

**GOLPE DE ARIETE, LÍNEA DE ENERGÍA Y COMPRESIBILIDAD DEL AIRE  
POR MEDIO DE ALMENARAS**

**EVELIA MILENA JARABA LOZANO  
ADRIANA PAOLA MÉNDEZ NAVARRO  
GILBERTO SALAZAR CANTOR**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TESIS DE GRADO  
GIRARDOT  
2009.**

## INTRODUCCIÓN

Históricamente La hidráulica es la parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos con aplicación a problemas de naturaleza práctica y teórica.

El conocimiento de las fuerzas ejercidas por los fluidos en movimiento es de importancia en el análisis y diseño de dispositivos hidráulicos. La experimentación, cada vez más continua y extensa, proporciona sin cesar nuevos datos para conocer las leyes de variación de los coeficientes fundamentales.

El laboratorio, es un elemento de formación que pretende principalmente fijar criterios teóricos aprendidos y fomentar el espíritu de investigación y de trabajo práctico de los estudiantes.

El laboratorio de Hidráulica de tuberías golpe de ariete línea de energía y compresibilidad por medio de almenaras, está fundamentado para introducir a los futuros ingenieros civiles de la corporación universitaria minuto de dios regional Girardot, en los procedimientos elementales de un circuito hidráulico. Así mismo estudiar los fenómenos, leyes, teoremas e hipótesis de la hidráulica clásica y moderna como parte de la ingeniería civil pasando a través de la experimentación que en su momento realizaron los científicos como Sir Isaac Newton, Galileo y Arquímedes entre otros; quienes sentaron las bases necesarias para el estudio de la Hidráulica como herramienta en la ingeniería hidráulica.

Este trabajo de grado, realiza el diseño y montaje de tres ensayos de hidráulica de tuberías los cuales son: Golpe de ariete, el cual es un fenómeno hidráulico que se presenta en las tuberías cuando se tiene un cierre brusco de válvulas, un paro de equipos de bombeo o cualquier cambio de velocidad en el flujo, Línea de energía, es la suma de las alturas geométricas es una línea ideal representativa del nivel de energía real, es decir, el plano de carga particular que existe en cada punto y Se obtiene restando del plano de carga inicial, el valor de las pérdidas de carga habidas por toda causa entre el origen y el punto considerado, compresibilidad por medio de almenaras en este se produce un cambio de presiones que presentan los fluidos al disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos. Al actuar como pozos piezométricos, donde se amortiguan las variaciones de presión

## JUSTIFICACIÓN

Los problemas serios de los sistemas de tuberías son los provocados por la cavitación y el funcionamiento no estacionario. Los errores o inexactitudes en las hipótesis del cálculo estacionario -rugosidad, pérdidas singulares, envejecimiento- no suelen tener como consecuencia más que una pequeña diferencia entre el caudal real y el calculado. Sin embargo, los transitorios originados durante el llenado o vaciado de las tuberías, o por las variaciones del flujo debidas a la maniobra de las válvulas, a la parada de las bombas, etc. pueden generar sobrepresiones excesivas. Otras veces las sobrepresiones no son peligrosas, pero las fluctuaciones generadas por las ondas reflejadas pueden entrar en resonancia con algún elemento del sistema.

El golpe de ariete es conocido por la gente, aún cuando ésta no entienda de hidráulica porque se produce en las instalaciones domésticas de conducción de agua, en forma de martilleo, cuando se abre o cierra con rapidez una llave de paso en una tubería que conduzca agua a velocidad alta. El golpe de ariete es problema sino de tuberías. Los ingenieros especialistas, lo estudian muy detenidamente porque conocen bien sus efectos devastadores. Sobre todo, se esfuerzan para determinar las medidas que permiten disminuir su intensidad y preparar las tuberías para resistir los esfuerzos que produce. La Línea de energía o de elevación obtenida como la suma de la cabeza de presión, la cabeza de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia. La compresibilidad representa la relación entre los cambios de volumen y los cambios de presión a que esta sometido un fluido. Las variaciones de volumen pueden relacionarse directamente con variaciones de la masa específica si la cantidad de masa permanece constante. En general se sabe que en los fluidos la masa específica depende tanto de la presión como de la temperatura.

En la actualidad, el cálculo del golpe de ariete, línea de energía y compresibilidad por almenaras, se realiza por métodos informáticos y experimentales mediante ensayos para obtener resultados de estos fenómenos.

En la Ingeniería, es importante determinar la magnitud de esta sobre presión con el objeto de poder diseñar las tuberías con suficiente resistencia para soportarla. En las válvulas operadas a discreción la sobrepresión no es muy grande porque se procura que  $T_v$  sea grande (cierre lento). Pero en las salidas de operación de equipos (parada de bombas, daño de válvulas, etc.) la sobrepresión puede ser muy grande, por lo que se procura disminuirla por medio de chimeneas de equilibrio.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el montaje del laboratorio de hidráulica de tuberías, para el ensayo de golpe de ariete, línea de energía y compresibilidad del aire por medio de almenaras, en la Corporación Universitaria Minuto de Dios regional Girardot para el Año 2009.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información acerca de los ensayos que se diseñaran con el propósito de obtener la documentación necesaria para el desarrollo de los ensayos propuestos.
- Obtener los cálculos que se requieren para el diseño de los ensayos a efectuar, con el propósito de adquirir resultados teóricos para implementarlos en la estructura que se propone realizar.
- Analizar los procedimientos que se requieren para cada uno de los ensayos propuestos, con el fin de establecer el montaje y parámetros requeridos en la infraestructura de la sede García Herreros.
- Desarrollar la estructura que se requiere para la implementación de los ensayos en mención, con miras de obtener cálculos específicos de cada una de las pruebas a ejecutar.

