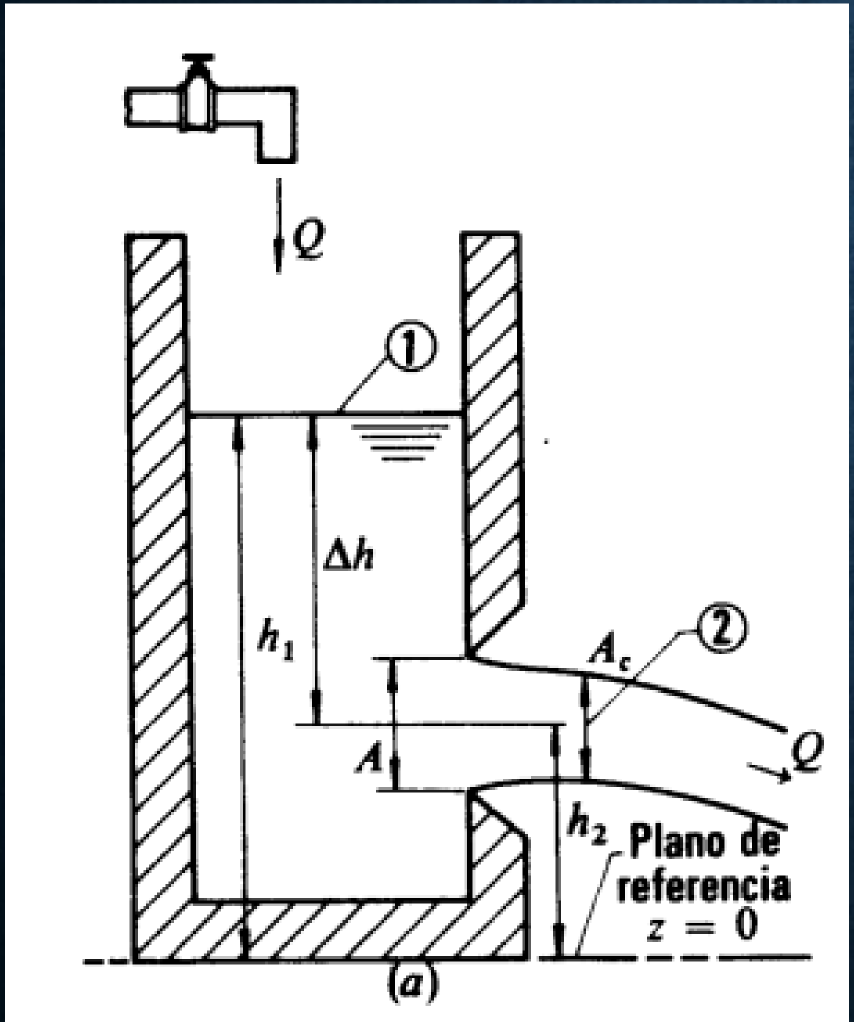
$C_c \rightarrow \text{Coeficiente de contracción}$

$$Q = A_c \cdot v_{vc}$$

$$Q = C_c \cdot A \cdot C_v \cdot v_t$$

$$Q = C_c \cdot C_v \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

ORIFICIOS, TUBOS Y TOBERAS



$$Q = C_c \cdot C_v \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

$$C_q = C_c \cdot C_v$$

$$C_q \rightarrow Coeficiente\ de\ caudal$$

$$\boldsymbol{Q = C_q A \cdot \sqrt{2g\Delta h}}$$

Ecuación general del desagüe por orificios, tubos y toberas

ORIFICIOS, TUBOS Y TOBERAS

Solo varían en cada caso

C_c — coeficiente de contracción
C_v — coeficiente de velocidad
C_q — coeficiente de caudal

Los valores de estos coeficientes se obtienen experimentalmente. Algunos de los más principales para orificios y tubos diversos *de sección circular* pueden verse en la tabla 14-1.

TABLA 14-1

COEFICIENTES DE CONTRACCION, DE VELOCIDAD Y DE CAUDAL PARA TUBOS Y TOBERAS DIVERSOS DE SECCION CIRCULAR

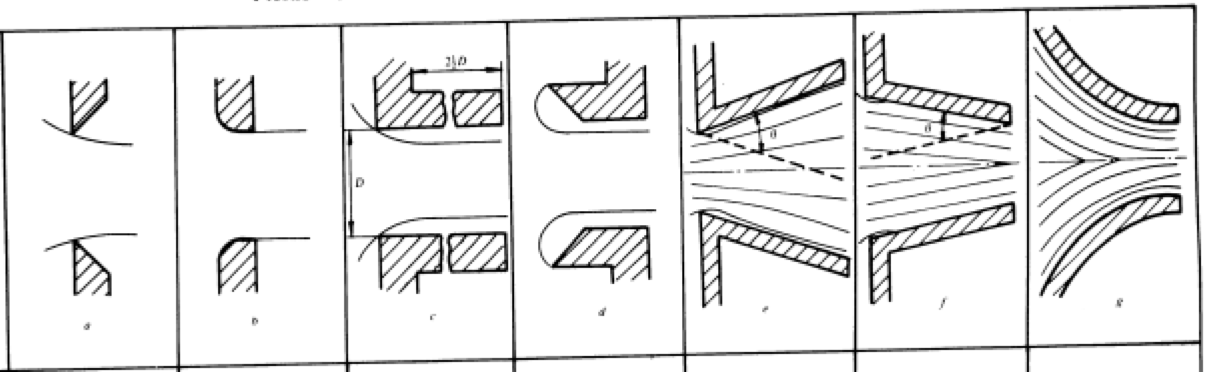


FIGURA	a	b	c	d	e	f	g
C_c	0,62	1,00	1,00	0,52	1,00	0,98	1,00
C_v	0,98	0,98	0,82	0,98	0,45 a 0,50	0,96	0,98
C_q	0,61	0,98	0,82	0,51	0,45 a 0,50	0,94	0,98

ORIFICIOS, TUBOS Y TOBERAS

Advertencias sobre esta tabla:

1.ª El llamado *tubo standard*, tabla 14-1 *c*, tiene una longitud igual a 2,5 veces el diámetro y aristas vivas, y un coeficiente de contracción $C_c = 1$.

