

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LAS ENERGÍAS, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES

NO RENOVABLES

TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS
DE GOLPE DE ARIETE; UTILIZANDO UN SISTEMA DE
ADQUISICION Y REPRESENTACION DE DATOS”.

AUTORES : Milton Gualberto Blacio Aguilar

Max Cevallos Macas

Máximo Raúl Medina Gualán

Gabriel Romero González

DIRECTOR: Ing. Darwin Tapia Peralta

2007

LOJA-ECUADOR

Certificación.

Ing. Darwin Tapia Peralta, como docente del Área de Las Energías, Las Industrias y Los Recursos Naturales no Renovables, en la carrera de Ingeniería Electromecánica, certifico haber dirigido el presente trabajo de tesis hasta la satisfactoria culminación del mismo.

Es todo lo que puedo sostener en honor a la verdad.

.....
Ing. Darwin Tapia P.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.

Los abajo firmantes, declaramos haber desarrollado el presente trabajo de tesis en base a nuestro propio esfuerzo y dedicación. Habiendo invertido en el mismo muchas horas de trabajo así como también un significativo aporte económico, todo con la finalidad de llegar al final término y consagración de nuestra carrera universitaria y la anhelada consecución de nuestro título en INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.

.....
Milton Gualberto Blacio Aguilar

.....
Max Cevallos Macas

.....
Máximo Raúl Medina Gualán

.....
Gabriel Romero González

DEDICATORIA

- Max Cevallos Macas quiero dedicar el presente trabajo de tesis a mi querida esposa e hijos, y a todos mis familiares.
- Máximo Raúl Medina Gualán dedico el presente trabajo de tesis a mi padre e hijas que me han apoyado incondicionalmente, gracias por todo.
- Milton Gualberto Blacio Aguilar, como coautor del presente trabajo de tesis quiero compartir mi felicidad con mi querida esposa e hijos, por haber estado a mi lado todo el tiempo, apoyándome para culminar con éxito mi carrera universitaria.
- Gabriel Romero González quiero dedicar éste trabajo de tesis a mis hijos y hermanos que me apoyan con su cariño todo el día, a Dios por permitirme cumplir con las metas que me trazo.

AGRADECIMIENTO

Todos quienes formamos parte del grupo de investigación, que participó en el desarrollo del presente trabajo de tesis, queremos expresar nuestro sincero y eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y con propiedad al Área de la Energía, Las Industrias y Los Recursos Naturales no Renovables, por habernos forjado con su amplia visión de servicio a la Sociedad. A todo el personal docente y administrativo del Área, que supieron impartirnos sus conocimientos de la forma adecuada para lograr en nosotros la mejor preparación profesional.

A nuestras familias que supieron apoyarnos en todo momento, y motivarnos para seguir adelante, en aras de un futuro mejor para nosotros y el de ellos mismo.

A nuestro director de tesis el Ing. Darwin Tapia, que en todo momento supo encaminarnos hacia los conceptos acertados, que debían ser incluidos dentro de el trabajo de tesis, para el nuestra gratitud eterna.

PENSAMIENTO

“Hasta donde las leyes de las matemáticas aluden a la realidad, no son ciertas. Y en tanto son ciertas no aluden a la realidad”.

ALBERT EINSTEIN

RESÚMEN

El presente trabajo de tesis, se constituye en un completo compendio de fundamentos válidos de hidráulica, pudiendo recurrirse a él como una guía de estudio de ayuda para las futuras generaciones, preocupadas en investigar y comprender los fenómenos diversos que se presentarán en éste amplio campo profesional.

El primer paso, previa la construcción del banco de pruebas de golpe de ariete hidráulico, consistió en recopilar toda la información necesaria acerca del tema, pudiendo establecer un marco teórico completo y concreto. Luego, nuestro enfoque estuvo dirigido a conocer y manejar, los programas computacionales que nos sirvieron de herramienta básica, para el cálculo matemático de cada uno de los parámetros requeridos en el trabajo de tesis.

Una vez que contamos con ésta información, proseguimos a obtener cada uno de los materiales necesarios para elaborar el banco de pruebas. Parte esencial del mismo lo constituye el diseño de la tarjeta de adquisición de datos, y el software o scada, los que conectados a un sensor de presión envían las señales o datos a una computadora en la que podemos apreciar claramente el fenómeno de golpe de ariete y las excesivas presiones que se producen durante el tiempo que dure dicho fenómeno.

Para la simulación del recorrido del fluido, nos ayudamos tanto de tanques reservorios azules, de común uso doméstico, una bomba de 0.5 Hp determinada en los cálculos, y de un sinnúmero de válvulas de compuerta; para poder dar

diferente caminos para el recorrido del fluido, y el necesario corte intempestivo del mismo para producir el choque hidráulico.

RESUME

The present work, of thesis, constitutes it self in a complet summary of valid basis about hydraulics. We can resort to it a study guide to help to future generatios. Wich are worried for investigating and understand different phenomenons that are going to appear in this wide professional camp.

The first step, before of the construction of the bench of proofs for hidraulic hit,it consisted in compile all necessary mation about theme. We could found a complet and specific teoric frame, then our focus aimed to know and drive the computer programs which served us like basic tool, for mathematical calculation of each requisite parameter in the work of the thesis.

Once we have this information we go on to get each necessary materials to make the bench of proofs, essential part about it self is the design of the acquisition data card and the software o scada, which connected to a censor of pressure send the signals o data to a computer in which we can see clearly the hidraulic hit phenomenon and the excessive pressures produced during the time that such phenomenon lasts.

For the simulation of the how run,we help us ourselves with blue keepr tanks for common domestic use, a pump of 0.5 hp. Determined in the calculation, and an undetermined number of sluice valves; to can give different ways for the flow run, and the necessary and sudden cut of it self to produce the hydraulic hit.

INDICE

	<i>Pág.</i>
Certificación.....	II
Declaración de Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Pensamiento.....	VI
Resumen.....	VII
Índice.....	IX
PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN	11
CAPITULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
1.1 Características Físicas de los Fluidos.....	19
1.2 Propiedades de los fluidos.....	20
1.3 Ecuación de Bernoulli para un fluido.....	22
1.4 Régimen laminar y turbulento.....	24
1.5 Altura desarrollada por la bomba.....	25
1.6 Rendimiento de las bombas.....	26
1.7 Punto de funcionamiento de una bomba.....	27
1.8 Golpe de Ariete.....	28
1.9 Cavitación.....	38
CAPITULO II. Caracterización del banco de pruebas para el Golpe Hidráulico.	
2.1 Descripción general del proyecto.....	41

2.2	Descripción del método de cálculo.	41
2.3	Descripción del flujo tecnológico del banco de pruebas.....	52
2.4	Funcionamiento del banco de pruebas.....	53
2.5	Programas utilizados en la investigación breve explicación.....	54

CAPITULO III. CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE

3.1	Cálculo para determinar las Pérdidas Hidráulicas.	59
3.2	Cálculo para determinar el NPSHa.....	62
3.3	Cálculo para determinar el TDH de trabajo del sistema.	63
3.4	Cálculo para el rendimiento, potencia y tipo de bomba.	64
3.5	Cálculo para determinar el golpe de ariete.	65
3.6	Curvas de funcionamiento.	67

CAPITULO IV. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS HIDRAULICO. RESULTADOS.

4.1	Dimensionamiento del banco de pruebas.	69
4.2	Adquisición de datos.	69
4.3	Operación y Mantenimiento del banco de pruebas.....	75
4.4	Guión de prácticas.....	85
4.5	Resultados.....	97
4.6	Evaluación económica del banco de pruebas.....	106

CONCLUSIONES. 109

RECOMENDACIONES. 111

BIBLIOGRAFIA..... 113

ANEXOS.

PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACION

ANTECEDENTES.

En la ciudad de Loja y provincia de su mismo nombre, ciudadela Guillermo Falconí Espinosa, se encuentra ubicada el Área de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, en la cual cuenta con la carrera de Ingeniería Electromecánica.

En esta carrera se imparten conocimientos relacionados con la mecánica de fluidos, máquinas hidráulicas, laboratorios de energía y fluidos necesarios para la formación académica de los futuros profesionales de la carrera.

En esta línea, el estudio, diseño y cálculo de los procesos hidráulicos deben estar enmarcados a satisfacer las necesidades de la sociedad en general, existen algunos procedimientos indicados por varios autores donde enuncian los valores permisibles para el buen funcionamiento de la red hidráulica.

Los bancos de prueba para el estudio de los diferentes fenómenos se convierten en herramientas principales para la preparación teórico-práctica de los futuros profesionales.

El golpe de ariete es un fenómeno que causa daños en instalaciones hidráulicas, el mismo que produce cambios en los valores de las variables de funcionamiento del sistema.

Habitualmente en el análisis y el diseño de las instalaciones hidráulicas se considera su comportamiento en condiciones estacionarias donde las magnitudes hidráulicas de la instalación (caudales y presiones) permanecen constantes en el tiempo, al ser también invariables las condiciones de funcionamiento de la instalación: Condiciones de contorno (consumos y alturas de los depósitos) y el

estado de sus elementos (i.e.: grado de apertura de las válvulas y velocidad de giro de las turbo máquinas). En realidad una instalación hidráulica es un sistema dinámico y jamás se halla en estado estacionario, ya que las condiciones de funcionamiento que determinan las variables hidráulicas varían en el tiempo con una mayor o menor rapidez. Debido a esto, el análisis o el diseño adecuado de una instalación pasa por conocer la respuesta temporal de las variables hidráulicas de la instalación con el fin de evitar situaciones indeseables como:

- Presiones excesivamente altas o excesivamente bajas.
- Flujo inverso.
- Movimiento y vibraciones de las tuberías.
- Velocidades excesivamente bajas.

Los resultados de estas situaciones pueden variar desde lo ligeramente inconveniente hasta lo desastroso. Ejemplos de lo primero podrían ser la interrupción momentánea del abastecimiento o una caída de la presión en los nudos de consumo y de lo segundo la destrucción de una estación de bombeo, un desastre medioambiental, una explosión o un incendio.

El comportamiento dinámico de la instalación denominada transitoria, si es aquel que tiene lugar entre dos situaciones estacionarias de la instalación, puede estar producido por diferentes causas que suelen además determinar la naturaleza del transitorio. Dichas causas pueden ser:

- Una maniobra del operador.
- La mala selección de un componente.
- Un acontecimiento externo a la instalación.
- Problemas que se generan lentamente o de manera inadvertida.

Sobre algunas de las causas anteriores el diseñador o el operador pueden tener cierto control, como por ejemplo el arranque o parada controlados de las turbo máquinas (bombas o turbinas) y el cierre o apertura de las válvulas. Por el contrario, existen causas sobre las que no hay control alguno, tales como el corte del suministro eléctrico o la rotura de una tubería. El hecho de que se originen en la producción de transitorios, causas de naturaleza incontrolada, no exonera a los diseñadores y operadores de prever el riesgo de que estas puedan tener lugar y deben dotar a la instalación, en la medida de lo posible, de los elementos que eliminen o minimicen los efectos indeseados de los transitorios.

INTRODUCCIÓN.

El golpe de ariete hidráulico es uno de los fenómenos que en toda instalación hidráulica lo queremos evitar, es por esto que el presente trabajo de tesis está dirigido al estudio y construcción de un banco de pruebas para el golpe hidráulico.

En todo nuestro país existen instalaciones hidráulicas como son: estaciones de bombeo, centrales de generación eléctrica, tuberías conductoras de fluidos, redes de distribución de agua, etc. En muchas de las cuales en el momento de diseño no se tomaron en cuenta este tipo de fenómenos, lo cual ha producido muchos daños, y el encarecimiento de la instalación así como también la disminución de su vida útil

Por todo es muy importante entenderlo al golpe de ariete hidráulico, el cual se profundizará su estudio en el presente trabajo de tesis. En donde podremos encontrar primeramente la recopilación de información y documentación dedicada a éste fenómeno. Luego de esto podremos determinar el método de cálculo más conveniente para el diseño del banco de pruebas de golpe ariete.

Una vez que se determino el método de cálculo se procederá a describirlo al sistema para por medio de valores numéricos obtener los datos mas importantes que ayudarán a determinar los materiales necesarios para la construcción del mismo.

Luego de la construcción del banco de pruebas, se procederá a realizar el análisis del mismo con las prácticas didácticas diseñadas para tal propósito.

Situación Problemática.

En la actualidad el golpe de ariete hidráulico es uno de los fenómenos más temidos en las instalaciones hidráulicas, debido a esto es de suma importancia estudiarlo, entenderlo, simularlo, para que el ingeniero actual pueda prevenir en todo tipo de instalación la presencia del golpe de ariete hidráulico. Todo esto para prevenir daños hidráulicos, mecánicos y eléctricos.

Problema Científico.

Ausencia de investigaciones en la carrera de ingeniería en electromecánica sobre el fenómeno del golpe de ariete limitando así su comprensión y solución de los problemas que este genera.