## CAPITULO 1.

### RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN ACERCA DE LOS LABORATORIOS QUE SE VISITARON PARA EL DESARROLLO DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS.

Para obtener información sobre los ensayos a realizar en el proyecto de grado, el laboratorio de hidráulica de tuberías, sobre el Golpe de ariete, Línea de Energía y Compresibilidad del aire por medio de almenaras para la universidad minuto de Dios regional Girardot. Se realizó visitas a tres instituciones universitarias de la ciudad de Bogotá. **PONTIFICIA JAVERIANA, CATÓLICA DE COLOMBIA Y MINUTO DE DIOS SEDE CARLOS EDUARDO ACOSTA.**

Inicialmente se visito la Pontificia Javeriana, en la que hace 6 años atrás no manejan este laboratorio porque las tuberías que utilizaban se deterioraron y lo desmontaron, al igual se tuvo información del sistema de operación para estos ensayos, la tubería era de 3" la almenara era circular y un tanque elevado y uno de descarga y un tanque de desagüe. Se obtuvo registro fotográfico de los materiales utilizados. **El Ingeniero Enrique Pardo**, dijo que es necesario que los alumnos tengan conocimiento de este fenómeno por medio de los ensayos en el laboratorio, y están en proceso de volver a montar la estructura.





Luego la visita a la universidad Católica de Colombia sede claustro, donde la estructura es pequeña allí solo se hace el ensayo de Golpe de ariete, el **Ingeniero Federico Rizo** aportó con aspectos para mejorar el sistema de la estructura ya que se presentan algunos problemas por el tipo de material en que está. Este laboratorio funciona mediante bombeo para la alimentación del agua al tanque de almacenamiento, el cual está en vidrio al igual que el tanque de desagüe y el de descarga maneja una cabeza de presión constante con base al rebose la cual afora por una tubería de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ". La Almenara o Chimenea es circular en acrílico de 1.20 m de altura con empalmes para adaptador macho  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ". PVC, con válvulas de cierre rápido en parte alta. Con una válvula de compuerta para controlar el caudal y la válvula de cierre rápido para la generación del golpe de ariete. De este laboratorio se obtuvo información de ensayos realizados y registro fotográfico.





Por último y de donde surgió la idea para este proyecto, se visitó la universidad Minuto de Dios de la sede Carlos Eduardo Acosta, donde el **Ingeniero Cristian Augusto Villanueva** dio unas pautas para que se mejore el montaje a realizar teniendo en cuenta que existen algunos aspectos que generarían mejores resultados para estos ensayos por ello plantea cambios y anexos.

Este laboratorio consta con un diseño complejo, su estructura está conformada por Tanques para almacenamiento de agua en acrílico con paredes de 1cm de espesor con sus respectivas bases metálicas, el tanque de distribución de agua con dimensiones de 50cm\*50cm de base y altura 50 cm, en su interior se encuentran dos paredes de rebose de 30cm y 40cm. Además un tanque de desagüe con una base de 28cm\*28cm y altura de 40cm este es para realizar la toma de caudales. Tiene tres Almenaras o Chimeneas en acrílico de 1.20 m de altura siendo triangular, rectangular y circular con empalmes en PVC, con válvulas de cierre rápido y para regular el caudal. Manejando tubería de  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  pulgada. Para realizar estos ensayos hay que tener en cuenta que este laboratorio solo cuenta con tres almenaras por ello es necesario después de hacer la prueba en la tubería de  $\frac{1}{2}$  cambiar las almenaras a la de  $\frac{3}{4}$  para diferenciar las pérdidas y la línea de energía en cada tipo de tubería. Se obtuvo pruebas de estos ensayos y registro fotográfico.



## **CAPITULO 2.**

### **OBTENCIÓN DE LOS CÁLCULOS QUE SE REQUIEREN PARA EL DISEÑO DE LOS ENSAYOS A EFECTUAR, EN LA ESTRUCTURA QUE SE PROPONE DISEÑAR.**

#### **GOLPE DE ARIETE**

El estudio del golpe de ariete, se basa en la teoría de la onda elástica, lo que se interpreta como el desplazamiento, a una velocidad determinada, de las variaciones de presión a lo largo de una tubería. Con este planteamiento, se elimina la idea inicial de asemejar la tubería de conducción como un cuerpo rígido. El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad.

El valor de la sobrepresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños. No obstante, si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al llegar la fase de sobrepresión estas cavidades de vapor se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso, no muy frecuente, de que el valor de la sobrepresión producida rebase a la de cálculo, con el consiguiente riesgo de rotura.