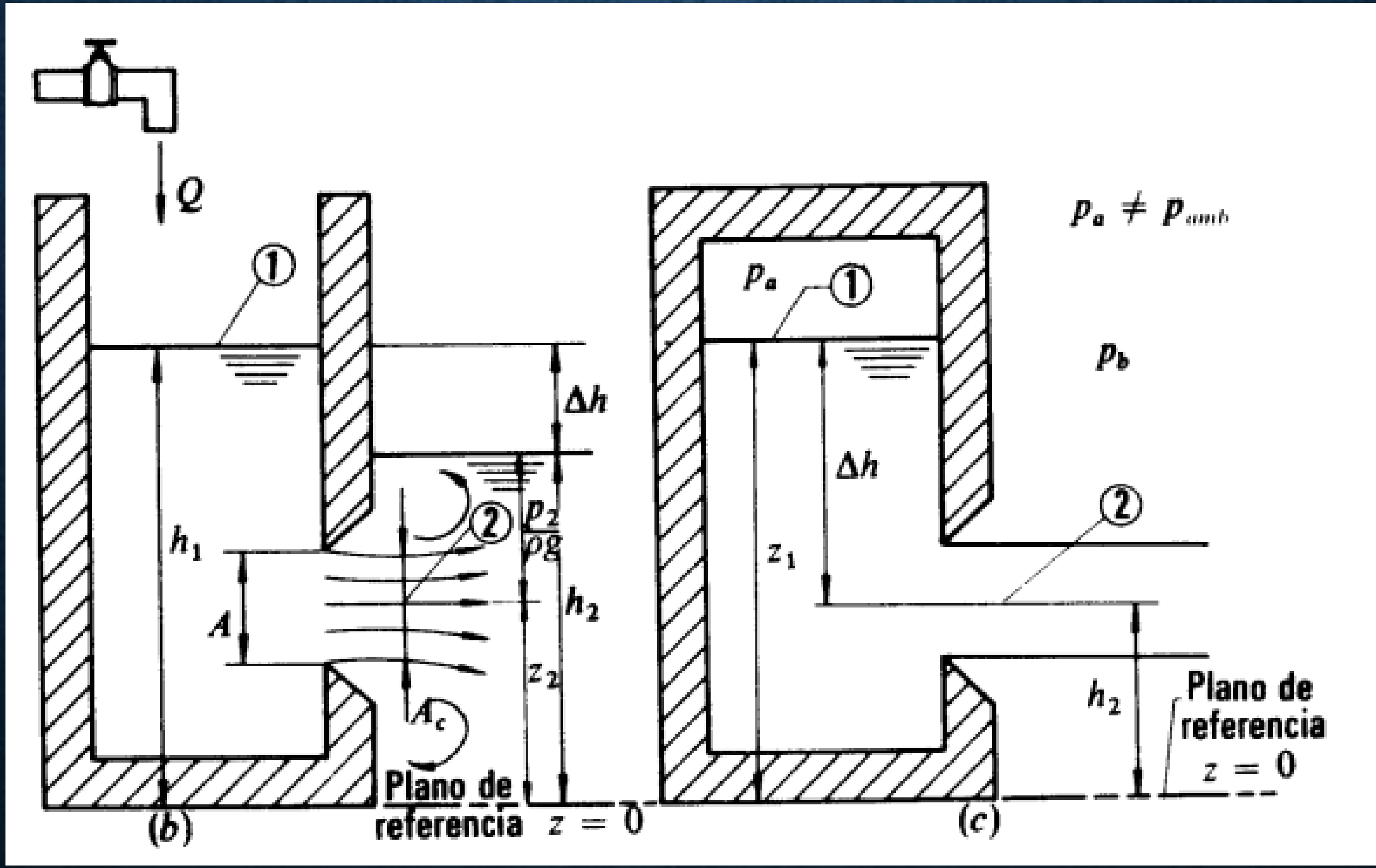
2.ª La llamada *boquilla de Borda*, tabla 14-1 *d*, está formada por un tubo que penetra en el depósito, tiene aristas vivas y su longitud es igual a su diámetro.

3.ª La tobera conoidal, tabla 14-1 *g*, tiene un C_q más favorable que la tobera cónica, debido a su forma bien *fuselada*, que ha eliminado las pérdidas de *forma*, quedando únicamente las de *superficie* (véase Secs. 8.3 y 8.9).

4.ª Los valores de C_c, C_v y C_q de esta tabla deben usarse con precaución. Si los diámetros son menores a 25 mm o los Δh menores de 1 m, estos coeficientes ya no son constantes, sino que dependen del número de Reynolds. Los coeficientes para cualquier tubo y orificio pueden obtenerse mediante un tarado «*in situ*».

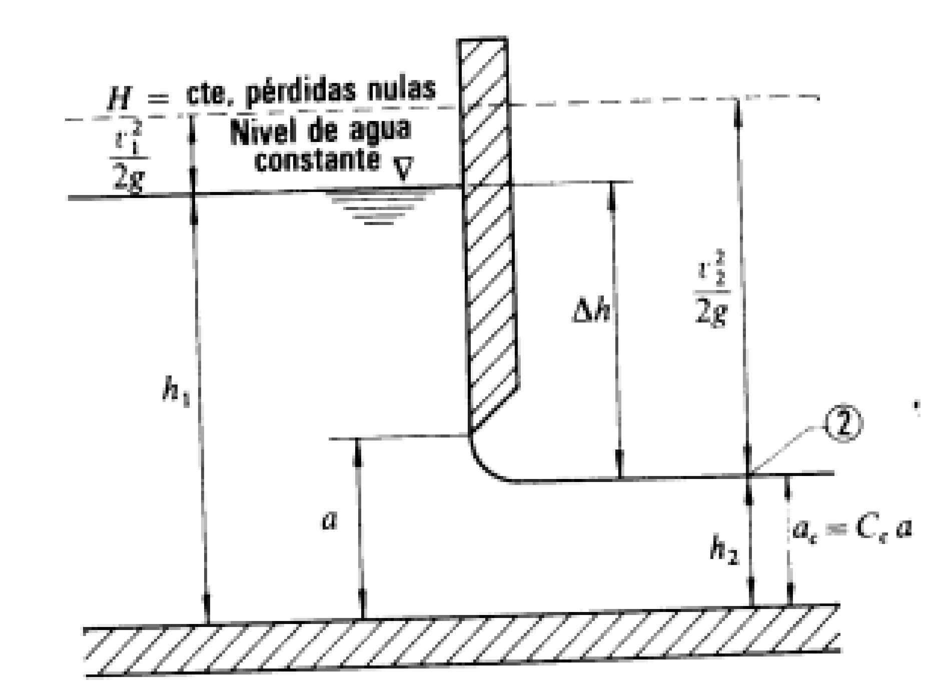
TAREA

Determinar como queda la ecuación general del desagüe en orificios, tubos y toberas, para ambos casos.



DESAGÜE DE UNA COMPUETA DE FONDO

Un orificio rectangular de altura *"a"* y anchura *"b"*, que supondremos igual al ancho del canal. En el fondo no hay contracción; pero si en la lámina superior.



$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_2$$

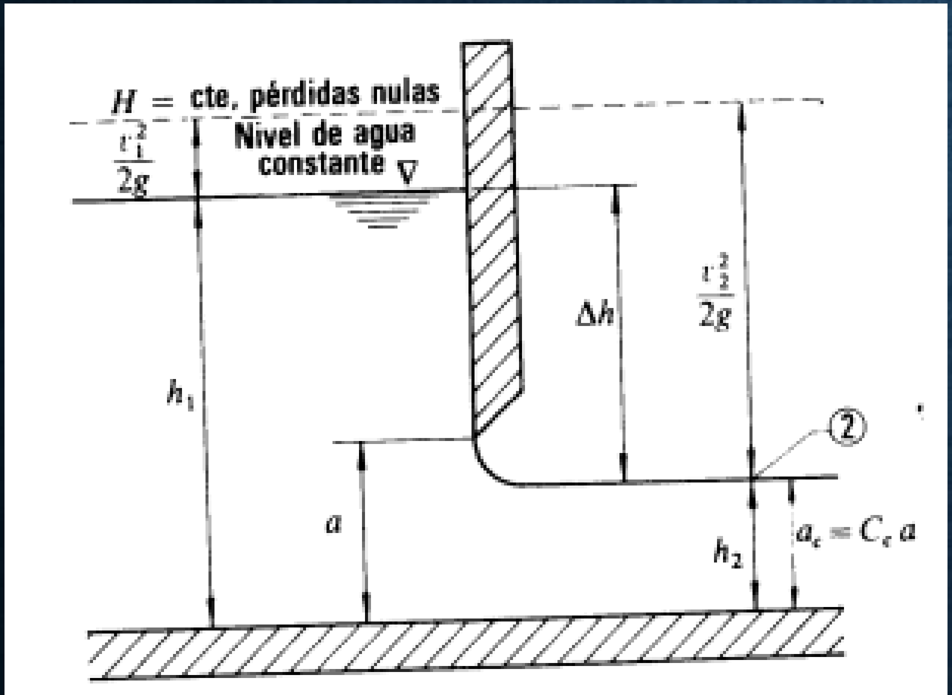
$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_1 = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_2$$

Por la ecuación de continuidad

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{h_2}{h_1}$$

DESAGÜE DE UNA COMPUETA DE FONDO

Un orificio rectangular de altura *"a"* y anchura *"b"*, que supondremos igual al ancho del canal. En el fondo no hay contracción; pero si en la lámina superior.