PROBLEMAS:

1. Información escasa sobre equipos que permitan modelar el fenómeno.
2. Ausencia de un banco de pruebas de golpe de ariete que permita la realización de clases practicas profesionales a los estudiantes del área de energía, industrias y recursos naturales no renovables.
3. Ausencia de guías de laboratorio en el currículo de la carrera del área de energía, industrias y recursos naturales no renovables.
4. Falta de difusión a lo interno y externo de los trabajos de investigación de la carrera.
5. La escasa información acerca de las energías alternativas se constituye en un factor limitante para la elaboración del presente trabajo.

Objetivo General.

Comprender el fenómeno golpe de ariete a fin de que los profesionales electromecánicos solucionen los problemas que este genere.

Objetivos Específicos:

1. Sistematizar información sobre el fenómeno de golpe de ariete.
2. Diseñar y construir un banco de pruebas de golpe de ariete, en base a sistemas informáticos que permitan la adquisición y representación de datos.
3. Elaborar una guía para el desarrollo de clases prácticas sobre el fenómeno de golpe de ariete.
4. Socializar los resultados de la investigación a la comunidad.

Tareas a Desarrollar

- Ω Recopilar la información teórica necesaria para realizar el presente trabajo de tesis.
- Ω Diseñar un banco de pruebas para la simulación del golpe de ariete hidráulico.
- Ω Dimensionar del banco de pruebas de golpe de ariete.
- Ω Construir del banco de pruebas de ariete hidráulico.
- Ω Comparación de los datos obtenidos con los softwares y el banco de pruebas.

Hipótesis General.

Es posible diseñar un banco de pruebas de golpe de ariete que permita comprender el fenómeno a través de la adquisición y representación de datos.

Hipótesis Específicas:

1. La recopilación de información que describa el fenómeno de golpe de ariete, posibilitará el diseño y construcción de modelos de bancos de pruebas.
2. Si se implementa un banco de pruebas de golpe de ariete es posible capacitar al estudiante para el desarrollo de las prácticas profesionales.
3. La elaboración de guías permitirá un desarrollo eficiente de las clases prácticas que aborden el fenómeno del golpe de ariete.
4. Con una adecuada difusión de los trabajos de investigación se lograra mayor credibilidad social de la carrera.

Novedad científica.

El presente trabajo de diploma permitirá, conocer toda una metodología para el cálculo de sistemas de bombeo con bombas centrífugas, con pérdidas primarias y secundarias, determinando las curvas del sistema, sirviendo de ejemplo para otras instalaciones.

Aportes Metodológicos.

1. Se establece una metodología para el cálculo y evaluación de una instalación hidráulica, la cual puede ser generalizada para su aplicación a otros sistemas hidráulicos.
2. Los resultados de la evaluación y la metodología propuesta pueden ser introducidos en temas de asignaturas que se imparten como: Mecánica, Minería, Ingeniería Química, Electromecánica.
3. La aplicación del método científico para la realización de este trabajo pueden ser utilizados en otras carreras para la solución de problemas y ejecución de proyectos de investigación científico.

Valor práctico.

1. Con el sistema de ecuaciones propuesto es posible calcular las instalaciones de bombeo para ser empleado en un sistema de flujo de agua, y evitar posibles daños en las instalaciones por cavitación o golpe de ariete.
2. Al estudiar el golpe de ariete podemos entenderlo mejor y buscar formas o maneras de eliminar o amortiguar los daños que produce este tipo de fenómeno.
3. Es importante recalcar que este trabajo puede servir como guía de estudio para estudiantes y profesionales, que se interesen por esta rama, ya que en esta se reflejan problemas que se presentan, comúnmente en nuestro país.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

1.1 Características de los Fluidos.

Fluido es aquella sustancia que debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

Los líquidos a una presión y temperatura determinadas ocupan un volumen determinado. Introducido el líquido en un recipiente adopta la forma del mismo, pero llenando solo el volumen que le corresponde. Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo la atmosférica, el líquido adopta una superficie libre plana, como la superficie de un lago o la de un cubo de agua.

Los gases, a una presión y temperatura determinada, tienen también un volumen determinado, pero puestos en libertad se expansionan hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene y no presenta superficie libre.

Por tanto, el comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías), pero no en conductos abiertos (canales), porque solo los líquidos son capaces de crear una superficie libre.

En general los sólidos y líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, pero ningún cuerpo (sólido, líquido, gaseoso), es estrictamente incompresible.

Sin embargo el fluido incompresible no existe en realidad.

Todos los líquidos pertenecen a la primera clase. Los gases generalmente a la segunda, pero en los gases, si las variaciones de presión que entran en juego son pequeñas; por ejemplo inferiores a 1 m.c.a, el gas puede considerarse también como incompresible; así un ventilador, que comprime aire a 100 mm.c.a sobre la presión atmosférica; es una máquina que se estudia en la mecánica de fluidos incompresibles.

1.2 Propiedades de los Fluidos.

Examinemos las propiedades físicas fundamentales de los líquidos de gotas, de las cuales trata principalmente la hidráulica.

La principal característica mecánica del líquido es su densidad. Llamaremos densidad ρ a la masa del líquido comprendida en la unidad de volumen (para un líquido homogéneo).

$$\rho = \frac{M}{V} \quad 1.1$$

Que se manifiesta en las siguientes unidades: Kg/m³. Donde M, es la masa del líquido en Kg. y V el volumen en m³.

Denominaremos peso específico o volumétrico γ , al peso de la unidad de volumen líquido.

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad 1.2$$

Que se manifiesta en las siguientes unidades en el sistema internacional SI tenemos N/m^3 y en el sistema C.G.S tenemos $Kg. /m^3$.

Si el líquido es homogéneo, las fórmulas determinan solo el valor medio del peso específico y de la densidad dado en volumen. Para determinar el verdadero valor de γ y ρ en el punto dado es necesario examinar el volumen que tiende a cero y buscar el límite de la relación correspondiente.

Se emplea también la noción del peso relativo del líquido δ igual a la relación entre peso específico del líquido y del peso específico del agua a $4^\circ C$.

$$\delta = \frac{\gamma_{liq}}{\gamma_{agua}} \quad 1.3$$

La viscosidad. Es la propiedad del líquido de oponerse al desplazamiento o al resbalamiento de sus capas. Esta propiedad manifiesta que dentro de un líquido; en condiciones determinadas, surgen tensiones tangenciales. La viscosidad es la propiedad inversa a la fluidez; los líquidos con mayor viscosidad (glicerina, aceites de lubricación y otros) son menos fluidos y viceversa.

Junto con el coeficiente dinámico de viscosidad μ se emplea también el coeficiente

de viscosidad cinemática ν igual a: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, la unidad en el SI es m^2/s . Una unidad

más pequeña es el stoke $1cm^2/s = St$.

¹ <http://www.nd.edu/~msen/TermoLat/MecFIWord.pdf>

1.3 Ecuación de Bernoulli para un fluido.

Una de las leyes fundamentales que rigen el movimiento de los fluidos es el teorema de Bernoulli, que relaciona un aumento en la velocidad de flujo con una disminución de la presión y viceversa. El teorema de Bernoulli explica, por ejemplo, la fuerza de sustentación que actúa sobre el ala de un avión en vuelo. Un ala —o plano aerodinámico— está diseñada de forma que el aire fluya más rápidamente sobre la superficie superior que sobre la inferior, lo que provoca una disminución de presión en la superficie de arriba con respecto a la de abajo. Esta diferencia de presiones proporciona la fuerza de sustentación que mantiene el avión en vuelo. Los coches de carrera son muy bajos con el fin de que el aire se desplace a gran velocidad por el estrecho espacio entre la carrocería y el suelo. Esto reduce la presión debajo del vehículo y lo aprieta con fuerza hacia abajo, lo que mejora el agarre. Estos coches también llevan en su parte trasera un plano aerodinámico con forma de ala invertida para aumentar la fuerza contra el suelo. La vela de un balandro en movimiento también constituye un plano aerodinámico. Otro aspecto importante de la aerodinámica es la resistencia al avance que experimentan los objetos sólidos que se mueven a través del aire. Por ejemplo, las fuerzas de resistencia que ejerce el aire que fluye sobre un avión deben ser superadas por el empuje del reactor o de las hélices. La resistencia al avance puede reducirse significativamente empleando formas aerodinámicas. Según el autor James A. Fay: "Cuando el objeto no es totalmente aerodinámico, la resistencia aumenta de forma aproximadamente proporcional al cuadrado de su velocidad con respecto al aire". Por ejemplo, la potencia necesaria para propulsar

un coche que avanza de forma uniforme a velocidades medias o altas se emplea fundamentalmente en superar la resistencia del aire.

Cuando fluye el fluido por un tubo de sección transversal no uniforme y de un nivel a otro, por la ecuación hidrostática, la presión cambia a lo largo del tubo.

La fuerza de la presión p_1 en el extremo inferior del tubo de área A_1 es:

$$F_1 = p_1 \cdot A_1 \quad 1.11$$

El trabajo realizado por esta fuerza sobre el fluido es:

$$W_1 = F_1 \cdot \Delta x_1 = p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1 = p_1 \cdot \Delta V, \quad 1.12$$

Donde:

ΔV = volumen de fluido considerado.

De manera equivalente en el nivel superior, si se considerara un mismo intervalo de tiempo de volumen ΔV de fluido que cruza la sección superior de área A_2 es el mismo, entonces el trabajo es:

$$W_2 = -p_2 \cdot A_2 \cdot \Delta x_2 = -p_2 \cdot \Delta V, \quad 1.13$$

El trabajo neto realizado por las fuerzas en el intervalo de tiempo Δt es:

$$W = W_1 + W_2 = (p_1 - p_2) \cdot \Delta V. \quad 1.14$$

Parte de este trabajo se usa en cambiar tanto la energía cinética como la energía potencial gravitacional del fluido. Si Δm es la masa que pasa por el tubo de corriente en el tiempo Δt , entonces la variación de energía cinética es:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}\Delta m.v^2_2 - \frac{1}{2}\Delta m.v^2_1. \quad 1.15$$

Y la variación de energía potencial gravitacional es:

$$\Delta E_g = \Delta m.g.z_2 - \Delta m.g.z_1 \quad 1.16$$

Por el teorema del trabajo y energía se tiene:

$$W = \Delta E_c + \Delta E_g, \quad 1.17$$

Entonces:

$$(p_1 - p_2).\Delta V = \frac{1}{2}\Delta m.v^2_2 - \frac{1}{2}\Delta m.v^2_1. + \Delta m.g.z_2 - \Delta m.g.z_1 \quad 1.18$$

Dividiendo por ΔV y como $\rho = \Delta m / \Delta V$, se obtiene la ecuación de Bernoulli para un fluido no viscoso, incomprensible, estacionario.

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho.v^2_2 - \frac{1}{2}\rho.v^2_1. + \rho.g.z_2 - \rho.g.z_1 \quad 1.19$$

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho.v^2_1 + \rho.g.z_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho.v^2_2 + \rho.g.z_2 \quad 1.20$$

La ecuación de Bernoulli, que es un resultado de la conservación de la energía aplicada a un fluido ideal, generalmente se expresa como:

$$p + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{cte}''^2.$$

1.21

1.4 Régimen laminar y turbulento.

En los fluidos reales, la existencia de la viscosidad hace que aparezca una resistencia al movimiento entre dos capas contiguas de fluido, esta influencia dinámica de la viscosidad en el movimiento viene definida por el número de Reynolds. Osborne Reynolds, comprobó que a velocidades bajas (inferiores a la crítica) el flujo era laminar.

Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada, siendo la velocidad del fluido máxima en el eje de la tubería, disminuyendo rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

A velocidades mayores que la crítica, el régimen es turbulento, y la distribución de velocidades es más uniforme, a pesar de ello siempre existe una pequeña capa periférica o sub-capa laminar.

Para estudios técnicos:

- Si $R < 2000$ el flujo se considera laminar
- Si $R > 4000$ el flujo se considera turbulento.²

² TYLERG Hicks. BME, Bombas, su Elección y aplicación. Págs. 13 -15.

1.5 Altura desarrollada por una Bomba.

La altura desarrollada por una bomba se determina midiendo la presión en la aspiración y en la salida de la misma, calculando las velocidades mediante la división del caudal para las respectivas áreas de las secciones transversales de las tuberías y teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la aspiración y la descarga. La altura neta h suministrada por la bomba al fluido es altura de descarga H_d menos la altura de aspiración H_{as} donde los subíndices d y as se refieren a la descarga y aspiración de la bomba. Si las tuberías de descarga y aspiración son del mismo tamaño, las componentes de la altura correspondiente a la velocidad se cancelan, sin embargo en general el diámetro de la tubería de entrada se hace mayor que el de la salida con el fin de evitar la cavitación.