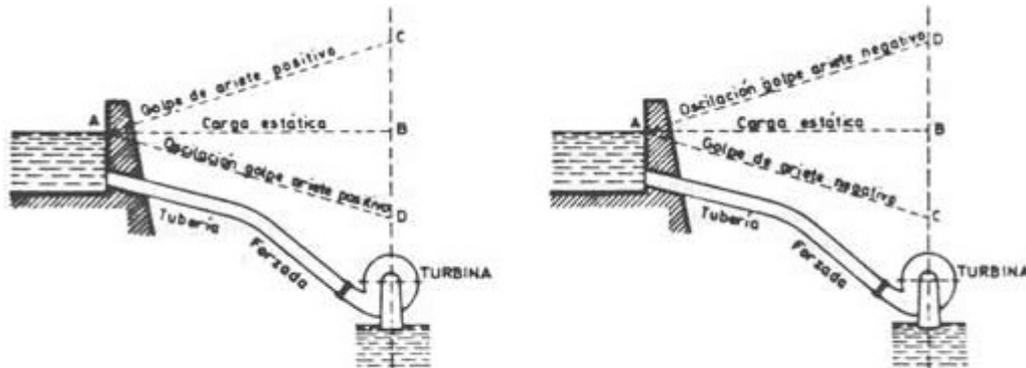
También se conoce como el choque que se produce sobre las paredes de un conducto cuando el movimiento del líquido es modificado bruscamente. En otras palabras, consiste al cerrarse o abrirse bruscamente una válvula o al ponerse en marcha o detenerse una máquina hidráulica.

Casos en que se puede presentar golpe de ariete:

- Cambios en la abertura de la válvula, accidental o planeado.
- Arranque o interrupción de bombas.
- Cambios en la demanda de potencia de turbinas.
- Cambios de elevación del embalse.
- Ondas en el embalse.
- Vibración de impulsores en bombas, ventiladores o turbinas.
- Variaciones en la apertura o cierre del gobernador o regulador de una turbina causadas por cambios en la carga de los sistemas eléctricos.
- Vibración de accesorios deformables tales como válvulas.

El golpe de ariete puede ser positivo o negativo de acuerdo a la forma en que se produzca. Cuando se cierra súbitamente una válvula se presenta un golpe

de ariete positivo o sobrepresión. El golpe de ariete negativo o subpresión ocurre al efectuarse la apertura brusca de una válvula.



Golpe de ariete positivo por cierre de la válvula.

Golpe de ariete negativo por apertura de la válvula.

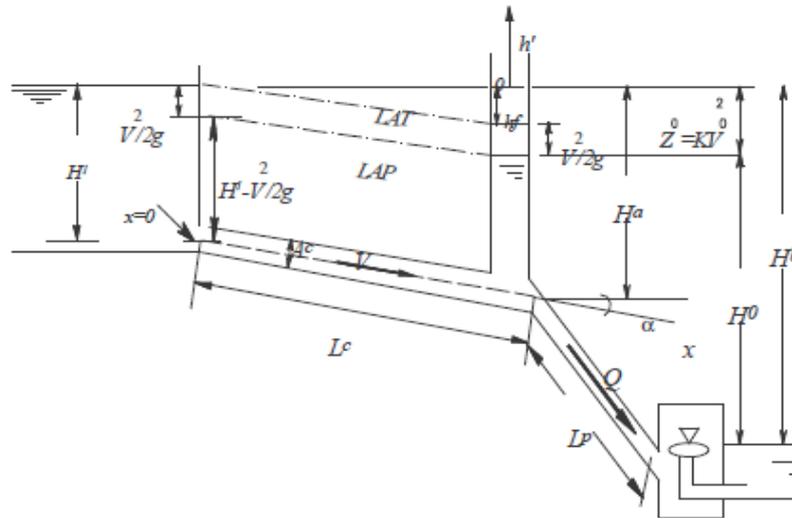
## CHIMENEA DE EQUILIBRIO

Consiste en una tubería de diámetro superior al de la tubería, colocada verticalmente y abierta en su extremo superior a la atmósfera, de tal forma que su altura sea siempre superior a la presión de la tubería en el punto donde se instala en régimen permanente.

Este dispositivo facilita la oscilación de la masa de agua, eliminando la sobrepresión de parada, por lo que sería el mejor sistema de protección si no fuera por aspectos constructivos y económicos. Sólo es aplicable en instalaciones de poca altura de elevación.

Las Chimeneas son altas para aprovechar que la velocidad del viento es más constante y elevada a mayores alturas. Cuanto más rápidamente sopla el viento sobre la boca de una chimenea, más baja es la presión y mayor es la diferencia de presión entre la base y la boca de la chimenea, en consecuencia, los gases de combustión se extraen mejor.

El objetivo de la chimenea de equilibrio o almenara es recibir la sobrepresión causada por el cierre (o apertura) de válvulas o compuertas instaladas en una conducción. La onda de sobrepresión penetra en ella elevando el nivel de agua hasta una sobre-elevación por encima del nivel estático.



### Sistema tanque - tubería - chimenea

#### Período de la tubería

Período o fase de la tubería es el tiempo que la onda de sobrepresión tarda en ir y volver de una extremidad a otra de la tubería, generalmente entre la válvula de cierre y el tanque de carga. Para tuberías sin chimenea de equilibrio el período de la tubería está dado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{2L}{C}$$

T: período de la tubería, tiempo máximo de reflexión de la onda de sobrepresión (s).

L: longitud de la tubería (m).

C: Celeridad o velocidad de propagación de la onda de sobrepresión (m/s).

Si existe en la conducción chimenea de equilibrio, el período se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{A_{ch}L}{gA_c}}$$

$A_c$ : área transversal de la conducción.

$Ach$ : área transversal de la chimenea.

$g$ : aceleración de la gravedad.