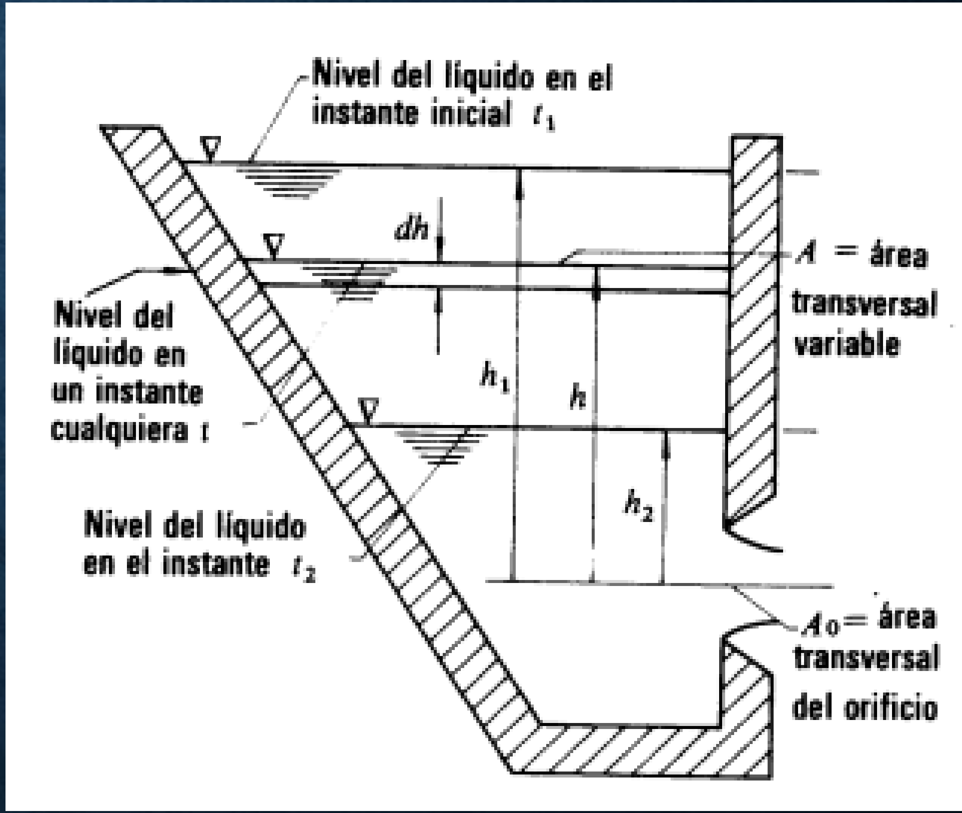


$$Q = C_q \cdot ab \cdot \sqrt{2g\Delta h}$$

REGIMEN VARIABLE: TIEMPO DE DESAGÜE DE UN DEPÓSITO

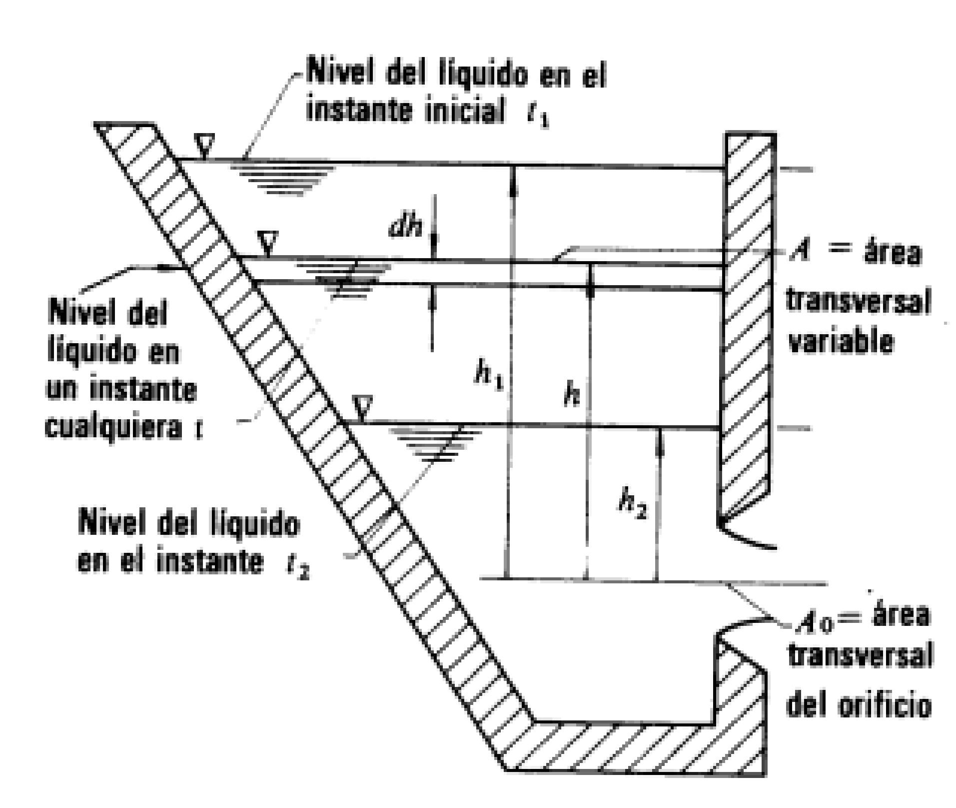
En este caso al vaciarse el depósito, el nivel de la superficie libre descenderá y el nivel no será constante. Es decir que corresponde a un caso de *régimen variable.*

Es decir que vamos a deducir la fórmula para determinar el tiempo que le toma al fluido descender del nivel h_1 hasta el nivel h_2.



REGIMEN VARIABLE: TIEMPO DE DESAGÜE DE UN DEPÓSITO

En un instante cualquiera *t*, el líquido tiene un nivel *h*, y transcurrido un tiempo infinitamente pequeño *dt* el nivel de liquido ha descendido, *dh.* En el instante *t* el caudal será*:*



$$Q = \frac{d\tau}{dt} = C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h}$$