La normativa de ensayo indica que la altura desarrollada por una bomba es la diferencia entre la carga en la entrada y en la salida. Sin embargo, las condiciones del flujo en la brida de salida son normalmente demasiado irregulares para tomar medidas de presión precisas, y es más seguro medir la presión alejándose de la bomba diez o más veces el diámetro del tubo y añadir una estimación de la pérdida por fricción para esa longitud del tubo.

En la entrada algunas veces existe pre-rotación en la zona del tubo cercana a la bomba y esto puede hacer que las lecturas de presión obtenidas con un instrumento de medida sean diferentes a la presión media real en dicha sección. ³

$$h = H_d - H_{as} = \left(\frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d \right) - \left(\frac{P_{as}}{\gamma} + \frac{V_{as}^2}{2g} + Z_{as} \right) \dots^3 \quad 1.22$$

1.6 Rendimiento de las Bombas.

“Cuando un líquido fluye a través de una bomba, sólo parte de la energía comunicada por el eje del impulsor es transferida al fluido. Existe fricción en los cojinetes y juntas, no todo el líquido que atraviesa la bomba recibe de forma efectiva la acción del impulsor, y existe una pérdida de energía importante debido a la fricción del fluido.

Esta pérdida tiene varios componentes, incluyendo las pérdidas por choque a la entrada del impulsor, la fricción por el paso del fluido a través del espacio existente entre las paletas o alabes y las pérdidas de altura al salir el fluido del impulsor. El rendimiento de una bomba es bastante sensible a las condiciones bajo las cuales este operando.

El rendimiento η de una bomba viene dado por:

$$\eta = \frac{\text{potencia suministrada al fluido}}{\text{potencia en el eje (al freno)}} = \frac{\gamma Q h}{T \omega} \quad 1.23$$

donde η , Q y h se definen de forma habitual; T es el par ejercido por el motor sobre el eje de la bomba y ω el régimen de giro del eje en radianes por segundos.

³ Nekrasov. B. Hidráulica. Editorial MIR. Moscú 1983. Pags 34 - 36

1.7 Punto de Funcionamiento de una Bomba.

El trabajo de la bomba depende, no sólo de las características de funcionamiento de la bomba (h respecto a Q) para una velocidad de operación dada, normalmente cercana a la velocidad que da el rendimiento máximo, sino también de las características del sistema en el cual vaya a trabajar (es decir, la altura de bombeo requerida respecto a Q).

En este caso, la bomba está suministrando líquido a través de un sistema de tuberías con una altura estática z . La altura que la bomba debe desarrollar es igual a la elevación estática más la pérdida total de carga en el sistema de tuberías (aproximadamente proporcional a Q^2). La altura de funcionamiento de la bomba real y el caudal son determinados por la intersección de las dos curvas.

Los valores específicos de h y Q determinados por esta intersección pueden ser o no ser los de máximo rendimiento. Si no lo son, significa que la bomba no es exactamente la adecuada para esas condiciones específicas.

El punto de funcionamiento o punto óptimo de una bomba solo dinámica es el de la curva $H - Q$ que corresponde a un rendimiento máximo. Cuanto mas empinada sea la curva $H - Q$, más significativo será el efecto de cualquier cambio de altura en el punto de funcionamiento.

Por ejemplo, una bomba con una curva $H - Q$ empinada presentará un pequeño cambio de descarga pero la altura variará mucho si se desplaza el punto de funcionamiento, en cambio una bomba cuya curva $H - Q$ sea plana, mostrará un

gran cambio de capacidad pero la altura variará poco al desplazarse el punto de funcionamiento.

Las curvas $H - Q$ para las bombas centrífugas son sustancialmente planas, con tendencia a que el sedimento máximo se sitúe inmediatamente después de la capacidad media.

Las curvas $H - Q$ para una bomba de flujo axial son aún más empinadas, con su punto de demanda en la descarga nula y su curva de potencia es decreciente.

1.8 GOLPE DE ARIETE.

1.8.1 Conceptos Fundamentales.

Un fenómeno de tipo transitorio de flujo es aquel en que las condiciones hidráulicas no quedan determinadas de una vez para siempre por las coordenadas del punto, sino que además dependen del instante de tiempo en que se determinan.

Un fenómeno transitorio puede ocurrir en flujo combinado o bien en flujo libre. En canales los casos más representativos tienen que ver con propagación de crecientes, especialmente en ríos, o con fenómenos de oleaje en lagos y mares. Por su parte en las conducciones, el más conocido es el llamado golpe de ariete.

No obstante que el cálculo de un fenómeno transitorio es algo que queda por fuera de un tratamiento elemental, puede decirse que el más sencillo de calcular es este del golpe de ariete. Esta relativa sencillez reside en que el problema de flujo es 2D, a diferencia del caso general que puede ser 3D.

1.8.2 Origen del Golpe de Ariete.

Se produce como consecuencia de la muy rápida variación de las condiciones hidráulicas estacionarias de un punto perteneciente a una conducción, las cuales a su vez se originan en algunos de los siguientes eventos:

Operación de válvulas.

Operación de bombas.

Falla en una bomba.

1.8.3 Golpe de Ariete en un Sistema Central-Embalse.

El ejemplo clásico de un esquema central-embalse es bastante útil para comprender, desde un punto de vista descriptivo, la naturaleza y la generación del fenómeno del golpe de ariete.

Los elementos fundamentales de este sistema son un embalse, una conducción y una central representada a su vez por una válvula (Fig. 1-1), cuya regla de operación se conoce.

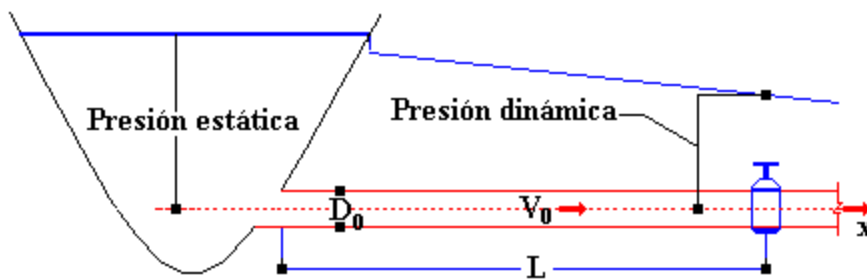


Fig. 1-1 Esquema embalse-válvula

1.8.3.1 Condiciones para el Análisis.

- La conducción posee una sección uniforme de diámetro D_0 y su longitud es L .
- El embalse alimenta la conducción. Aguas abajo hay una válvula que controla el flujo. Aquí se considera el caso en que el flujo opera inicialmente en condiciones estacionarias con la válvula a su máxima apertura. En un instante dado se inicia una operación de cierre con una duración que se asume nula (cierre instantáneo), cuya ley es lineal se ilustra en la Fig. 1.2.

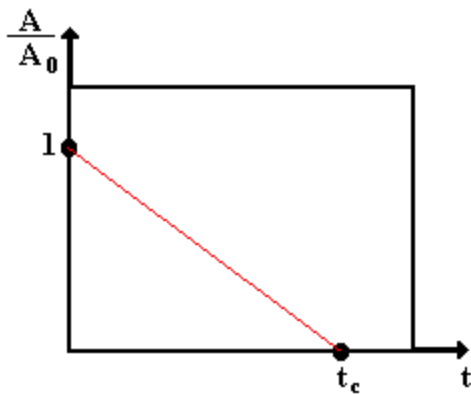


Fig. 1-2 Ley lineal de cierre de una válvula

A/A_0 , relación de cierre de la válvula.

t_c Tiempo de cierre; $t_c=0$.

- Se excluye de este análisis descriptivo la acción de la fricción.
- En la válvula las condiciones estacionarias son:

$$h_0 = \frac{P_0}{\gamma}$$

$$V = V_0$$

- El embalse se considera un elemento de gran inercia, de modo que puede ser tratado como elemento de gran rigidez, es decir, no puede oscilar.
- La conducción se considera deformable y sus propiedades elásticas son:
 - E Módulo de Young.
 - μ Módulo de Poisson.
- El líquido se considera compresible. Su módulo de compresibilidad elástica es $E\nu^4$.

1.8.3.2 Análisis Cualitativo del Fenómeno.

Supóngase un líquido en movimiento permanente a lo largo de la mencionada conducción. Considérese que ahora se acciona la válvula, cerrándola en forma instantánea según la ley descrita arriba. En un intervalo de tiempo infinitesimal dt posterior al cierre, el movimiento cesa para un tramo de líquido de longitud infinitesimal dx , situado en la vecindad de la pared m-m de la válvula (Fig. 1-3) y cuya masa es $[A_0(\gamma/g)dx]$. Como consecuencia de esto, el líquido contenido en el elemento será comprimido en dirección al plano m-m, y su volumen se verá disminuido. El resto de la columna líquida continuará en movimiento durante dt , ocupando el espacio dejado libre por $[A_0(\gamma/g)dx]$.

⁴ www.geogole.com/dalber_99/fluidis_e.hym

Como consecuencia de lo arriba descrito, la presión del líquido en m-m, que inicialmente tenía un valor P_0 , sufrirá un brusco incremento ΔP , el cual puede calcularse en forma sencilla por medio del teorema de impulso y momentum:

Cambio en la cantidad de movimiento = fuerzas aplicadas

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \Delta F \Rightarrow \Delta P = \Delta F \Delta t \quad 1.26$$

ΔF resultante de fuerzas impulsivas

$$\Delta F = (P_0 - P_0 - \Delta P)A_0 \Rightarrow \Delta F = -\Delta P A_0 \quad 1.27$$

La expresión anterior implica que la única fuerza impulsiva actuante es la de presión.

Ahora bien:

$$\Delta p = \Delta(mV_0) = \Delta m \cdot \Delta V_0 \quad 1.28$$

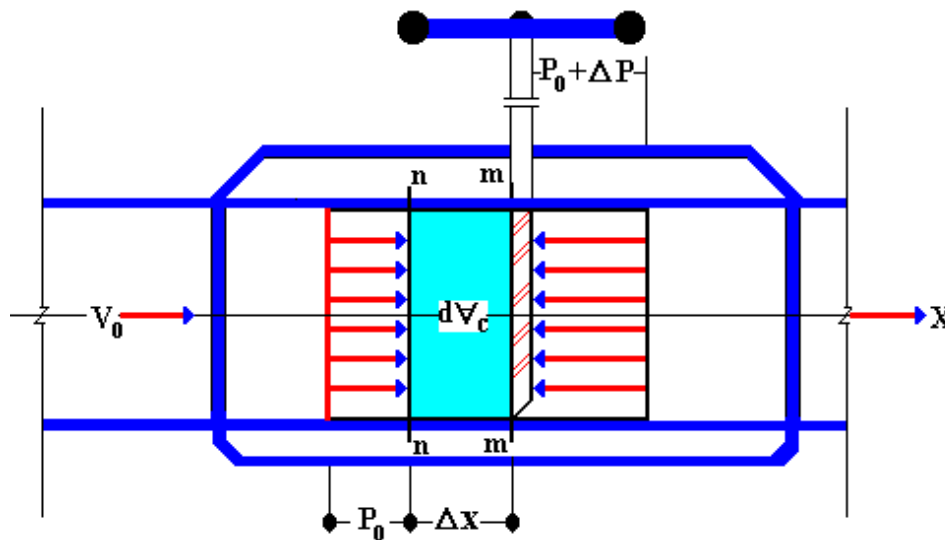


Fig. 1-3 Volumen de control en la válvula.

Pero:

$$\Delta V_0 = V_{0f} - V_{0i} \quad 1.29$$

Y como:

$$V_{0f} = 0 \Rightarrow \Delta V_0 = -V_0 \quad 1.30$$

Se obtiene:

$$\Delta p = -\Delta m V_0 \quad 1.31$$

Ahora (1.31) y (1.27) en (1.26) resulta:

$$-\Delta m V_0 = (\Delta P \Delta t) A_0 \quad 1.32$$

Como:

$$\Delta m = A_0 (\gamma / g) \Delta x \quad 1.33$$

Al reemplazar se llega a la identidad:

$$-A_0 (\gamma / g) \Delta x = -\Delta P \Delta t A_0 \quad 1.34$$

Al simplificar y organizar:

$$\Delta P / \gamma = C (V_0 / g) \quad 1.35$$

En la cual:

$$C = \frac{dx}{dt} \quad 1.36$$

En un dt posterior se habrá detenido un nuevo estrato fluido, el más próximo al ya detenido, y entonces la sección final del estrato n-n (Fig. 1.3) sufrirá también un aumento brusco en su presión. Con el transcurrir del tiempo el cese del movimiento se propagará a lo largo de toda la conducción hasta llegar al embalse, produciendo en cada punto valores de presión superiores al inicial.