$L$ : longitud de la tubería

## TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA Y TIEMPO DE PARADA

Se define el tiempo ( $T$ ) como el intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, total o parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del fluido. Este concepto es aplicable tanto a conducciones por gravedad como a impulsiones, conociéndose en el primer caso como tiempo de cierre de la válvula y como tiempo de parada en el segundo. Para el tiempo de cierre de la válvula se tienen dos tipos:

**Cierre rápido:**  $0 < t_c < 2t_0$ , la presión máxima es la misma que en el cierre instantáneo.

**Cierre lento:**  $t_c > 2t_0$ . la presión máxima es menor que en el caso precedente

Donde:

$t_c$ : tiempo de cierre de la válvula [s]

## SOBREPRESIÓN PRODUCIDA POR EL GOLPE DE ARIETE.

Una vez conocido el valor del tiempo  $T$  y determinado el caso en el que nos encontramos (cierre lento o cierre rápido), el cálculo del golpe de ariete se realizará de la forma siguiente:

**Cierre lento:**

A finales del siglo XIX, **Michaud** propuso la primera fórmula para valorar el golpe de ariete:

$$\Delta H = \frac{2 * L * V}{g * T}$$

Siendo:

$\Delta H$ : Sobrepresión debida al golpe de ariete (mca)

L: Longitud de la tubería (m)  
 V: Velocidad de régimen del agua (m/s)  
 T: Tiempo de parada o de cierre, según el caso (s)  
 g: Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>

Para deducir esta ecuación, Michaud no tuvo en cuenta ni la compresibilidad del agua ni la elasticidad de la tubería.

### **Cierre rápido**

Considerando el caso más peligroso para la tubería, es decir, el cierre total de la válvula:

Expresión que dedujo **Allievi** en 1904, con la que se calcula el valor máximo del golpe de ariete que puede producirse en una conducción. Puede observarse cómo el valor de la sobrepresión es independiente de la longitud de la tubería.

$$\Delta_H = \frac{V * a}{g}$$

Cuando existe chimenea o almenara de equilibrio en la conducción, la sobrepresión máxima se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$h'_{\max} = \frac{Q}{A_{ch}} \sqrt{\frac{A_{ch} * L}{A_c * g}} = V_{ch} \sqrt{\frac{v_{ch}}{A_c * g}}$$

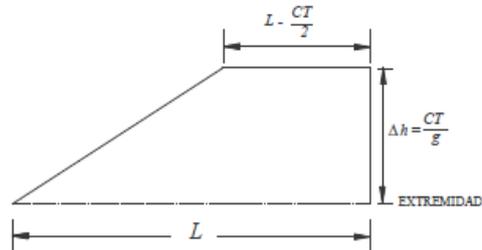
$V_{ch}$ : velocidad en la chimenea

$v_{ch}$ : volumen de agua en la chimenea

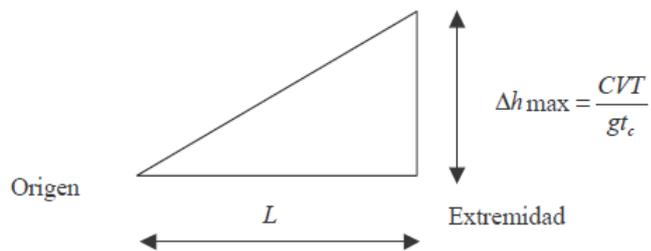
Q: caudal que circula por la conducción

A lo largo de la tubería la sobrepresión se distribuye así:

## Cierre rápido



## Cierre lento



## CELERIDAD DE LA ONDA

La velocidad referida se conoce como celeridad de la onda, y corresponde a la velocidad del sonido dentro del sistema considerado dependiendo del diámetro, espesor y elasticidad de la tubería, así como de la densidad y compresibilidad del líquido.

$$C = \frac{9900}{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}$$

Donde:

C= Celeridad de la onda; m/s

D= Diámetro de los tubos; m

E= Espesor de los tubos; m

K= coeficiente que tiene en cuenta los módulos de elasticidad.

Estos valores se conocen en tablas para determinado material.

El pulso de Jucowski expresado por unidad de peso de fluido, se calcula como:

$$C \cdot \frac{V_o}{g}$$

Donde:

$C$  = es la celeridad de la onda (velocidad relativa de la onda respecto al fluido) de sobrepresión o depresión,

$V_o$  = es la velocidad media del flujo, en régimen,

$g = 9.81m / s^2$  es la aceleración de la gravedad

El coeficiente  $K$  se deduce de la fórmula siguiente:

$$K = \frac{W * C_1}{g * E}$$

Donde:

$W$  = peso específico del agua en  $Kg/m^3$

$g$  = aceleración de la gravedad en  $m/s^2$

$E$  = módulo de Young para el material del tubo en  $Kg/m^2$

$C_1$  = coeficiente adimensional que adopta diferentes valores en función de la tubería y de las juntas.

**Los valores usuales del coeficiente  $K$  se dan en la siguiente tabla:**

Material	K
Acero	0.5
Hierro dulce	0.5
Fundición de hierro	1
Hormigón armado	5
Fibrocemento	4
Polietileno o PVC	33.3

## LÍNEA DE ENERGÍA

Es la línea de alturas total es la representación grafica de la energía de cada sección. Para cada sección representativa puede representarse respecto de un plano de referencia, la energía total (como valor lineal en metros de fluido) y la línea obtenida de esta forma es de gran ayuda en muchos problemas de flujos, las líneas de energías totales tienen una pendiente decreciente en el sentido del flujo, excepto en las secciones donde se añade energía mediante dispositivos mecánicos.

La línea de alturas piezométricas está situada debajo de la línea de alturas totales en una cantidad igual a la altura de velocidad en la sección correspondiente. Las dos líneas son paralelas para todos los tramos en que las secciones rectas tienen la misma área. La ordenada entre el eje de la corriente y la línea de alturas piezométricas es igual a la altura de presión en la sección en cuestión.