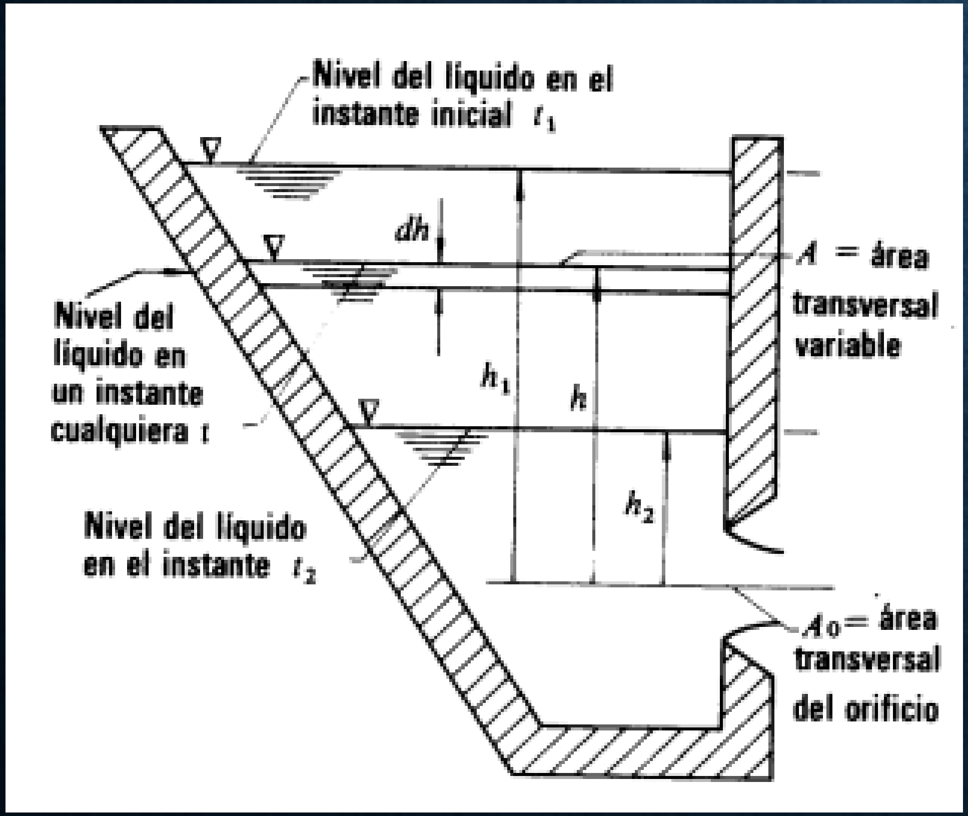
$$d\tau \rightarrow Diferencial\ de\ volumen\ desaguado\ en\ un\ tiempo\ dt$$

$$A_0 \rightarrow Área\ del\ orificio, constante$$

$$d\tau = C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h} \cdot dt$$

REGIMEN VARIABLE: TIEMPO DE DESAGÜE DE UN DEPÓSITO

En un instante cualquiera *t*, el líquido tiene un nivel *h*, y transcurrido un tiempo infinitamente pequeño *dt* el nivel de liquido ha descendido, *dh.* En el instante *t* el caudal será*:*



$$d\tau = C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h} \cdot dt$$

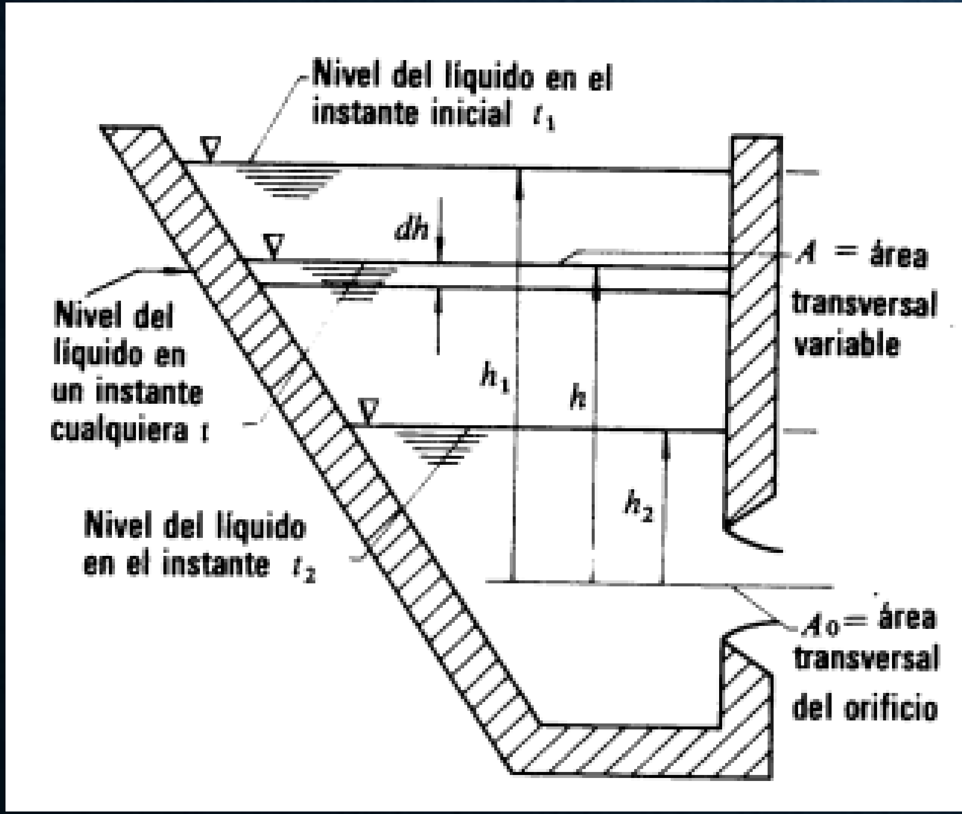
$$d\tau = A \cdot dh$$

$$donde\ A\ es\ el\ área\ del\ depósito\ en\ un\ instante\ t, variable.$$

$$-A \cdot dh = C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h} \cdot dt$$

REGIMEN VARIABLE: TIEMPO DE DESAGÜE DE UN DEPÓSITO

En un instante cualquiera *t*, el líquido tiene un nivel *h*, y transcurrido un tiempo infinitamente pequeño *dt* el nivel de liquido ha descendido, *dh.* En el instante *t* el caudal será*:*

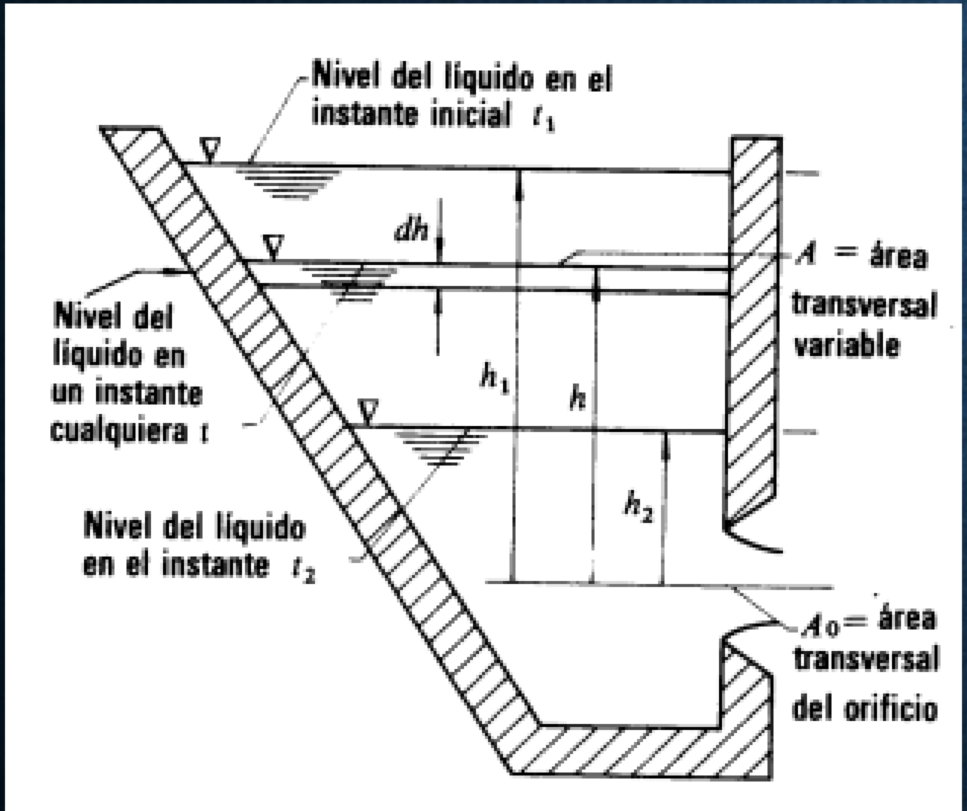


$$-A \cdot dh = C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h} \cdot dt$$

$$dt = -\frac{A \cdot dh}{C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h}}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = t_2 - t_1 = -\int_{h_1}^{h_2} \frac{A \cdot dh}{C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h}}$$

REGIMEN VARIABLE: TIEMPO DE DESAGÜE DE UN DEPÓSITO



$$t = \int_{h_2}^{h_1} \frac{A \cdot dh}{C_q A_0 \cdot \sqrt{2g\Delta h}}$$

Tiempo de desagüe parcial o completo de un depósito de área transversal variable

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS

UNIDAD N°9: Teorema del Impulso

Docentes:

- Ing. RODRIGUEZ, Carlos
- Ing. CORREA, Gustavo
- Ing. POLISCZUK, Dario

INTRODUCCIÓN

Sea una partícula de fluido de masa m sometida a una fuerza F durante un intervalo de tiempo t_2-t_1.