La cantidad $C = dx/dt$, llamada celeridad, representa la velocidad con la que la sobre presión, en este caso, y el cese del movimiento se propagan a lo largo de la conducción. Cabe anotar que si bien las unidades de C son las correspondientes a una velocidad, no se trata propiamente de una velocidad de masas materiales en movimiento, sino de la velocidad con que se propaga una condición física o mecánica dada, en este caso la perturbación elástica debida a la detención del movimiento. En este tipo de fenómenos C coincide con la velocidad del sonido en el medio, y por tanto depende de las propiedades elásticas del líquido E_v (módulo de compresibilidad elástica), del diámetro y del espesor de la conducción.

En general C puede obtenerse a partir de:

$$C = \sqrt{\frac{E_v(g/\gamma)}{(1 + 2E_v\phi/E)}} \quad 1.37$$

En la cual ϕ es un factor que tiene en cuenta el grado de restricción al movimiento longitudinal de la conducción; $\phi=0$ en conductos rígidos.

La sobre presión y el cese del movimiento se propagarán hasta el embalse cuando haya transcurrido el tiempo $t = L/C$; entonces toda la columna líquida se hallará comprimida (Fig. 1.4).

La diferencia de presión ΔP , dirigida en el sentido válvula-embalse, habrá alcanzado la velocidad V_0 que tenía inicialmente al final del intervalo $L/C+dt$, pero dirigida ahora en sentido opuesto (es decir hacia el embalse y no hacia la válvula). Entonces cesará la sobre presión ΔP sobre $n-n$ (Fig. 1.3), y el estado de movimiento, cuya velocidad es V_0 , se propagará del embalse hacia la válvula con celeridad C , con la masa líquida contenida que se desplaza.

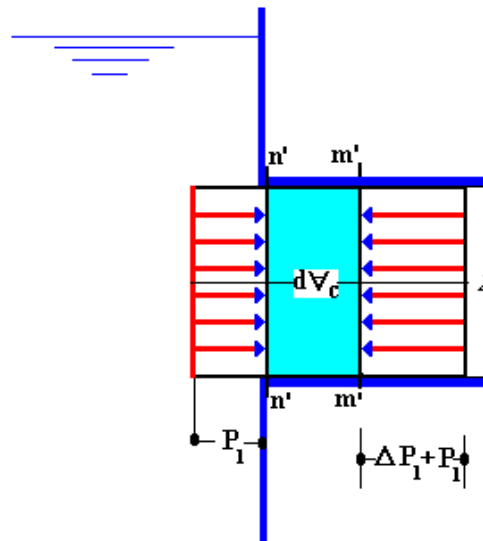


Fig. 1.4 Volumen de control en el embalse

En el tubo habrá alcanzado el volumen y presiones que poseía inicialmente al final del tiempo $2L/C$, pero tendrá la velocidad V_0 dirigida hacia el embalse. Por tanto, la columna líquida tenderá a separarse de la válvula apenas la presión haya alcanzado el valor inicial V_0 sobre la superficie de la válvula. Admitamos que esta separación no se verifique, es decir, que la velocidad V_0 no se propague a las

partículas próximas a la válvula. La presión sobre ésta no podrá el mantener valor P_0 , sino -como puede verificarse usando el razonamiento empleado antes para el instante inicial- que sufrirá una brusca disminución en una cantidad igual precisamente (salvo el signo) a $\Delta P = (\gamma/g)CV_0$. La presión en la válvula pasará entonces del valor $P_0 + P_a + \Delta P$ al valor $P_0 + P_0 - \Delta P$, sufriendo una variación igual a $2(\gamma/g) CV_0$. Suponiendo que se verifica que $(\gamma/g) CV_0 < P_a + P_0$ la depresión ΔP y la detención remontarán el tubo hasta el embalse: en el instante $3L/C$ la columna líquida se hallará toda de nuevo en reposo, pero en estado de dilatación. Al igual que sucedía al final del tiempo L/C , la situación no podrá estar en equilibrio porque a la entrada del embalse se conserva la presión P_1 ; seguirá por tanto un movimiento de retorno a la presión inicial y a la velocidad V_0 que llevará después del tiempo $4L/C$ a una situación idéntica a la inicial.

1.8.3.3 Tipos de Golpe de Ariete.

- Golpe de ariete positivo. Cuando se cierra una válvula, o se apaga o falla una bomba. El resultado es inicialmente una sobre presión.
- Golpe de ariete negativo. Cuando se abre una válvula, o se enciende una bomba.
- Corto circuito. Cuando se producen operaciones alternadas de cierre y apertura en una válvula; o bien cuando se enciende o apaga alternadamente una bomba. Da lugar a sobre presiones y sub-presiones en forma alternada.

Elementos para Amortiguar un Golpe de Ariete.

Las presiones positivas y negativas resultantes de un golpe de ariete son algo inevitable en la operación de sistemas a presión. Lo ideal es que estos valores se

mantengan en rangos aceptables que no pongan en peligro la parte estructural de la conducción. Esto conllevaría operar adecuadamente las válvulas, o bien que las bombas no fallaren. Lamentablemente esto no suele suceder y se presentan sobre presiones y depresiones altas, sobre todo en esquemas de embalse-central, que requerirían valores antieconómicos para el espesor de las conducciones. Por ello es necesario agregar al sistema algún elemento que realice funciones amortiguadoras y así evite la utilización de espesores antieconómicos.

El elemento más utilizado en estas labores es una almenara (Fig. 1.5), la cual no es más que un gigantesco piezómetro cuyo nivel de agua, cuando la conducción opera en estado permanente, marca la cota piezométrica del punto de la conducción donde se encuentra instalada. Al producirse un transitorio, la sobre presión actúa sobre la columna de agua contenida dentro de la almenara, poniéndola en movimiento y haciendo que el nivel de ésta se eleve por encima del nivel de estacionario, hasta alcanzar un valor máximo y posteriormente continuar en un proceso oscilatorio de carácter amortiguado alrededor de dicho punto, hasta detenerse al nivel estático del embalse.

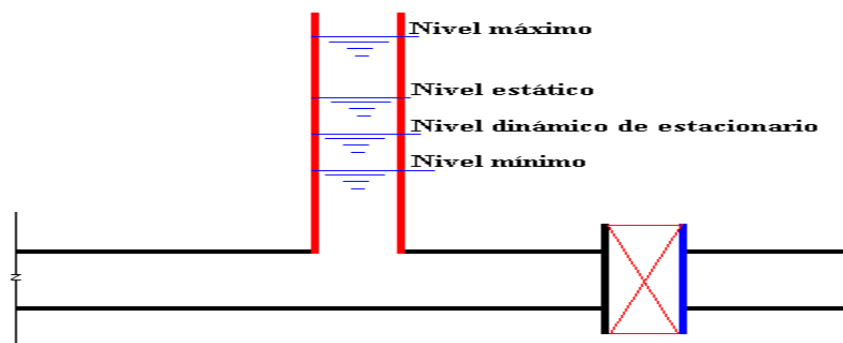


Fig. 1.5 Almenara.

1.9. Cavitación.

Cavitación es un fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto o zona de la corriente de un líquido desciende por debajo de un cierto valor máximo admisible. El fenómeno puede producirse lo mismo en estructuras hidráulicas estáticas (tuberías Venturas, etc.) que en máquinas hidráulicas (bombas, hélices, turbinas). Por lo efectos destructivos que en las estructuras y máquinas hidráulicas mal proyectadas o mal instaladas produce la cavitación es preciso estudiar este fenómeno, para conocer sus causas y controlarlo.

En efecto, la termodinámica enseña que un líquido entra en ebullición a una presión determinada, llamada presión de saturación, P_s , que depende de la temperatura, la temperatura correlativamente se llama temperatura saturación t_s ,

Cuando la corriente en un punto de una estructura o de una máquina alcanza una presión inferior a la presión de saturación de vapor, el líquido se evapora y se origina en el interior del líquido "cavidades" de vapor de ahí el nombre de cavitación. Estas cavidades o burbujas de vapor arrastradas por la corriente llegan a zonas en que reina una presión muy elevada y allí se producen una condensación violenta del vapor. Esta condensación del vapor a su vez produce una elevación local de la presión que puede sobrepasar los 1.000 bar. En el interior del fluido existen, pues, zonas en que reina un gradiente fuerte de presiones que aceleran las burbujas y producen un impacto en el contorno.

La hélice de un barco trabajando tres o cuatro meses en condiciones malas de cavitación queda totalmente inutilizada. El rodete de una bomba centrífuga que ha

funcionado con cavitación presenta un aspecto esponjoso, como carcomido o corroído.

Antiguamente se creyó que la cavitación no era más que una corrosión química producida por la liberación de aire y de oxígeno disuelto en el líquido a bajas presiones. Actualmente se sabe que la cavitación es debida principalmente a la acción mecánica de impactos rápidos, a manera de explosiones, de las partículas de líquido.

Estos impactos son además periódicos, es decir, se produce un fenómeno vibratorio que aumenta la erosión de material por fatiga. A estas vibraciones hay que referir la explicación del fallo de algunas piezas, por ejemplo de los pernos de sujeción de los cojinetes de los generadores en las centrales hidroeléctricas cuando se está produciendo la cavitación.

1.9.1 Control de la cavitación.

Los principales fabricantes de estructuras y máquinas hidráulicas, por ejemplo de turbinas, poseen en sus laboratorios equipo para estudiar este fenómeno. El estroboscopio presta grandes servicios para el estudio de la cavitación.

El control de la cavitación es doble:

- Diseñar contra la cavitación. es decir, diseñar tanto la máquina como la instalación de la misma para que no se produzca este fenómeno.

- Utilizar materiales resistentes a la cavitación, si se tolera en el diseño que en algún caso se presente este fenómeno.

En las turbinas hidráulicas por ejemplo se han obtenido buenos resultados con aceros inoxidable (18 por 100 de cromo y 8 por 100 de níquel) material con el que se reparan también, mediante soldadura, los rodets afectados por la cavitación.

CAPITULO II

**CARACTERIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL
GOLPE HIDRÁULICO**

2. CARACTERIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL GOLPE HIDRÁULICO

2.1.- Descripción general del proyecto.

En este capítulo se describe la caracterización del banco de pruebas para el golpe hidráulico, el cual se lo ha subdividido en descripción del método de cálculo, que se utilizará para encontrar todos los parámetros necesarios para el dimensionamiento de dicho banco. También se realiza la descripción física del banco de pruebas en donde se detalla su construcción, equipos y elementos a utilizarse, se presenta el gráfico del mismo. Se describe también el funcionamiento y el mantenimiento del banco de pruebas. Se indican los programas o softwares que se utilizan en el cálculo, simulación, obtención de curvas y datos importantes referentes al comportamiento del banco, trabajando en diferentes etapas de apertura y cierre de las válvulas.

2.2.- Descripción del método de Cálculo.

Para el presente trabajo de tesis se ha utilizado la siguiente metodología de cálculo:

En primer lugar se tiene en cuenta el diámetro de tubería D en m.

Se encuentra el Área de tubería que se denota con la letra A_1 :

$$A_1 := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

2.1

En donde:

D_1 = diámetro de la tubería en m.

A_1 = Área de la tubería en m^2

Tenemos el Caudal Q en m^3/s para calcular la velocidad media del fluido.

$$V_1 := \frac{Q}{A_1} \quad 2.2$$

En donde:

V_1 = Velocidad media del fluido en m/s.

Q = Caudal en m^3/s .

A_1 = Área de la tubería en m^2 .

Número de reynolds.

$$Re_1 := \frac{V_1 \cdot D_1}{\nu} \quad 2.3$$

En donde:

Re = Número de reynolds adimensional.

V_1 = Velocidad media del fluido.

ν = viscosidad cinemática.

D_1 = Diámetro de tubería.

Para determinar las pérdidas por rozamiento es necesario ubicar el coeficiente de rugosidad absoluta K en mm el cual lo determina en tablas. (Anexo 3)

Luego de esto se determina el Coeficiente de rozamiento de pérdidas primarias:

$$\lambda_1 := \left(\frac{1}{1.75 + 2 \cdot \log \left(\frac{r_1}{K_1} \right)} \right)^2 \quad 2.4$$

En donde:

λ_1 = coeficiente de rozamiento adimensional.

r_1 = radio de la tubería m.

K_1 = coeficiente de rugosidad absoluta en mm.

También se puede calcular mediante la siguiente tabla:

<i>Tuberías</i>	<i>Régimen</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Autor</i>
lisas y rugosas	laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Poiseulle
lisas	turbulento (1) Re < 100.000	$\lambda = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$	Blasius
lisas	turbulento (1) Re < 100.000	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} (Re \sqrt{\lambda}) - 0,8$	Kármán-Prandtl (primera ecuación)
rugosas	turbulento (zona de transición)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$	Colebrook
rugosas	turbulento (zona final)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1,74$	Kármán-Prandtl (segunda ecuación)

Tabla 2.1 Formulaciones de λ par diferentes números de Re

Cabe recalcar que el coeficiente de rozamiento también se lo puede obtener del diagrama de Moody. (Anexo 2)

Pérdidas por rozamiento, o pérdidas por fricción en la tubería. Según Darcy – Weisbach, válida tanto para régimen Laminar como Turbulento

$$I_{roz1} := \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

2.5

En donde:

H_{roz} = pérdida por rozamiento en m.