En la línea de energía podemos hallar dos (2) modos diferentes de encontrarla una normal, la cual su energía puede aparecer por causas naturales como la gravedad y otra manera puede ser por métodos mecánicos como la colocación de una bomba hidráulica para lograr en un momento dado un aumento en la energía correspondiente a la altura anterior a la bomba

Un fluido en movimiento puede tener cuatro clases de energía: energía estática o de presión  $E_p$ , energía cinética  $E_v$ , energía potencial  $E_q$  y energía interna o térmica  $E_i$ . Si  $E_m$  representa la energía mecánica transferida al fluido (+) o desde él (-), por ejemplo mediante una bomba, ventilador o turbina, y  $E_h$  representa la energía térmica transferida al fluido (+) o desde él (-), por ejemplo mediante un intercambiador de calor, la aplicación de la ley de conservación de energía entre los puntos 1 y 2.

$$(E_p + E_v + E_q + E_i)_1 \pm E_m \pm E_h = (E_p + E_v + E_q + E_i)_2 + \text{perdidas}$$

## ECUACIÓN

$$h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho} = \text{constante}$$
$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + \text{perdidas}(1, 2)$$

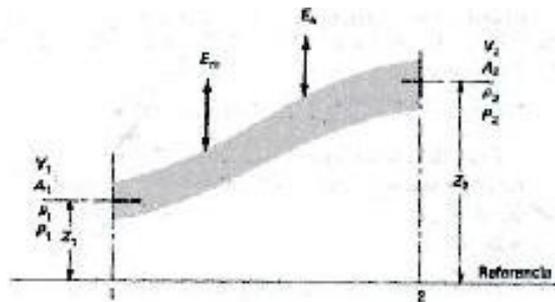
$$(h_1 - h_2) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho} = \text{perdidas}(1,2)$$

Se aprecia que los tres sumandos son, dimensionalmente, una longitud, por lo que el principio normalmente se expresa enunciando que, a lo largo de una línea de corriente, la suma de la altura geométrica ( $h$ ) la altura de velocidad

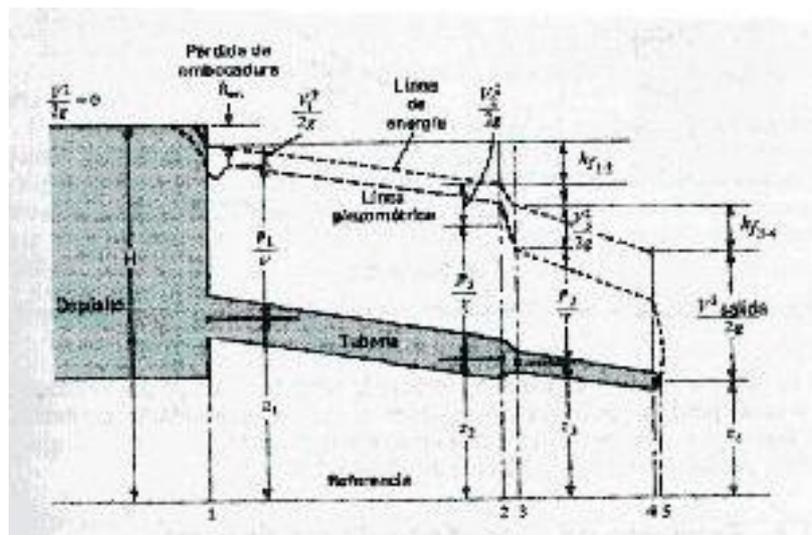
$\frac{v^2}{2g}$  y la altura de presión  $\frac{P}{\rho}$  se mantiene constante.

Si  $L$  es la distancia entre los puntos 1 y 2 (medidos a lo largo de la conducción), entonces el cociente (pérdidas (1,2)) /  $L$  representa la pérdida de altura por unidad de longitud de la conducción. A este valor se le llama pendiente de la línea de energía.

**DIAGRAMA  
ESQUEMÁTICO  
ECUACIÓN DE LA**



**PARA LA  
ENERGÍA.**



**DIAGRAMA DE LA ECUACIÓN DE ENERGÍA APLICADA A UNA TUBERÍA.  
CÁLCULO DEL CAUDAL**

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

V= volumen

T= tiempo promedio

### **CÁLCULO DE LA VELOCIDAD**

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

V= velocidad

Q= caudal

A= Área

### **CÁLCULO DEL ÁREA**

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

Q = caudal promedio

A = área de la tubería

### **CÁLCULO DE CAUDAL DE AGUA EN TUBERÍA**

El cálculo del caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

$$Q = V \cdot S$$

En la que:

Q= es el caudal (m<sup>3</sup>/s)

V= es la velocidad (m/s)

S= es la sección de la tubería (m<sup>2</sup>)

El cálculo de caudales se fundamenta en el Principio de Bernoulli que, para un fluido sin rozamiento, se expresa como:

$$h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho} = \text{constante}$$

Donde

$g$  = es la aceleración de la gravedad

$\rho$  = es el peso específico del fluido

$P$  = es la presión

## FÓRMULAS EXPERIMENTALES PARA LOS ENSAYOS PROPUESTOS

Existen varias fórmulas experimentales que relacionan la pendiente de la línea de energía con la velocidad de circulación del fluido. Cuando éste es agua, quizás las más utilizadas son estas.

### ECUACIÓN DE MANNING

La fórmula de Manning es una expresión del denominado coeficiente de Chézy  $C$  utilizado en la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * J^{0.5}$$

Donde;

$n$  es el coeficiente de rugosidad, depende del material de la tubería

$R_h$  es el radio hidráulico de la sección (área / perímetro mojado = un cuarto del diámetro para conductos circulares a sección plena).