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{F} \cdot dt = m \cdot d\vec{v}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \rightarrow Impulso\ sobre\ una\ partícula\ de\ fluido.$$

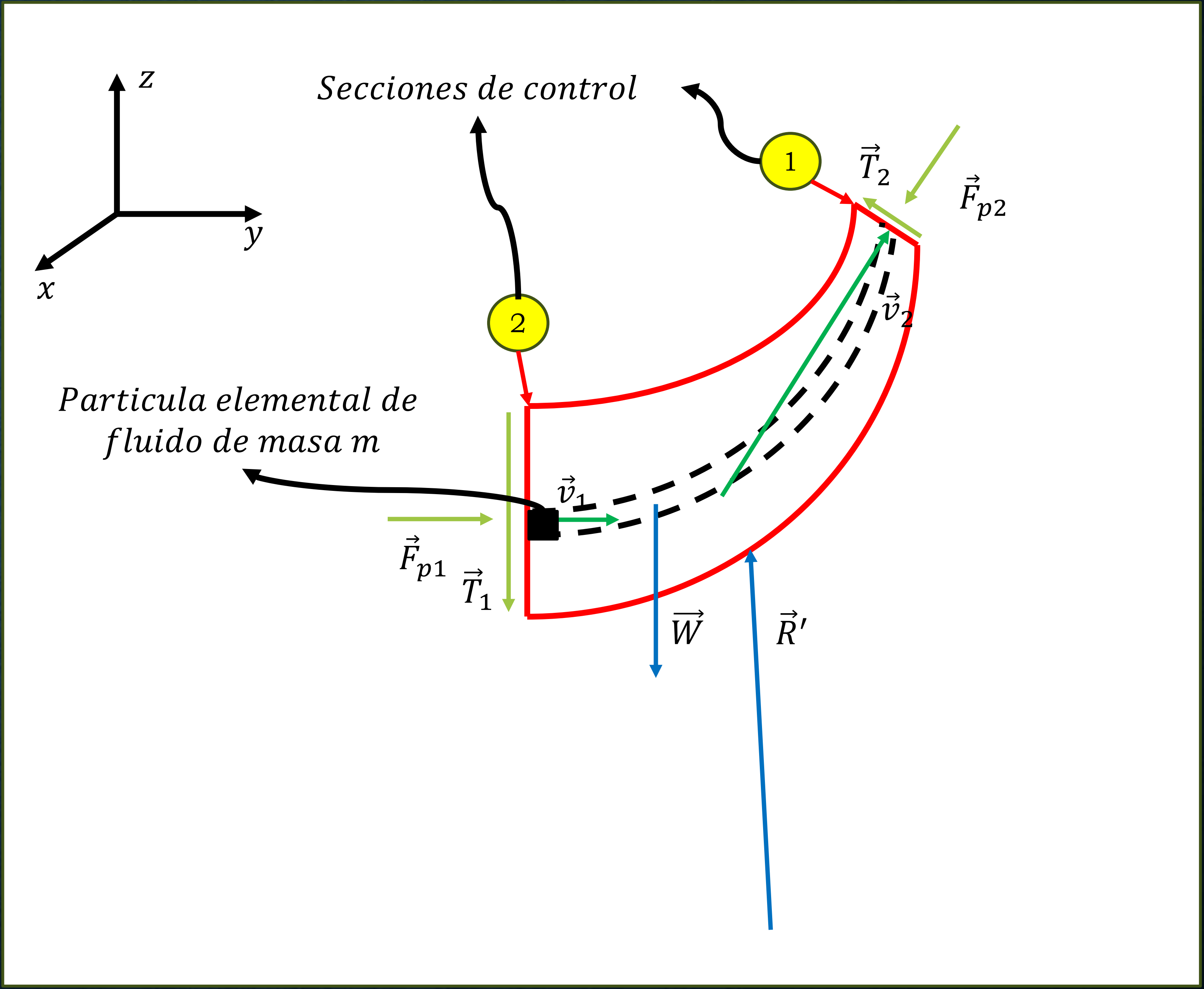
INTRODUCCIÓN

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$
$$\text{"Teorema del impulso: impulso sobre una partícula del fluido"}$$

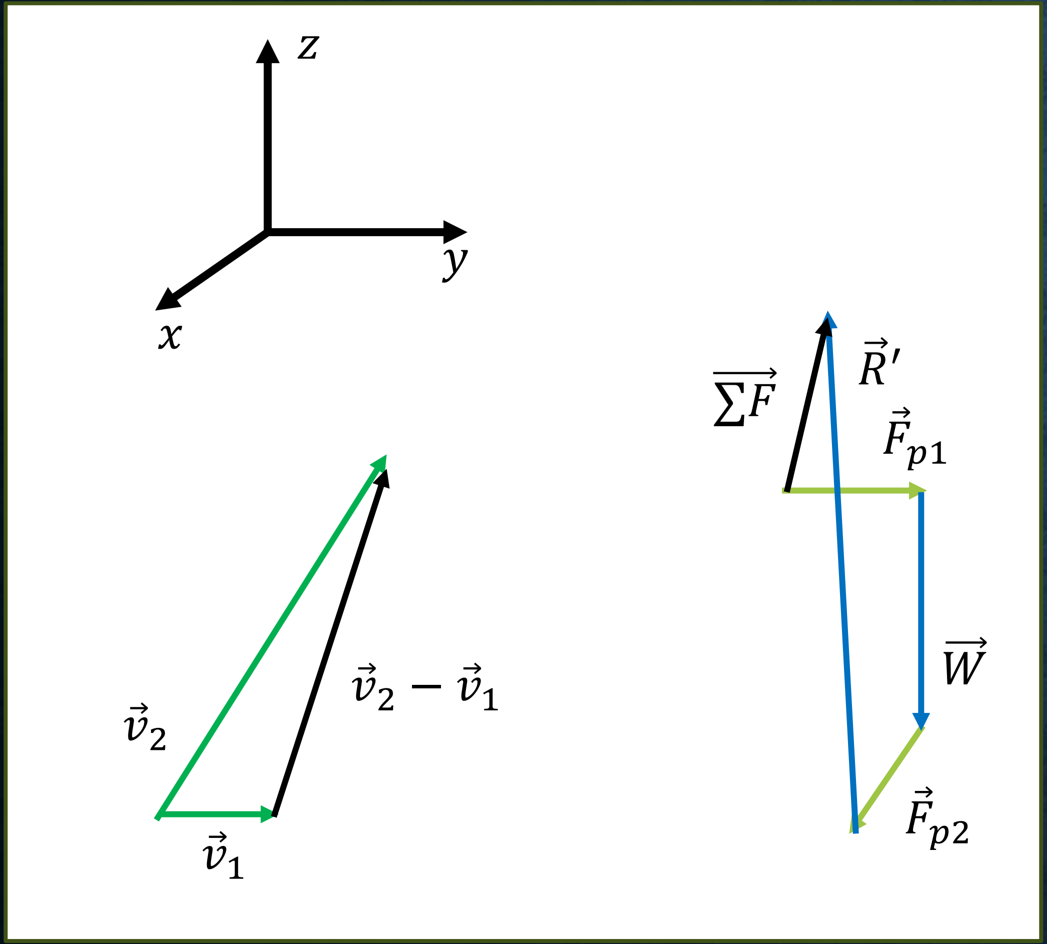
$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt \rightarrow \textit{Impulso de la fuerza F que en general variará con el tiempo en el intervalo } t_2 - t_1.$$

$$m\vec{v} \rightarrow \textit{Cantidad de movimiento de la partícula.}$$

DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DEL IMPULSO O DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO



DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DEL IMPULSO O DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO



- Las *fuerzas normales de presión*: $\vec{F}_{p1}$ ejercida por el fluido eliminado a la izquierda de la sección 1 y $\vec{F}_{p2}$ a la derecha de la sección 2 sobre la masa aislada.
- Las *fuerzas tangenciales* $\vec{T}_1$ y $\vec{T}_2$ en estas mismas secciones debidas a la viscosidad.
- La *resultante* $\vec{R}'$ de todas las fuerzas normales y tangenciales ejercidas por las paredes laterales del tubo o por el fluido circundante (según se trate de un tubo material o de un tubo de fluido aislado en el interior del resto del fluido).
- La *fuerza de la gravedad* $\vec{W}$, que es la fuerza de atracción de la tierra sobre el fluido aislado.

DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DEL IMPULSO O DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Pasos para realizar la deducción:

1. Aplicar la 2da ley de Newton a una *partícula*.
2. Integrar incluyendo todas las partículas de un mismo *filamento de corriente*.
3. Integrar incluyendo todos los tubos del *filamento de corriente*.

DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DEL IMPULSO O DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

1. Aplicar la 2^{da} ley de Newton a una *partícula*.

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}_x = m\dfrac{d\vec{v}_x}{dt} \\[2ex] \vec{F}_y = m\dfrac{d\vec{v}_y}{dt} \\[2ex] \vec{F}_z = m\dfrac{d\vec{v}_z}{dt} \end{array} \right.$$

$$dF_x = m\frac{dv_x}{dt} = \rho \cdot dQ \cdot dt \cdot \frac{dv_x}{dt}$$

$$dF_x = \rho \cdot dQ \cdot dv_x$$

$dF_x \rightarrow resultante\ según\ el\ eje\ x\ de\ todas\ las\ fuerzas\ que\ actúan\ sobre\ la\ partícula.$

$m \rightarrow masa\ de\ la\ partícula\ que\ en\ realidad\ es\ infinitesimal, ya\ que\ m = \rho \cdot d\tau\ (donde\ d\tau\ -\ volumen\ de\ la\ particula) = \rho dQdt$

DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DEL IMPULSO O DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

2. Integrar incluyendo todas las partículas de un mismo *filamento de corriente*.

$$dF_x = \rho \cdot dQ \cdot dv_x \quad \begin{cases} \rho = C \rightarrow fluido\ incompresible \\ dQ = C \rightarrow movimiento\ permanente \end{cases}$$

$$\int_1^2 dF_x = \rho \cdot dQ \int_1^2 dv_x = \rho \cdot dQ \cdot (v_{x2} - v_{x1})$$

DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DEL IMPULSO O DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

3. Integrar incluyendo todos los tubos del *filamento de corriente*.

$$\boldsymbol{F_x = \rho \cdot \int (v_{x2} dQ - v_{x1} dQ)}$$

Teorema del impulos o de la cantidad de movimiento

$F_x \rightarrow$ *resultante según el eje x de todas las fuerzas exteriores a la masa de fluido aislada. Las fuerzas interiores, o sea las que unas partículas de la masa aislada ejercen sobre otras de la misma masa aislada, por la* 3^{ra} *ley de Newton (principio de acción y reacción) son iguales dos a dos y de signo contrario se reducen a* 0.

EXPRESIÓN PRÁCTICA DEL TEOREMA DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

$$\left\{\begin{array}{l} \boxed{\boldsymbol{F_x = \rho \cdot Q \cdot (v_{x2} - v_{x1})}} \\ \boxed{\boldsymbol{F_y = \rho \cdot Q \cdot (v_{y2} - v_{y1})}} \\ \boxed{\boldsymbol{F_z = \rho \cdot Q \cdot (v_{z2} - v_{z1})}} \end{array}\right.$$

$$\boxed{\boldsymbol{\vec{F} = \rho \cdot Q \cdot \Delta\vec{v}}}$$

$\vec{F}(F_x, F_y, F_z) \rightarrow$ *resultante de todas las fuerzas exteriores que se ejercen sobre el fluido aislado (limitado por el tubo de corriente y dos secciones de control convenientemente escogidas). Esta resultante incluye también las fuerzas de viscosidad que las paredes del tubo ejercen sobre el fluido aislado.*

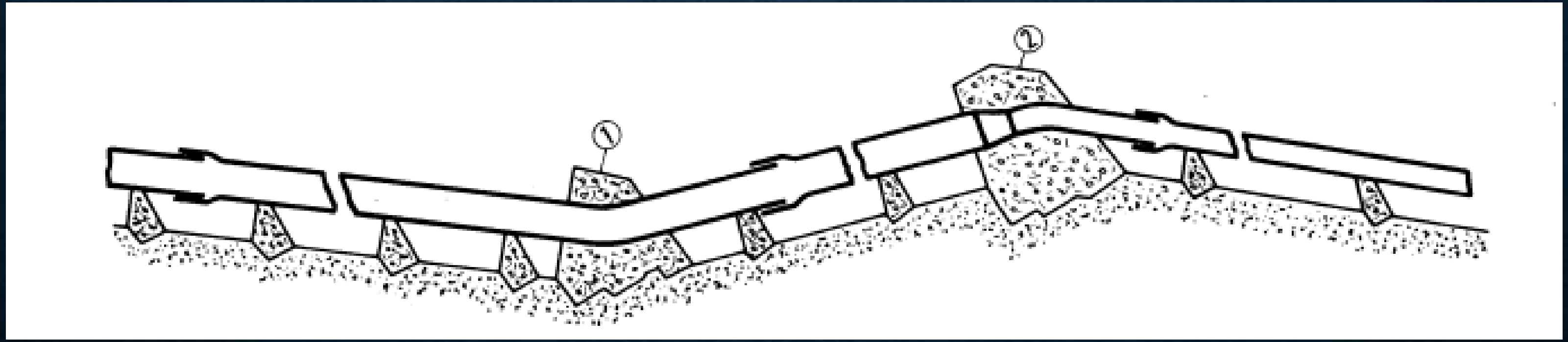
$\vec{v}(v_x, v_y, v_z) \rightarrow$ *velocidad media de la corriente en la sección respectiva.*

APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN CODO

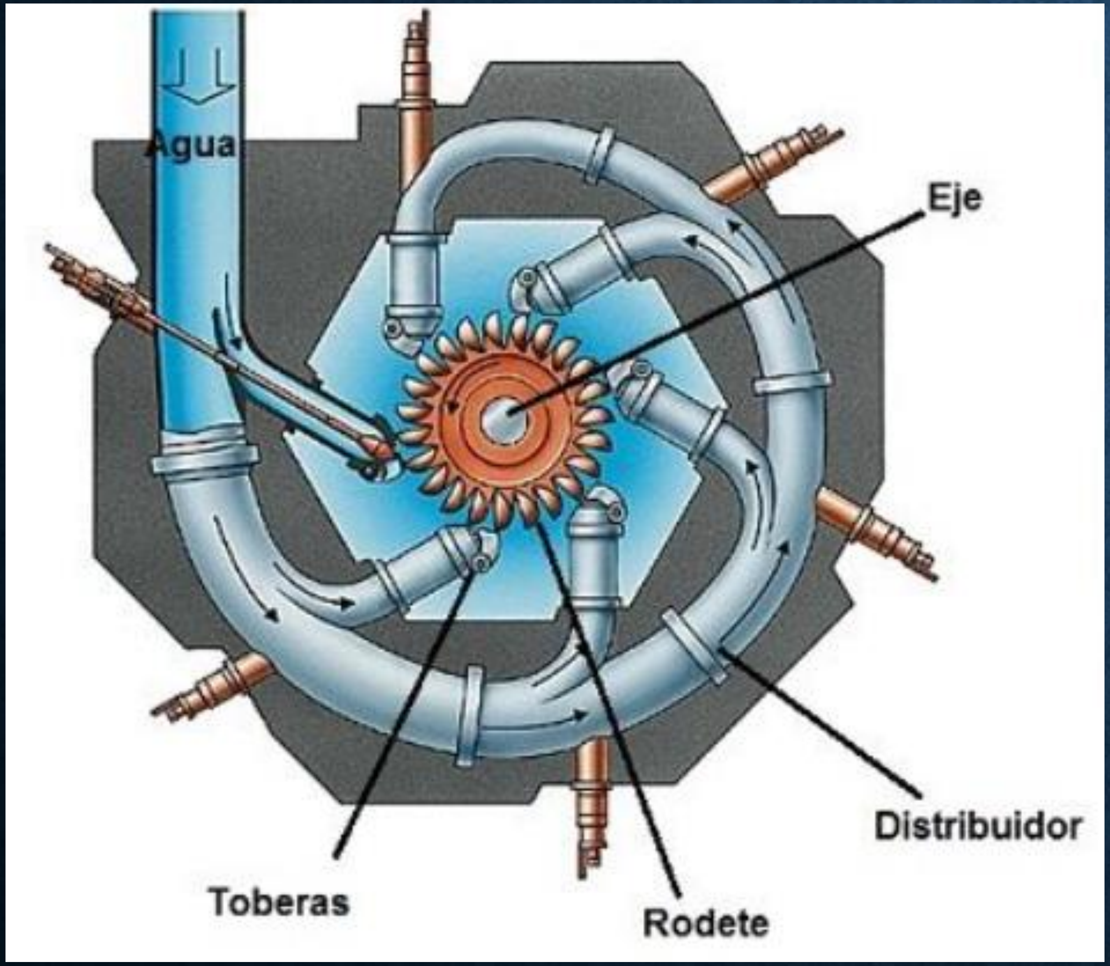
El fluido, al cambiar en un codo su cantidad de movimiento, esta sometido a un sistema de fuerzas cuya resultante viene dad por la siguiente ecuación:

$$\boxed{\vec{F} = \rho \cdot Q \cdot \Delta\vec{v}}$$

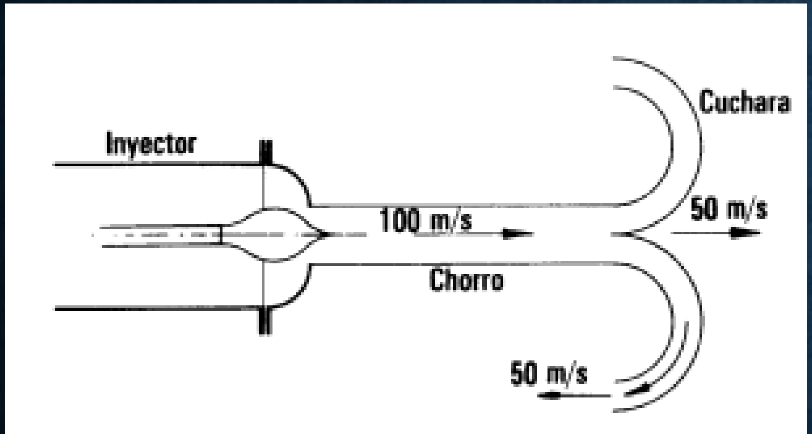
Según la tercera ley de Newton, el fluido reacciona contra el conducto con una fuerza igual y de sentido contrario. El cálculo previo de esta última fuerza (reacción) es necesario, por ejemplo, para los proyectos de anclajes de la tubería forzada que conduce el agua desde el embalse a las turbinas en una estación hidroeléctrica. La figura a continuación representa un tubería forzada, donde el agua cambia su cantidad de movimiento en 1 y 2, precisamente donde se han situado los anclajes.



APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN



APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN



En el rodete de una turbina de acción los álabes, que tienen forma de cucharas, se fijan en su periferia. El agua al incidir en uno de estos álabes es desviada, variando así su cantidad de movimiento.

- Si el rodete esta fijo (puesta en marcha del grupo) esta fuerza multiplicada por el radio del rodete es la contribución de dicho álabe al par de arranque.
- Si el rodete gira, el álabe tendrá una velocidad $u = 50 \, {}^{m}/_{s}$; la misma fuerza multiplicada por u será la contribución de dicho álabe a la potencia del rodete.

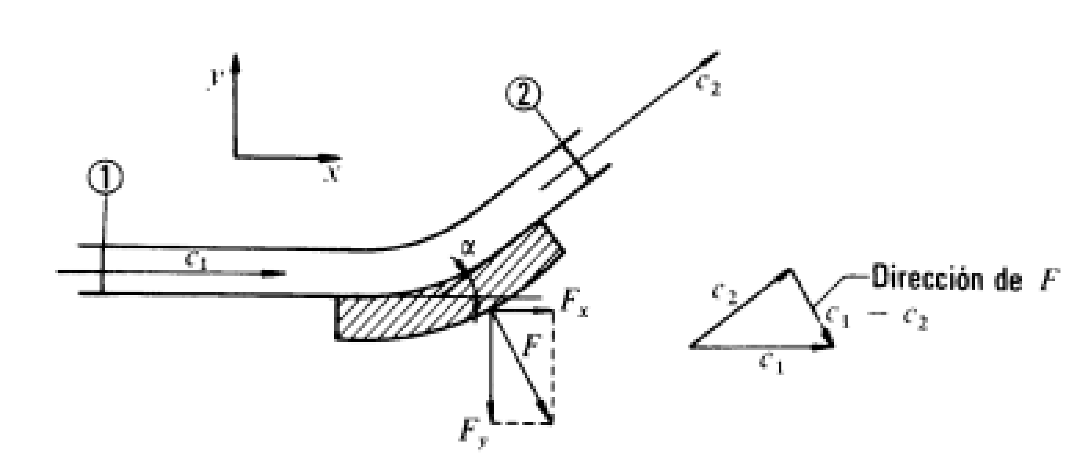
$$P = Fu$$

APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN

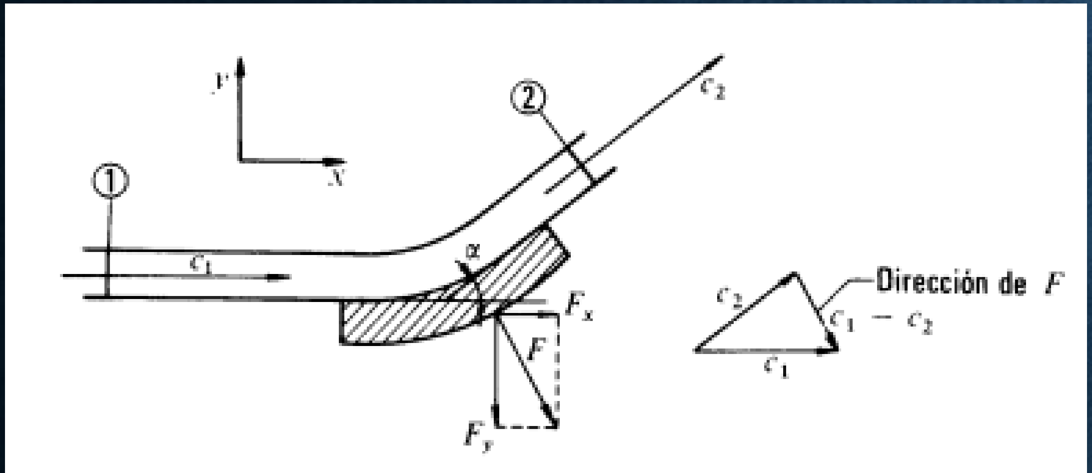
Estudiaremos los siguientes casos:

1. Un solo álabe fijo: despreciando el rozamiento $c_2 = c_1$. La fuerza que el fluido ejerce sobre el álabe es la reacción, o sea igual y de sentido contrario a la ecuación:

$$\boxed{\vec{F} = \rho \cdot Q \cdot \Delta\vec{v}}$$



APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN



Fuerzas sobre el álabe

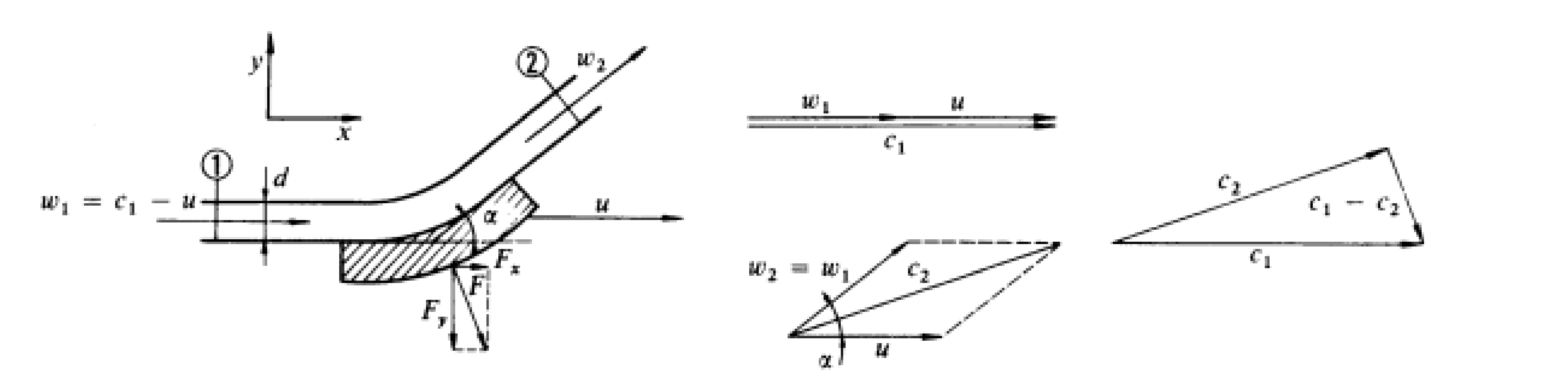
$$c_{1x} = c_1, \qquad c_{2x} = c_2 cos\alpha$$
$$c_{1y} = 0, \qquad c_{2y} = c_2 sen\alpha$$

$$F_x = \rho \cdot Q \cdot (c_1 - c_2 cos\alpha)$$

$$F_y = -\rho \cdot Q \cdot c_2 sen\alpha$$

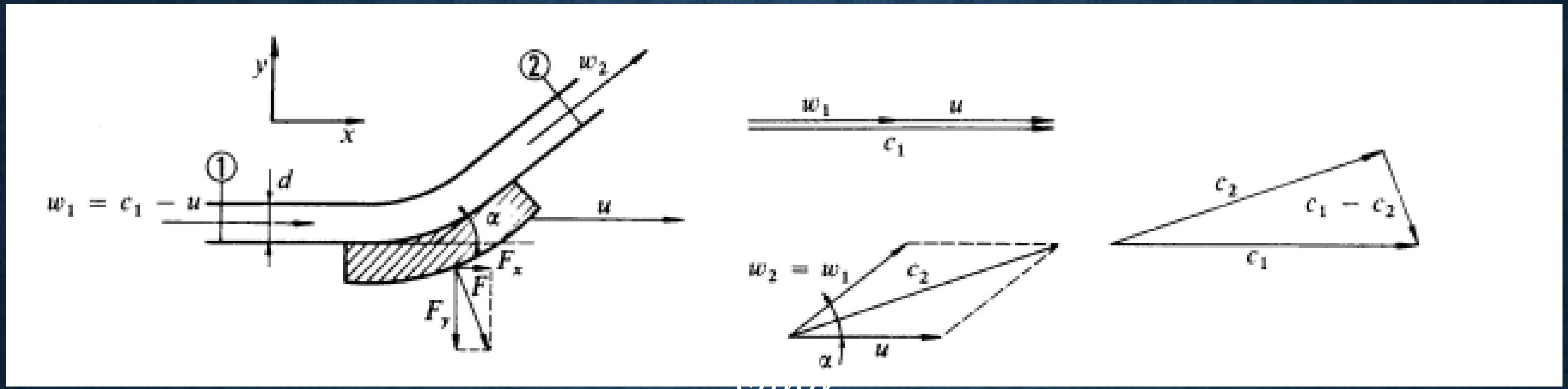
APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN

2. Un solo álabe movimiento: el álabe se mueve con movimiento de traslación y velocidad $\vec{u}$ en la misma dirección que $\vec{c}_1$, que es la velocidad del chorro antes del álabe. La velocidad relativa del agua con respecto al álabe a la entrada será $\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}$. Despreciando el rozamiento la velocidad a la salida $\vec{w}_2$ será igual a $\vec{w}_1$ en módulo; pero formará un ángulo α con $\vec{u}$.



$$\vec{c}_2 - \vec{c}_1 = (\vec{w}_2 + \vec{u}) - (\vec{w}_1 + \vec{u}) = \vec{w}_2 - \vec{w}_1$$

APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN



$$w_{1x} = c_1 - u, \qquad w_{2x} = (c_1 - u)cos\alpha$$

$$w_{1y} = 0, \qquad w_{2y} = (c_1 - u)sen\alpha$$

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}(c_1 - u)$$

$$F_x = \frac{\pi d^2}{4}\rho \cdot (c_1 - u)^2(1 - cos\alpha)$$

$$F_y = -\frac{\pi d^2}{4}\rho \cdot (c_1 - u)^2 sen\alpha$$

APLICACIONES: FUERZA SOBRE UN ÁLABE Y POTENCIA DE UNA TURBINA DE REACCIÓN

3. Un *rodete* que consta de una serie de álabes dotados de la misma velocidad u se aprovecha ya el caudal total del chorro que sale del inyector de la turbina "Q".

$$F_x = Q \cdot \rho \cdot (c_1 - u)(1 - cos\alpha)$$

$$F_y = -Q \cdot \rho \cdot (c_1 - u)sen\alpha$$

Como el álabe no se desplaza en la dirección y, la fuerza F_y no realiza trabajo. La potencia teórica de la turbina será:

$$P = Q \cdot \rho \cdot (c_1 - u)(1 - cos\alpha)u$$

$$(Potencia\ teórica\ de\ una\ turbina\ de\ acción)$$