λ_1 = coeficiente de rozamiento es adimensional.

L_1 = longitud de la tubería en m.

V_1 = velocidad media de la tubería en m/s.

D_1 = diámetro de la tubería en m.

g = gravedad en m/s^2

Pérdidas locales o secundarios, también llamadas pérdidas en accesorios. Para encontrarlas primeramente se tiene que determinar la cantidad de accesorios que posee el sistema para luego encontrar el coeficiente que cada uno tiene según su forma, diámetro y material esto lo podemos encontrar en libros y tablas (Anexo 4), en la bibliografía que ha sido consultada. Este coeficiente esta denotado por la siguiente letra griega ζ .

La fórmula para encontrar las pérdidas secundarias es:

$$H_{loc1} := \zeta_1 \cdot Na_1 \cdot \frac{8Q^2}{D_2^4 \cdot \pi^2 \cdot g} \quad 2.6$$

En donde:

H_{loc1} = Pérdida secundaria del accesorio en m.

ζ_1 = Coeficiente para pérdidas secundarias es adimensional.

Na_1 = Número de accesorios es adimensional.

Q = Caudal en m^3/s

$g =$ gravedad en m/s^2

Con esta fórmula se determina las pérdidas secundarias en la succión y en la impulsión, independientemente en cada accesorio.

El total de pérdidas locales, será resultado de la sumatoria tanto en la succión como en impulsión.

$$\Sigma h_{loc} = H_{loc1} + H_{loc2} + H_{loc3} + H_{loc4} + \dots$$

Cálculo de la presión de entrada a la boca de la bomba y salida de la boca de impulsión de la bomba.

$$P := \rho \cdot g \cdot Z^2 \text{ (Nekrasov)} \quad 2.7$$

En donde:

$P =$ Presión en Pa.

$\rho =$ Densidad del fluido en Kg/m^3 .

$g =$ Gravedad en m/s^2

Esta presión la convertimos a metros de columna de agua m.c.a, Para luego encontrar la presión absoluta que sería igual a:

$$P_1 = P_{atm} + P \quad 2.8$$

En donde:

$P_1 =$ Presión absoluta en m.c.a.

$P_{atm} =$ Presión atmosférica.

$P =$ Presión a la entrada de la bomba.

Cálculo para determinar el NPSHA, también denominada altura neta de succión positiva, este cálculo nos ayuda a eliminar la presencia de cavitación en el sistema, y lo encontramos de la siguiente manera:

$$\mathbf{NPSHA_A = patm - Z1 - Hroz1 - \Sigma Hloc2 - He} \quad 2.9$$

En donde:

NPSHA = altura neta de succión positiva en m.c.a.

patm = presión atmosférica en m.c.a.

Z1 = diferencia de altura del espejo del agua al eje de la bomba en m

Hroz1 = pérdida por rozamiento en la tubería de succión en m.c.a.

Hloc2 = pérdidas locales o secundarias en la tubería de succión en m.c.a.

He = pérdidas por evaporación en m.c.a.

Determinación de la altura manométrica que es el dato más importante del sistema y al cual se lo determina de la siguiente manera.

$$\mathbf{Hman := (P2 + P1) + (Z2 - Z1) + Hroz2 + \Sigma Hloc1} \quad 2.10$$

En donde:

Hman = Altura manométrica o altura dinámica, TDH, en m.c.a.

P2 = presión de salida en m.c.a.

P1 = presión de entrada en m.c.a.

Z2 = altura estática en impulsión en m.

Z1 = altura estática en la succión en m.

Hroz2 = pérdidas por rozamiento en la tubería de impulsión en m.c.a.

$\Sigma Holc1$ = Sumatoria de pérdidas locales en la impulsión en m.c.a.

Luego de encontrar la altura manométrica podemos encontrar la potencia del consumo del sistema, la misma que nos servirá para determinar la bomba que se va a utilizar en el sistema. Para determinar la potencia utilizaremos la siguiente fórmula:

$$N := \frac{g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_{man}}{\eta} \quad 2.11$$

En donde:

N = potencia del sistema en W.

g = gravedad en m/s^2 .

Q = caudal en m^3/s .

Hman = altura manométrica en m.c.a.

η = rendimiento en %.

Consumo energético del sistema; teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento:

$$E := N \cdot t \quad 2.12$$

En donde:

E = consumo energético en Kw/h.

N_a = potencia de consumo en Kw

t = tiempo de servicio en h.

Consumo de corriente con el consumo de potencia instalada:

$$I_l := \frac{N}{\sqrt{3} \cdot V_f \cdot \cos \theta} \quad 2.13$$

En donde:

I_l = intensidad de consumo en A.

N = potencia del sistema en W.

V_f = voltaje de fase en V.

$\cos \theta$ = Coseno ϕ o factor de potencia.

Esta fórmula la podemos utilizar también para encontrar la corriente de consumo del motor instalado.

Velocidad específica de la bomba, la misma que se la calcula de la siguiente manera:

$$N_s := \frac{3.65n \cdot \sqrt{Q}}{H_{man}^{\frac{3}{4}}} \quad 2.14$$

En donde:

N_s = velocidad específica adimensional.

N = revoluciones en r.p.m

Hman= Altura manométrica, en m.c.a.

Q = Caudal en m³/s.

Cálculo del golpe de ariete en el sistema.

Para calcular el golpe de ariete en el sistema comenzaremos calculando la velocidad de propagación del fluido en el agua cuando se produce el golpe de ariete. La misma que denota con la siguiente fórmula.

$$C := \frac{C1}{\sqrt{1 + \frac{D2}{\delta} + \frac{E1}{Etub}}} \quad 2.15$$

En donde:

C = velocidad de onda de propagación de choque en m/s.

C1 = Coeficiente de velocidad de sonido en el agua en m/s.

D2 = diámetro de la tubería en m

E1 = Módulo de elasticidad volumétrica del fluido en Pa.

Etub= Módulo de elasticidad de la tubería en Pa.

Al encontrar la velocidad de onda de propagación del fluido podemos encontrar el aumento de presión en el sistema al presentarse el golpe de ariete y esto lo encontramos con la siguiente fórmula:

$$\Delta P := \rho \cdot C \cdot V^2 \quad 2.16$$

En donde:

$\Delta P = \Delta H$ = incremento de presión en Pa.

ρ = densidad del fluido en Kg/m³.

C = velocidad de onda de propagación de choque en m/s.

V_2 = velocidad media del fluido en sistema en m/s.

Luego de obtener el incremento de presión la transformamos a m.c.a para encontrar la presión de reventamiento en m.c.a.

$$\Delta H_{PR} = \Delta H + H_{man} \qquad 2.17$$

En donde:

ΔH_{PR} = presión de reventamiento en m.c.a.

ΔH = incremento de presión en m.c.a.

H_{man} = altura manométrica en m.c.a.

Al encontrar la presión de reventamiento nos ayudará a determinar y seleccionar los materiales para la construcción del banco del golpe hidráulico.

Adicionalmente se puede calcular el golpe de ariete como el Pulso de Joukowsky, donde las magnitudes más importantes que describen este fenómeno son: la celeridad de la onda c y la magnitud del pulso de presión. Estas dos magnitudes están relacionadas con los demás parámetros geométricos y operacionales de la instalación en cuestión.

La celeridad de la onda es función de las características elásticas del sistema fluido tubería. Se puede demostrar que en el caso de un líquido sin fase gaseosa que fluye por una tubería de pared delgada de espesor e y sección circular de

diámetro D la celeridad de la onda (también denominada característica de la tubería) viene dada por:

$$c^2 = \frac{\frac{E_w}{\rho}}{1 + \frac{E_w}{E_{pvc}} * \frac{D}{e}} \quad 2.18$$

donde E_w y ρ son el módulo de compresibilidad y la densidad del fluido, E_{pvc} es el módulo de Young del material del que está construido la tubería. Por ejemplo el agua tiene un módulo de compresibilidad de $2.2 \cdot 10^9$ N/m² y una densidad de 1000 kg/m³. En el caso de una tubería de PVC ($E_{pvc} = 2.75 \cdot 10^9$).

El tiempo crítico T_{cr} es el tiempo que necesita la onda de presión para pasar de un extremo a otro de la tubería y volver al punto de partida, y se calcula por:

$$T_{cr} = \frac{2 \times L}{c} \quad 2.19$$

Igualmente la longitud crítica L_c , es la necesaria para que la onda de presión la transite, en ida y vuelta en el tiempo T,

$$L_c = \frac{T \times c}{2} \quad 2.20$$

Si se cumple la condición: $T_{cr} \leq \frac{2 \times L}{c}$ ó $L_c \geq \frac{T \times c}{2}$, se considera como cierre rápido y la intensidad del golpe de ariete se calcula con la ecuación de Allievi:

$$\Delta H = \frac{c \times v}{g} \quad 2.21$$

Pero si se cumple la condición: $T_{cr} \geq \frac{2 \times L}{c}$ ó $L_c \leq \frac{T \times c}{2}$, es un cierre lento y su valor se calcula diferencialmente utilizando la ecuación de Bernoulli y la

ecuación de Impulso y cantidad de movimiento, sin embargo se han propuesto fórmulas que proporcionan con mayor o menor exactitud el valor máximo del pulso de onda, una de ellas es propuesta por la ecuación de Michaud:

$$\Delta H = \frac{2 \times L \times v}{g \times Tc} \quad 2.22$$

donde Tc es el tiempo de cierre y v la velocidad media del fluido en la tubería de longitud L .

El golpe de Ariete así calculado es el máximo que puede esperarse y teóricamente nunca se llegará a este valor, sin embargo esta aproximación es suficiente para la mayoría de los casos que se presentan en las redes interiores de distribución, cerradas o abiertas.

2.3. Descripción del flujo tecnológico del banco de pruebas.

El banco de pruebas de golpe hidráulico consta de varias partes las cuales describiremos a continuación:

Depósito de bombeo, este depósito en el cual tenemos la reserva de agua para el bombeo al sistema.

Bomba: será el equipo encargado de transmitirle energía al fluido. El equipo instalado tendrá las características similares a las bombas que podemos apreciar en la imagen.



Fig.2-1 Instalación de Bombas centrífugas

Válvula check: también conocida como válvula antiretorno y es la encargada de no permitir el retorno de agua o que el golpe de ariete llegue hasta la bomba.

Tubería: tubería de PVC

Depósito de Amortiguación: Depósito encargado de aliviar la presencia del golpe de ariete y no permitir que se produzca daños en el banco.

Válvula de compuerta. Válvula que nos permite abrir y cerrar totalmente, y que en el banco de pruebas nos ayuda a producir el fenómeno deseado (choque hidráulico).

2.4 Funcionamiento del banco de pruebas.

El funcionamiento general del banco de pruebas será de la siguiente manera, Anexo 8, el pozo de aspiración del sistema, ha sido simulado con un tanque de polietileno (1) cuya capacidad es de 500 litros, el mismo que será alimentado

desde la red de distribución de agua potable, pese a la condición del fluido, se ha adoptado una válvula de pie con alcachofa (2), elemento indispensable para evitar la entrada de partículas nocivas para la bomba. Luego tenemos la tubería de aspiración (3), cuyo diámetro es de 1 pulgada y 1.5m de longitud, se ubicó a la entrada de la bomba un vacuómetro pV1 (4) para tener siempre en cuenta, la presión de succión a la que esta trabajando dicha bomba (5).

A la salida se colocó un manómetro M1 (6), para determinar la diferencia de presiones entre uno y otro punto (entrada y salida), a continuación existe una válvula de compuerta (7) cuya función es regular el caudal que recorre el sistema y que es medido por medio de un caudalímetro (8). La presencia de una válvula check o antiretorno (9), es de vital importancia para precautelar el funcionamiento de la bomba, evitando que el fluido regrese a la misma.

Continuando en el recorrido, encontramos una unión universal (10) con el fin de que la instalación tenga características desmontables para el mantenimiento de la misma. Por medio de una T (11) logramos obtener 2 caminos diferentes para el fluido, el primero es de acceso directo al tanque de amortiguación (14) y el segundo de acceso directo a la tubería de retorno, este efecto lo logramos manipulando las válvulas de compuerta (V12), (V13) y (V16). Cerrando (13) y abriendo (12) y (16), llegamos al tanque de amortiguación (14) directamente, cerrando (V12) y (V15) y abriendo (V13), logramos retorno directo, además de que por medio de estas podemos lograr el vaciado del tanque.

Las 2 uniones universales (10) y (15), nos ayudan a desmontar el tanque elevado cuando sea necesario realizar la limpieza del mismo. En la tubería de retorno (17) que va desde el tanque hasta el pozo de aspiración, se colocó una válvula de

retorno V16 para el paso del fluido, un sensor S1 (18) encargado de emitir las señales de presión hasta la tarjeta de adquisición de datos (19) con conexión a puerto paralelo de la computadora (20).