En general, las alturas geométricas son un dato. De esta manera, conocidas las condiciones en un punto (por ejemplo, en un depósito la velocidad nula en la superficie y la presión es la presión atmosférica) y la geometría de la conducción, se pueden deducir las características del flujo (velocidad y presión) en cualquier otro.

Todas las pérdidas localizadas son solamente función de la velocidad, viniendo ajustadas mediante expresiones experimentales del tipo:

$$\text{PERDIDA LOCALIZADA} = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Los coeficientes K se encuentran tabulados en la literatura técnica especializada, o deben ser proporcionados por los fabricantes de piezas para conducciones. En general si se realiza el cálculo sin considerar las pérdidas localizadas, los errores cometidos resultan poco significativos a efectos prácticos. También se suele utilizar el concepto de longitud equivalente para el cálculo de pérdidas localizadas. En este caso, se calcula a partir del diámetro de la tubería y de los valores tabulados para cada tipo de elemento que pueda producir una pérdida localizada, una longitud que, multiplicada por las pérdidas unitarias J, da el valor de las pérdidas localizadas.

$$C = \frac{1}{n} R(h)^{1/6}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

El radio hidráulico, es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, generalmente es representado por la letra R, y expresado en m es la relación entre:

El área mojada (A, en m<sup>2</sup>).

El perímetro mojado (P, en m).

### **ECUACIÓN DARCY – WEISBACH**

La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación ampliamente usada en hidráulica. Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería.

La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia, hasta la forma en que se conoce actualmente:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde

$h_f$  = es la pérdida de carga debida a la fricción

$f$  = factor de fricción de Darcy

$L/D$  = relación entre la longitud y el diámetro de la tubería

$v$  = la velocidad media de flujo

$g$  = que corresponde a la aceleración debida a la gravedad, y se supone constante (9.81m/s<sup>2</sup>).

### ECUACIÓN DE HAZEN-WILLIAMS

Se utiliza particularmente para determinar la velocidad del agua en tuberías circulares llenas, o conductos cerrados es decir, que trabajan a presión.

$$V = 0,8494 * C * \left(\frac{Di}{4}\right)^{0,63} * S^{0,54}$$

En función del diámetro

$$Q = 0,2785 * C * (Di)^{2,63} * S^{0,54}$$

Donde:

Rh = Radio hidráulico = Área de flujo / Perímetro húmedo = Di / 4

V = Velocidad media del agua en el tubo en [m/s].

Q = Caudal ó flujo volumétrico en [m<sup>3</sup>/s].

C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo.

- 90 para tubos de acero soldado.
- 100 para tubos de hierro fundido.
- 128 para tubos de fibrocemento.
- 150 para tubos de polietileno de alta densidad.

$D_i$  = Diámetro interior en [m]. (Nota:  $D_i/4$  = Radio hidráulico de una tubería trabajando a sección llena)

$S$  = [[Pendiente - Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto] [m/m].

Esta ecuación se limita por usarse solamente para agua como fluido de estudio, mientras que encuentra ventaja por solo asociar su coeficiente a la rugosidad relativa de la tubería que lo conduce, o lo que es lo mismo al material de la misma y el tiempo que este lleva de uso.

### **ECUACIÓN DE CHÉZY**

Desarrollada por el ingeniero francés Antoine de Chézy, conocido internacionalmente por su contribución a la hidráulica de los canales abiertos, es la primera fórmula de fricción que se conoce. Fue presentada en 1769. La fórmula permite obtener la velocidad media en la sección de un canal y establece que

$$V = C\sqrt{R * S}$$

$V$  = velocidad media del agua en m/s

$R$  = radio hidráulico

$S$  = la pendiente de la línea de agua en m/m

$C$  = coeficiente de Chézy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin.

## **CAPITULO 3.**

### **ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS QUE SE REQUIEREN PARA CADA UNO DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS.**

## **GOLPE DE ARIETE CON ALMENARA**

Conociendo que el golpe de ariete, es un choque producido por el cierre o apertura rápida de la válvula. En el laboratorio de golpe de ariete para tuberías de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " en PVC y hierro galvanizado, para niveles de agua de 50 y 40 cm y de espesor de 1 cm cada pared con separación de 10 cm la una de la otra.

En el diámetro de  $\frac{1}{2}$ " encontramos que la altura de presión de agua se llega a elevar hasta treinta y siete (37) veces con el caudal máximo que se puede medir en el laboratorio además este es el máximo valor encontrado en todos los laboratorios que se realizan de golpe de ariete con almenara teniendo en cuenta los diámetros de las tuberías, caudales máximos y mínimos.

Por último, se puede obtener que los valores más altos se encuentran en la parte más cercana de la válvula de cierre rápido ya que a medida que se va acercando al tanque y alejándose de la válvula el golpe de ariete se va disipando.

## **LÍNEA DE ENERGÍA**

En el ensayo de línea de energía, se puede encontrar que la línea de energía en caudales pequeños es mínimo a diferencia de los caudales máximos diferenciando los diámetros de las tuberías que a medida que se abre la válvula de cierre lento las pérdidas entre una y otra almenara son mayores.

Teniendo en cuenta los diámetros de la tubería las mayores pérdidas se encuentran en el diámetro más pequeño

La línea de alturas total es la representación grafica de la energía de cada sección. Para cada sección representativa puede representarse respecto de un plano de referencia, la energía total (como valor lineal en metros de fluido) y la línea obtenida de esta forma es de gran ayuda en muchos problemas de flujos, las líneas de energías totales tienen una pendiente decreciente en el sentido del flujo, excepto en las secciones donde se añade energía mediante dispositivos mecánicos.

La línea de alturas piezométricas, está situada debajo de la línea de alturas totales en una cantidad igual a la altura de velocidad en la sección correspondiente. Las dos líneas son paralelas para todos los tramos en que las secciones rectas tienen la misma área. La ordenada entre el eje de la corriente y la línea de alturas piezométricas es igual a la altura de presión en la sección en cuestión.

En la línea de energía se pueden localizar dos (2) modos diferentes de encontrarla, una normal la cual su energía puede aparecer por causas naturales como la gravedad y otra manera puede ser por métodos mecánicos como la colocación de una bomba hidráulica para lograr en un momento dado un aumento en la energía correspondiente a la altura anterior a la bomba

## **COMPRESIBILIDAD DEL AIRE POR ALMENARAS**

La compresibilidad es la propiedad que presentan los fluidos al disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos, es mayor en los gases que en los líquidos y sólidos. En un sistema de tuberías, para disipar rápidamente la cantidad de movimiento, es necesario colocar conductos que soporten las altas presiones producidas, para esto se puede utilizar almenaras también llamadas chimeneas de equilibrio, para evitar las presiones elevadas si bien se tendrán oscilaciones de flujo dentro de ella.

Este ensayo a diferencia del golpe de ariete se hace con los registros o llaves de las chimeneas en la parte alta cerradas para ver el aumento de la sobrepresión más elevado porque no cuenta con presión atmosférica y verificar diferentes situaciones en las cuales se puede encontrar la tubería cuando no existe la presión atmosférica donde se comprime el fluido que sube por la chimenea.

## **PROCEDIMIENTO**

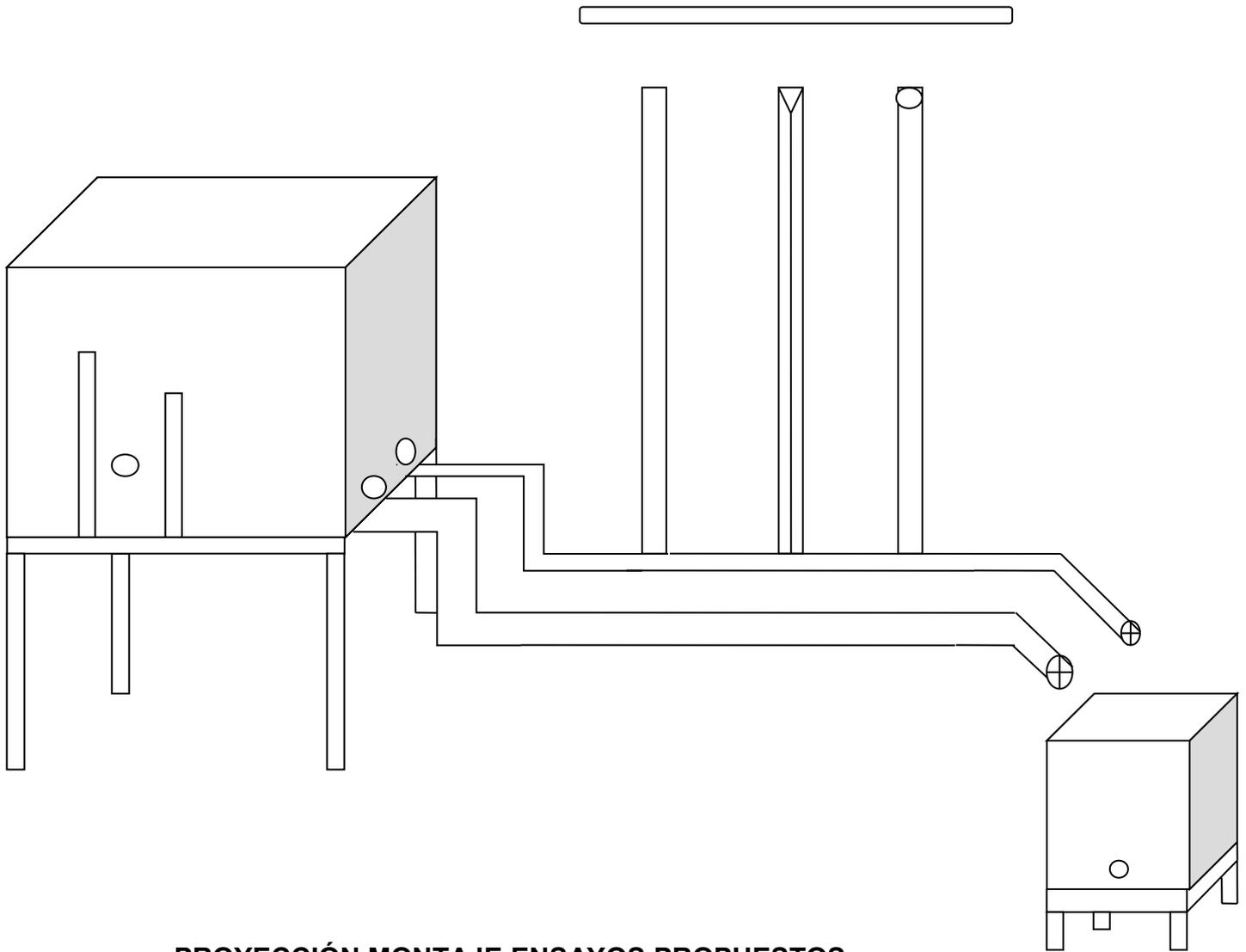
El laboratorio de golpe de ariete, línea de energía y compresibilidad del aire por medio de almenaras es donde se utilizan varios de los elementos para la realización de estos ensayos.