Finalmente, el manómetro M2 (21) nos da la pauta para observar el aumento de presión, cuando se logre el choque hidráulico al cerrar la válvula de media vuelta (V22).

2.5. Programas utilizados en la investigación.

En el presente trabajo de tesis utilizamos algunos softwares para ingeniería que nos sirven de respaldo, en temas como el cálculo para el diseño del banco de pruebas para el golpe hidráulico, simulación del banco de pruebas, curvas para determinar el funcionamiento del sistema, software para el control y funcionamiento del banco de pruebas.

Debido a esto describimos brevemente cada uno de los softwares utilizados como son: Epanet, Mathcad profesional, Lab View.

2.5.1 EPANET.

“Epanet es un programa orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos, que ha tenido una gran aceptación en España, y en todos los países de habla hispana, desde su lanzamiento en Europa en Septiembre de 1993. Ello se debe principal al excelente trabajo realizado por su autor L Rossman, quien ha sabido calcular los algoritmos mas avanzados con una interfaz gráfica potente y amigable. También han influido en su difusión otros factores. Como la posibilidad de integrar el módulo de cálculo en otras aplicaciones, el soporte dado por EPA para su distribución gratuita, y la existencia abierta de usuarios para la realización de todo

tipo de consultas y puesta al día, cabe recalcar que para el presente trabajo de tesis se utiliza la última versión actualizada de EPANET.

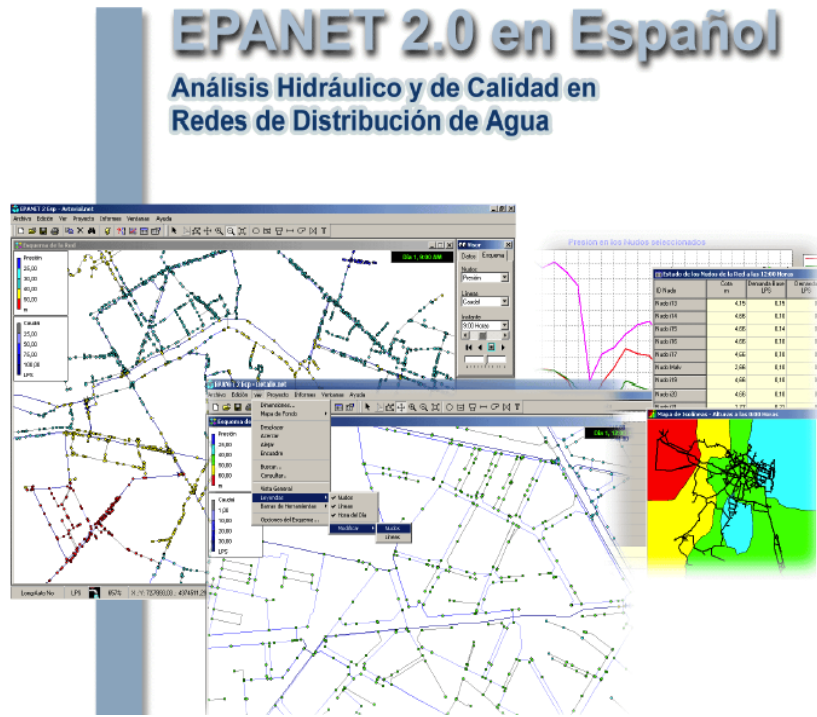


Fig. 2-2 Entorno epanet.

Entre la multitud de aplicaciones para EPANET cabe destacar la planificación de mejoras en las redes, el trazado y selección de nuevos elementos, la detección de los “cuellos de botella” de la red, la evaluación de calidad y tiempo de vida de los materiales, la regulación de las presiones en la red, la reducción de los costos de operación, la regulación de los usos de los depósitos para reducir los tiempos de retención de agua. La previsión de la respuesta de la red ante la clausura de un punto de alimentación o la incorporación de nuevos puntos de consumo, prevenir y ver el comportamiento de fenómenos como el golpe de ariete, cavitación.

La más reciente versión del EPANET 2.00.10 de la versión española se han introducido una serie de mejoras adicionales sobre la versión inglesa, como son:

- La adopción de Unidades del Sistema Internacional SI por defecto, en todas las partes del programa, así como la fórmula de Darcy- Weisbach para el cálculo de las pérdidas. La adopción del sistema internacional afecta a las unidades de caudal por defecto en l/s, a los valores de las magnitudes mostradas en el diálogo de valores por defecto, y a los rangos por defecto de las leyendas.
- Se ha incorporado la coma como separador decimal, en sustitución del punto. Además la versión en español de Epanet 2.00.10 es sensible a la configuración internacional de Windows, de modo que puede actualizarse el separador decimal sin necesidad de cerrar la cesión de EPANET. Lo más importante es que el separador decimal es ahora reconocido correctamente cuando se transfieren datos a aplicaciones externas como Excel. Cualquiera que sea la configuración internacional de Windows.
- La versión española de EPANET 2.00.10 puede ejecutarse en red y sobre S.O con restricciones de permiso de escritura en ciertos directorios, como Windows

2.5.2.- Math-Cad profesional.

El uso del software Mathcad profesional supone un paso adelante para clarificar y potenciar el aprendizaje de conceptos, técnicas e ideas matemáticas de forma que sean de clara utilidad práctica, tanto como de cara al desarrollo del currículo académico como de cualquier actividad profesional.

En este sentido, el uso adecuado de este programa no sólo facilita la adquisición de conceptos clave sino que también fomenta la creatividad dentro del ámbito matemático, facilitando la contextualización de las asignaturas cuantitativas y ofreciendo ciento de operadores y funciones incorporadas para resolver problemas técnicos, desde los más simples hasta los más complicados. Esto lo podemos observar en la figura que sigue a continuación en donde se puede ver la hoja de cálculo que se configuró para el cálculo del presente tema de tesis.

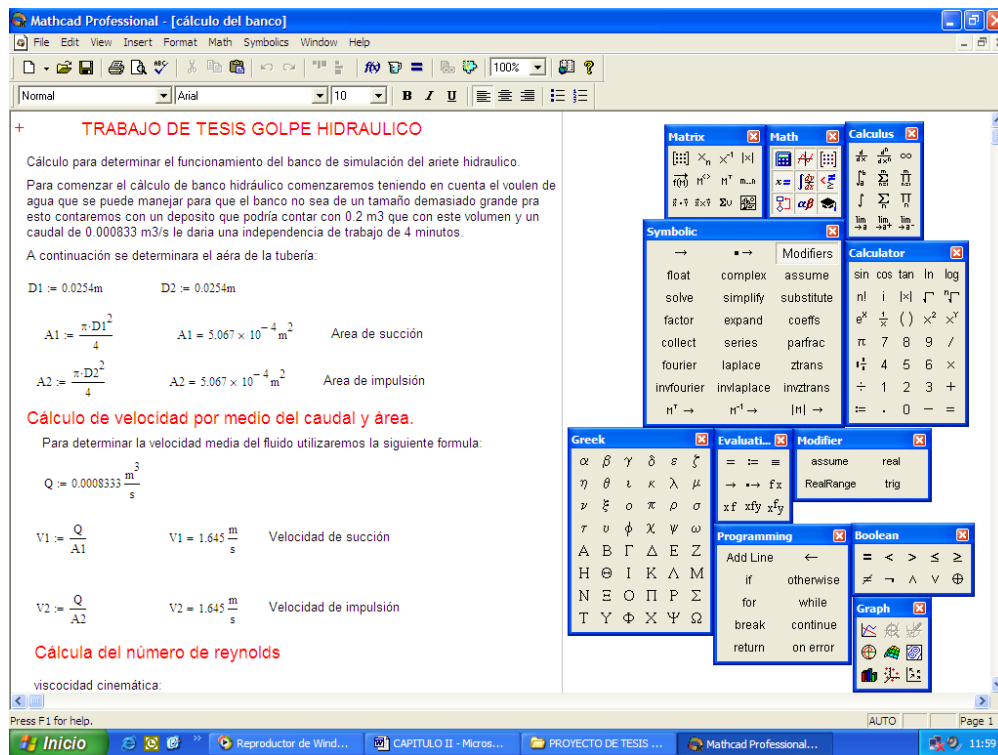


Fig. 2-3 Programa para cálculo Mathcad.

Mathcad profesional es un software de cálculo extremadamente versátil y potente como lenguaje de programación.

Contiene una exhaustiva biblioteca de funciones estadísticas y de análisis, una colección de potentes algoritmos para resolución de problemas así como herramientas de manipulación de matrices.

Lo principal del Math-cad es que resulta tan fácil de usar como las conocidas hojas de cálculo que pueden encontrarse en el mercado. Y, sin embargo no es necesario aprenderse ninguna sintaxis complicada; en mathcad una ecuación aparece tal y como se podría ver en una pizarra o en un libro.

Con mathcad se puede resolver prácticamente cualquier tipo de problema matemático, ya sea de forma simbólica o numéricamente. También se puede situar texto a su alrededor para documentar el trabajo, o crear representaciones bidimensionales o tridimensionales. Combinando ecuaciones, texto y gráficos en un solo documento, Mathcad facilita el seguimiento de los cálculos más complejos lo que permite llevar un control minucioso del trabajo.

2.5.4 Lab View

El Lab View es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, telemática, juegos, manejo de textos, etc.

Cada programa realizado en LabView será llamado Instrumento Virtual (VI).

CAPITULO III

CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE

3. CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE

3.1 Cálculo para determinar las pérdidas Hidráulicas.

Para efectos de cálculo de las pérdidas hidráulicas partimos de las fórmulas indicadas en el capítulo número dos, considerando que el volumen de agua con el

cual se trabaja es de 200 lt., almacenados en el recipiente de succión y tomando un tiempo estimado de 4 min., antes de cerrar la válvula podemos determinar lo siguiente:

$$Q: \frac{V}{t}$$

En donde:

V = volumen 200lt.

t = tiempo 4 min. equivalente a 240 segundos.

Obteniendo un caudal de 0.8333 lt/s. valor que tomaremos en cuenta para aproximaciones del cálculo.

Partiendo de esta información y basándose en el método de cálculo propuesto en el capítulo dos, se comienza calculando el área de la tubería de succión e impulsión del sistema obteniendo los datos de la tabla N° 3.1. Cabe recalcar que todo el cálculo se lo realizo en el programa mathcad, y para la recopilación de datos se realizaron cuadros de datos.

En la tabla N° 3.1 podemos observar los valores que obtenemos del cálculo del área de la tubería, luego el número de reynolds con respecto a la viscosidad cinemática del fluido y el radio de la tubería, la viscosidad del fluido según se ha podido consultar del libro hidráulica de Mataix tenemos un valor de 0.00000101 m²/s. para agua a 18°C. (Anexo 2) Encontramos también el valor de λ (landa) coeficiente de rozamiento de las tuberías y la longitud en m de la misma:

Tabla 3.1.

Nº	Denominación	Diámetro	Caudal	Área	Radio	K	Re	λ	Longitud de tb

		m	m ³ /s	m ²	m	mm			m
1	Succión 1	0.0254	0.0008333	0.0005067	0.013	0.0001	41360	0.028	1.30
2	Impulsión 1	0.0127	0.0008333	0.0001267	0.00635	0.0001	82720	0.035	5.00
3	Impulsión 2	0.0254	0.0008333	0.0005067	0.013	0.0001	41360	0.028	5.00

Cabe señalar que se tomó en consideración dos diámetros diferentes para la impulsión, con la finalidad de establecer en cual se puede apreciar de mejor manera el choque hidráulico, dando como resultado que el de 1" (0.0254 m) será el utilizado en la construcción del banco de pruebas.

Con los datos antes obtenidos se puede encontrar los resultados de pérdidas primarias y secundarias las mismas que se pueden observar en la tabla N° 3.2; en donde se enumeran las pérdidas por rozamiento en la tubería tanto de succión como de impulsión para los diferentes diámetros.

Tabla 3.2. Pérdidas primarias

N°	Denominación	Diámetro	Caudal	Hroz	Longitud de tb
		m	m ³ /s	m.c.a	m
1	Succión 1	0.0254	0.0008333	0.199	1.30
2	Impulsión 1	0.0127	0.0008333	30.274	5.00
3	Impulsión 2	0.0254	0.0008333	0.765	5.00

Como se observa en los datos obtenidos la tubería de diámetro 0.0127 m tiene pérdidas por rozamiento demasiado elevada, por lo que podría ser un inconveniente, lo que más adelante se puede constatar.

A continuación, tabla N° 3.3, se calcula las pérdidas secundarias en los diferentes accesorios que existen en la instalación, tanto para la succión como para la impulsión.