Por medio de los cálculos físicos se conoce lo teórico, con los resultados se muestran los ensayos reales con datos tomados en el laboratorio.

- Para el golpe de ariete se tendrá en cuenta el fluido del agua y luego la sobrepresión que ejerce al cerrar bruscamente la válvula.
- Para el de línea de energía se conoce que al estar el tanque y los tubos piezométricos comunicados a la misma presión. Esta presión atmosférica o superficie libre en su nivel de altura del líquido es el mismo. Por lo que se concluye que la superficie libre de un líquido estático es siempre horizontal.
- Compresibilidad del aire por medio de almenaras, se colocaran cierres en las chimeneas en la parte superior para verificar diferentes situaciones en las cuales se puede encontrar la tubería, con o sin presión atmosférica.

## **CAPITULO 4.**

**DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA QUE SE REQUIERE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS EN MENCIÓN A EJECUTAR**



**PROYECCIÓN MONTAJE ENSAYOS PROPUESTOS**

**MATERIALES PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

- TUBERIA DE  $\frac{1}{2}$  " Y  $\frac{3}{4}$  " DE PVC Y HIERRO GALVANIZADO.
- TANQUE ELEVADO 60\*60 cm.
- TANQUE DESAGUE 30\*30 cm Y ALTURA DE 40 cm.
- ALMENARAS 1.00 m DE ALTURA, DISTANCIA A 1.50 m UNA DE LA OTRA.
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE 250 L.
- PAREDES DE REBOSE DE 1cm DE ESPESOR.
- ESTRUCTURAS METALICAS PARA TANQUES.
- SOPORTES METALICOS PARA TUBERIA.
- APOYO METALICO PARA ALMENARAS.
- ACCESORIOS EN PVC - HIERRO GALVANIZADO.





## CONCLUSIONES

- Se realizó la revisión bibliográfica acerca del Golpe de Ariete con almenaras, Línea de Energía y Compresibilidad del aire, donde se obtuvo la información necesaria para la fundamentación teórica del proyecto.
- Se hicieron tres visitas de instituciones universitarias que cuentan con este tipo de ensayos de hidráulica de tuberías para establecer parámetros de diseño y montaje de la estructura. Estas enriquecieron la parte teórica porque se vieron diferentes tipos y montajes para la realización de los ensayos del mismo proyecto.
- Se estableció el diseño teórico, que se plasmo de manera real en una estructura totalmente diferente a las estructuras observadas en las visitas de campo.
- Según la información suministrada por los ingenieros de estas instituciones se afianzó el conocimiento requerido para el planteamiento de este proyecto, como también para el mejoramiento funcional de la estructura a los diseños ya existentes.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a la Corporación Universitaria Minuto de Dios que al no poderse implementar establemente la estructura para estos ensayos por el momento, el manejo sea de manera técnica y cuidadosa por parte de los docentes y estudiantes.
- Que los docentes de hidráulica de tuberías vean en este laboratorio una funcionabilidad en su que hacer de enseñanza para formar ingenieros civiles en lo teórico y practico al igual que en su aplicabilidad al campo profesional.
- En la estructura se recomienda tener precaución en el cambio de la tubería y almenaras, en la realización de cada ensayo para proporcionar mayor durabilidad de los empalmes y accesorios.

## **BIBLIOGRAFIA**

-MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA schaum.Ranald Giles-Jack Evett-Cheng Liu 3ª Edición.

-HIDRAULICA DE TUBERIAS. Mc graw Hill. Primera Edición. Colombia 1988.

-OBRAS HIDRÁULICAS. Torres Herrera, Francisco 1980. Editorial Limusa. México, 1980.

-DISEÑO HIDRÁULICO. Krochin Sviatoslav. Quito - Ecuador. 1996.

-INTRODUCCION A LA MECANICA DE FLUIDOS. 2da. Edición. Fernández Larrañaga Bonifacio. Alfa omega Grupo Editorial. México 1999.

-MECANICA DE FLUIDOS. Fay A. James Editorial CECSA Cuarta Edición 1995.

-FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS (2ª EDICIÓN). P. Gerhart, R. Gross y J. Hochstein. Adison-Wesley Iberoamericana 1995.

-MECÁNICA DE FLUIDOS. Frank M. White. McGraw Hill 1979

-MECÁNICA DE LOS FLUIDOS (8ª EDICIÓN). Victor L. Streeter y E. Benjamin Wylie. McGraw Hill 1986.

-LA MECÁNICA DE LOS FLUIDOS. I.H. Shames. Editorial Castillo. 1979.

-MECÁNICA DE FLUIDOS. F.M. White. Editorial McGraw Hill. 1984.

-MANUAL DE HIDRÁULICA. Sexta edición J.M de Acevedo Netto y Guillermo Acosta Álvarez. 1975.

COLOMBIA. UNIVERSIDAD DEL CAUCA base de datos práctica golpe de ariete y chimenea de equilibrio formato de archivo: pdf/adobe acrobat universidad del cauca. Departamento de hidráulica [Base de datos en línea]. [Consultado 17 de junio de 2007]. Disponible en.  
<[atenea.unicauca.edu.co/~hdulica/15\\_ariete.pdf](http://atenea.unicauca.edu.co/~hdulica/15_ariete.pdf)>

## **ANEXOS**