Tabla 3.3. Pérdidas secundarias

Nº	Accesorio	Succión	Impulsión	Impulsión
		Hloc	Loc.	Loc.
		m.c.a	m.c.a	m.c.a
		Ø: 0.0254m	Ø: 0.0254m	Ø: 0.0127m
1	Codo de 90°	0.014	0.827	13.233
2	Uniones		0.138	2.206
3	Válvula check		0.469	7.499
4	Válvula de compuerta	0.001378	0.551	8.822
5	Tee		0.469	4.411
6	Válvula de mariposa		0.689	11.028
7	Válvula de pie	0.551		
	Σhloc	0.567	3.088	42.787

3.2. Cálculo para determinar el NPSH_A

Para determinar el NPSHa, primeramente se encuentra la presión de entrada y de salida de la bomba, que se lo detalla en la tabla 3.4, utilizando la fórmula 2.7

Tabla 3.4. NPSHa,

Nº	Denominación	Diámetro	P entrada	P salida
		M	m.c.a	m.c.a
1	Succión 1	0.0254	9.197	
2	Impulsión 1	0.0127		9.497
3	Impulsión 2	0.0254		9.497

Una vez determinada la presión de entrada de la bomba se calcula el NPSH_A de la instalación de acuerdo a la metodología expuesta en el capítulo 2 de acuerdo a los siguientes datos:

Patm = presión atmosférica en la ciudad 8.997 m.c.a

Z1 = altura de succión = 1.55m.

Hroz1 = Pérdida de rozamiento en la succión

Hloc2 = Pérdidas por accesorios

He = Pérdidas por evaporación (Anexo 5, para 18 grados)

$NPSH_A = patm - Z1 - Hroz1 - \Sigma Hloc2 - He$

Teniendo un valor de NPSH_A: de 6.792 m.c.a.

Esto quiere decir que para que la instalación no cavite el valor del NPSH_R, tiene que ser menor o igual al del NPSH_A

3.3. Cálculo para determinar el TDH de trabajo del sistema.

Para encontrar la altura de trabajo del sistema también denominado altura manométrica, o TDH, se utiliza la ecuación general de Bernoulli, indicada en el capítulo 2.

$$H_{man} := (P_2 + P_1) + (Z_2 - Z_1) + H_{roz2} + \Sigma H_{loc1}$$

P_2 = Presión de entrada.

P_1 = Presión de salida.

Z_2 = Altura de impulsión

Z_1 = Altura de succión.

H_{roz2} = Pérdidas por rozamiento en la impulsión.

ΣH_{loc1} = Sumatoria total de pérdidas por accesorios.

Todos estos valores los podemos encontrar en los cuadros antes indicados (Tabla 3.1 a Tabla 3.4).

Reemplazando todos los valores obtenemos el valor de la altura manométrica H_{man} : 21.846 m.c.a. este valor para la instalación con succión 1", e impulsión de 1".

Para la instalación de 1" y succión de 1/2" tenemos un valor diferente que es de 91.055 m.c.a. que es ya un valor cercano a la presión nominal de funcionamiento del sistema. Debido a esto se deduce que esta instalación no es la más conveniente, porque trabajaría muy cerca de la presión de reventamiento de la tubería y más aún si se presentaría el golpe de ariete en la instalación.

3.4. Cálculo para el rendimiento, potencia y tipo de bomba.

El cálculo de potencia del sistema lo realizamos según la fórmula 2.10, para lo cual contamos con los siguientes datos:

$$N := \frac{g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_{man}}{\eta}$$

η = eficiencia del sistema en la cual asumimos un valor del 86 %

g = gravedad.

ρ = densidad del agua

Q = caudal.

H_{man} = altura manométrica.

Una vez que contamos con la altura podemos determinar la potencia del sistema utilizando la fórmula 2.11, obteniendo un valor de 207.659 W que equivale a 0.2784 HP, todo esto para el cálculo con la instalación de succión de 1" e impulsión de 1". Para el cálculo con tubería de succión de 1" e impulsión de 1/2". Tenemos un valor de potencia de 865.51KW que equivalen a 1.16 HP.

Con la potencia obtenida en el sistema se procede a determinar el consumo energético del sistema el mismo que se lo obtiene del producto entre la potencia de la bomba, y el tiempo del funcionamiento del sistema. Siendo así, los datos son los siguientes:

Potencia = 0.5 HP.

Tiempo = 4 minutos.

Teniendo un resultado de 0.0346 KW/h.

Es muy importante también determinar el consumo de corriente del sistema como también el consumo de corriente del motor instalado, esto sirve para encontrar el accionamiento y la protección óptima para el funcionamiento y protección del

motor de la bomba. Esto lo hacemos a través de la fórmula expresada 2.12. Para esto contamos con los siguientes datos:

$N =$ Potencia del sistema 207.659 W

$V_f =$ voltaje de fase 110 V.

$\text{Cos}\theta =$ Coseno ϕ o factor de potencia del motor tomándolo en 0.95

$I_1 =$ Intensidad del sistema.

Con estos valores se obtiene un consumo de corriente de 4.782A

Los datos para el cálculo del consumo de corriente del motor a instalar son:

$N_c =$ Potencia del motor a instalar 372.85 W

$V_f =$ voltaje de fase 110V

$\text{Cos}\theta =$ Coseno ϕ o factor de potencia del motores 0.95

$I_2 =$ Intensidad de consumo del motor.

Obteniendo un valor total de 2.06A de consumo de corriente, esto quiere decir que la protección adecuada del sistema tiene que soportar mínimo 2.06A.

3.5. Cálculo para determinar el golpe de ariete.

Para el cálculo del golpe de ariete hidráulico se necesita tener en cuenta los siguientes parámetros: la densidad del fluido en Kg/m^3 , d el diámetro interior de la tubería en metros, E_1 el módulo de elasticidad volumétrica del líquido en Pa, E_{tub} módulo de elasticidad de la tubería en Pa. El espesor de la tubería δ en m. C_1 coeficiente de velocidad del sonido de propagación en el agua m/s el mismo que es una constante universal que tiene un valor de 1425 m/s.

Para el cálculo tomamos los siguientes valores:

$E_{\text{tub}} = 1'000.000$ Pa

$E_1 = 20000$ Pa.

$$C1 = 1425 \text{ m/s}$$

$$\delta = 0.004 \text{ m}$$

$$D2 = \text{diámetro de la tubería } 0.0254 \text{ m}$$

$$C = \text{Velocidad de onda de propagación de choque.}$$

Todo esto lo llevamos a la siguiente fórmula:

$$C := \frac{C1}{\sqrt{1 + \frac{D2}{\delta} + \frac{E1}{Etub}}} \quad (\text{Paschov})$$

Teniendo un valor de $C = 524.905 \text{ m/s}$.

(También se puede calcular el valor de C , con la fórmula 2.18).

A continuación encontraremos el incremento de presión:

Sabiendo que la densidad del fluido que estamos tratando es el agua que es igual a 1000 Kg/m^3 .

$V2 =$ velocidad media del fluido en la impulsión.

$\Delta P =$ Incremento de presión en Pa

$$\Delta P: \rho \times C \times V2 \quad (\text{Nekrasov})$$

Teniendo como respuesta 863200 Pa , este sería el incremento de presión en el sistema. Transformando este valor a m.c.a obtenemos un valor de 87.995 m.c.a .

Para finalmente encontrar la presión de reventamiento del sistema la misma que encontraremos de la siguiente manera:

$$\Delta H_p: \Delta P + H_{man} \quad (\text{Nekrasov})$$

Teniendo un valor total de 113.507 m de presión de reventamiento. Por tal motivo teniendo en cuenta que la presión de reventamiento de la tubería de PVC es de 10 bar que equivale a 101 m.c.a , por tal razón ubicaremos un recipiente de

amortiguación el mismo que podremos observar su funcionamiento y resultado en la simulación del banco de pruebas en el programa Epanet que mas adelante detallamos.

Es importante recalcar que la presión de reventamiento del cálculo para tubería de succión e impulsión de 1/2" es de 557.59m. Lo cual rebasa mucho la presión de reventamiento de la tubería llevándonos a elegir un diámetro de 1" para la construcción del banco.

3.6. Curvas de funcionamiento.

La curva de funcionamiento del sistema obtenido del programa pumpex en donde se observa el punto óptimo de trabajo del sistema y la bomba figura 3.1

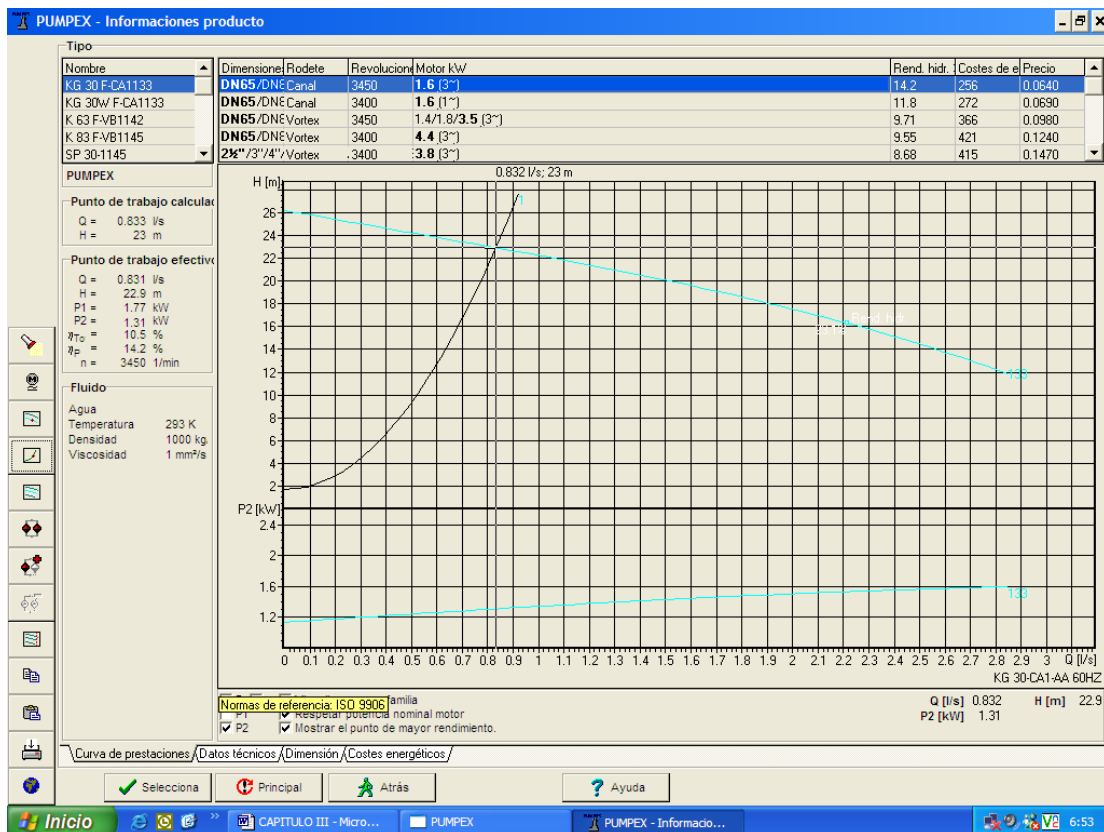


Fig. 3.1 Punto de funcionamiento utilizando el software Pumpex

La curva señalada en color verde es la curva de la bomba y se corta hacia abajo, indicándonos que mientras más caudal se bombea menor altura manométrica se consigue mientras que la curva en negro, y que se corta hacia arriba, es la curva del sistema de tuberías y accesorios. El punto donde se cortan las dos curvas es el punto de trabajo del sistema en su totalidad, el cual al ser confrontado con las curvas de la bomba, nos indica la potencia, rendimiento, altura, caudal y eficiencia de la misma.

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

HIDRAULICO. RESULTADOS

4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS HIDRAULICO.

4.1 Dimensionamiento del banco de pruebas.

Para el dimensionamiento del banco de pruebas de golpe de ariete hidráulico una vez que se ha realizado los cálculos, se ha procedido a dibujar el plano respectivo para la construcción del equipo (Anexo 8), en donde podemos observar a escala las partes que lo constituyen:

1. Sensor medidor de presión.
2. Depósito de amortiguación.
3. Válvula de compuerta.
4. Válvula de media vuelta.
5. Motobomba.
6. Tubería retorno a depósito principal.
7. Tubería agua de rebose y vaciado tanque de amortiguación.
8. Depósito principal.
9. Mesón.
10. Válvula vaciado del tanque de amortiguación.
11. Válvula rebose del tanque de amortiguación.

4.2 Adquisición de datos.

Al estudiar profundamente la configuración de los sistemas de adquisición de datos modernos DAQ (Data Acquisition System), basados en equipos PC (Personal Computer), se aprecia que una de las partes que componen dichos sistemas, es el software quien controla y administra los recursos del computador, presenta los datos, y participa en el análisis.

Analizando de este modo, el software es un t3pico muy importante que requiere de especial cuidado. Para los sistemas DAQ se necesita de un software de instrumentaci3n, que sea flexible para futuros cambios, y preferiblemente que sea de f3cil manejo, siendo lo mas poderoso e ilustrativo posible.

Programas y lenguajes de programaci3n que cumplan con lo indicado para el trabajo presente, existen en gran n3mero en el mercado actual, mas la facilidad de elaborar los algoritmos de control y la toma de datos que nos presenta el lenguaje Lab VIEW (Laboratory Virtual Engineering workbench), nos llevaron a considerar que es el mas apto.

La adquisici3n se realizar3 por medio de una tarjeta dise1ada para tal efecto (ver anexo 10)

4.2.1.- Lab View.

El Lab View es un lenguaje de programaci3n de alto nivel, de tipo gr3fico, y enfocado al uso en instrumentaci3n. Pero como lenguaje de programaci3n, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicaci3n, como en an3lisis, telem3tica, juegos, manejo de textos, etc. En este caso se utiliza como registrador y almacenado de datos que se env3an desde el sensor.

4.2.2.- Instrumentos Virtuales.

Un programa creado en Lab VIEW es llamado como Instrumento Virtual y consta de tres partes a crear.

- El Panel frontal, fig 4.1, donde estarán ubicados todos los indicadores y controles que el usuario podrá ver cuando el programa este en funcionamiento. Por ejemplo botones, perillas, gráficas, etc.

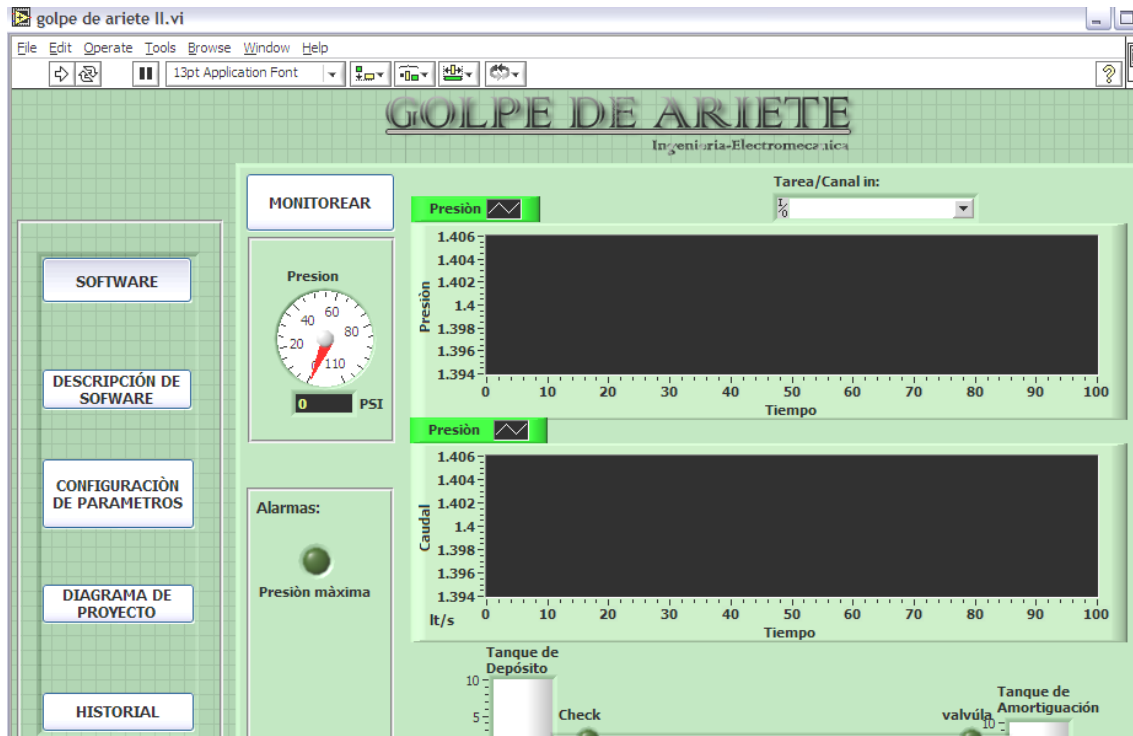


Fig 4.1 Panel Frontal del software Golpe de Ariete para registro de datos

- El diagrama de bloques, fig 4.2 muestra el programa en código gráfico G. Se usan en este diagrama estructuras de programación, y flujo de datos entre las diferentes entradas y salidas, a través de líneas. En este las subrutinas son mostradas como iconos de cajas negras, con unas entradas y unas salidas determinadas, donde en el interior se cumple una función específica. El flujo se aprecia, como se dibujaría en un bosquejo de sistemas.

Todos los indicadores y controles ubicados en el panel frontal están respaldados por un Terminal de conexión en el diagrama de bloques tal como si se tuviera un tablero de control de una máquina o un avión, donde por el frente se ven los

indicadores y por el lado posterior se aprecian todos los cables y terminales de conexión.

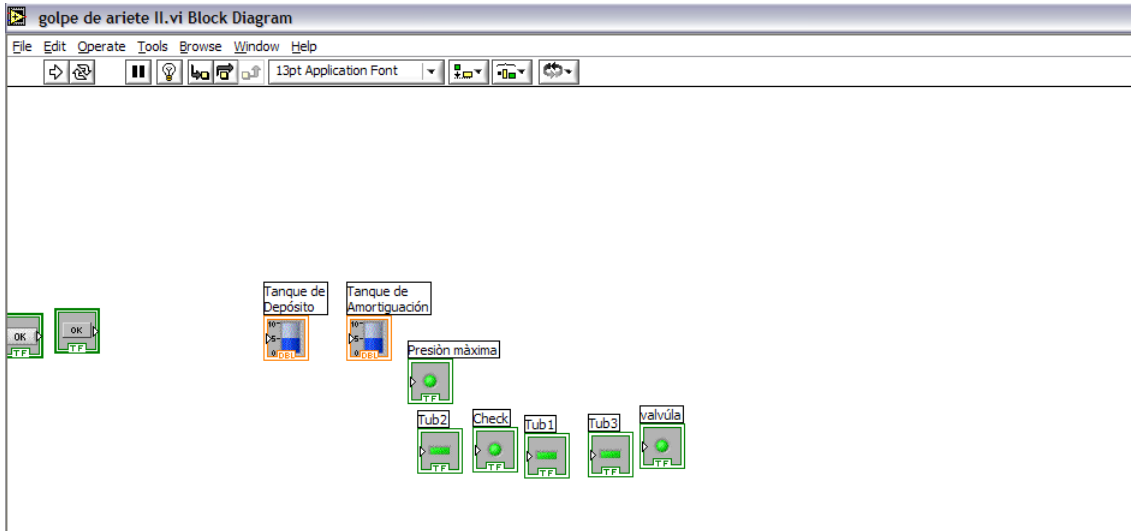


Fig 4.2 Diagrama de bloques representativo del panel frontal

- El icono de conexión. Se usa para utilizar el programa creado como subrutina en otro programa, donde el icono será la caja negra, y las entradas son las conexiones a los controles del programa subrutina, y las salidas son las conexiones a los indicadores del mismo subprograma. Al crear el icono, se conecta a través del alambre de soldadura a los indicadores y controles en la forma que se desee que se distribuyan las entradas y salidas en la caja negra, tal como en un circuito integrado algunos pines corresponden a alguna función en él.
- La idea es crear un sistema de programación modular, donde cada rutina creada llame otras rutinas, y estas a su vez, a otras de menor nivel, en una cadena jerárquica con cualquier límite deseado. Así cuando se use un módulo,

no se requiere saber como funciona interiormente, simplemente solo basta conocer sus entradas y salidas para ser así utilizado

4.2.3.- Panel Frontal.

Al desarrollar una aplicación o una subrutina primero se debe tener un claro conocimiento de que valores se van a utilizar, cuales van a ser las entradas y cuales las salidas, para así definir como se van a entrar y sacar estos valores.

En el caso presente se adquirirá los datos de entrada de 0-10V de cc, obtenidos de una resistencia generadora, para representar el valor propio del equipo de medición de presión de 0 a 10m Bar mediante una tarjeta de adquisición (Anexo 10), que luego enviara la señal al PC y será escalada para trabajar de 0 a 140 PSI en el programa golpe de ariete que se indica en la fig 4.3.

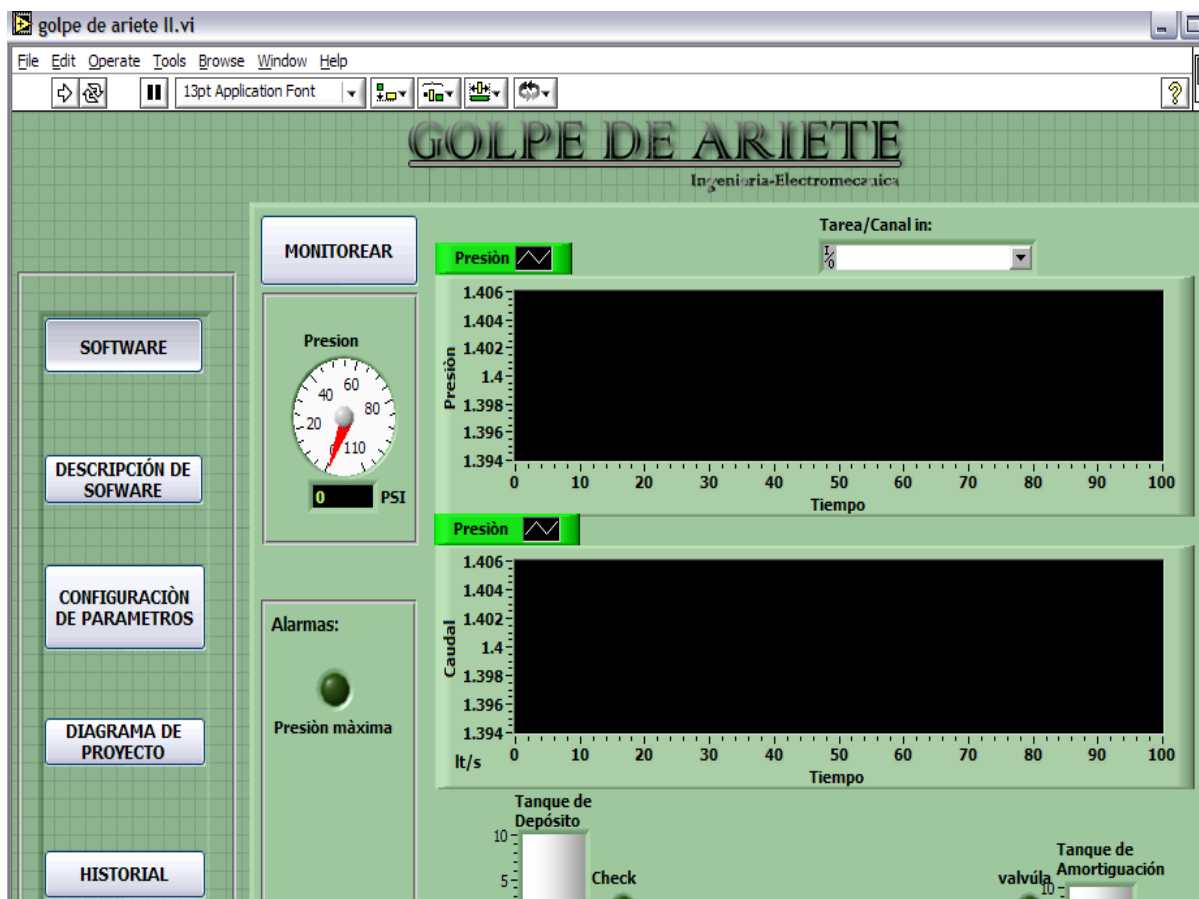


Fig. 4.3 Panel Frontal para registro de datos del Sensor de Presión

Este panel consta de 7 menús principales:

Monitorear: Para ingresar al programa y empezar la lectura de datos enviada por el sensor. Para ingresar se pide una clave de acceso.

Descripción del Software: Pantalla principal Fig 4.3 donde se puede observar la evolución de la presión que envía el sensor con respecto al tiempo, además se tiene una pantalla adicional del caudal, para su funcionamiento hay que ingresar un valor representativo.

Desde aquí se pueden gravar datos en archivos que posteriormente se guardarán en el escritorio del computador

Configuración de Parámetros: Especialmente para configurar el sensor en cuanto a número de datos por tiempo, también se puede configurar la presión máxima.

Descripción del Proyecto: Se presenta un esquema representativo del banco.

Historial: Para muestra de datos en archivos guardados.

Menú de Salida: para desconectar el sensor del programa y salir de éste

4.2.4.- Diagrama de Bloques

En éste diagrama se ve el flujo del programa, y se compone de cinco tipos de elementos.

- Las terminales de conexión de los indicadores y de los controles del panel frontal.
- Las funciones y cajas negras, donde se procesan las señales.
- Las constantes.

- Las estructuras de programación.
- Los cables que conducen las diferentes señales, los cuales varían según la señal que conducen.

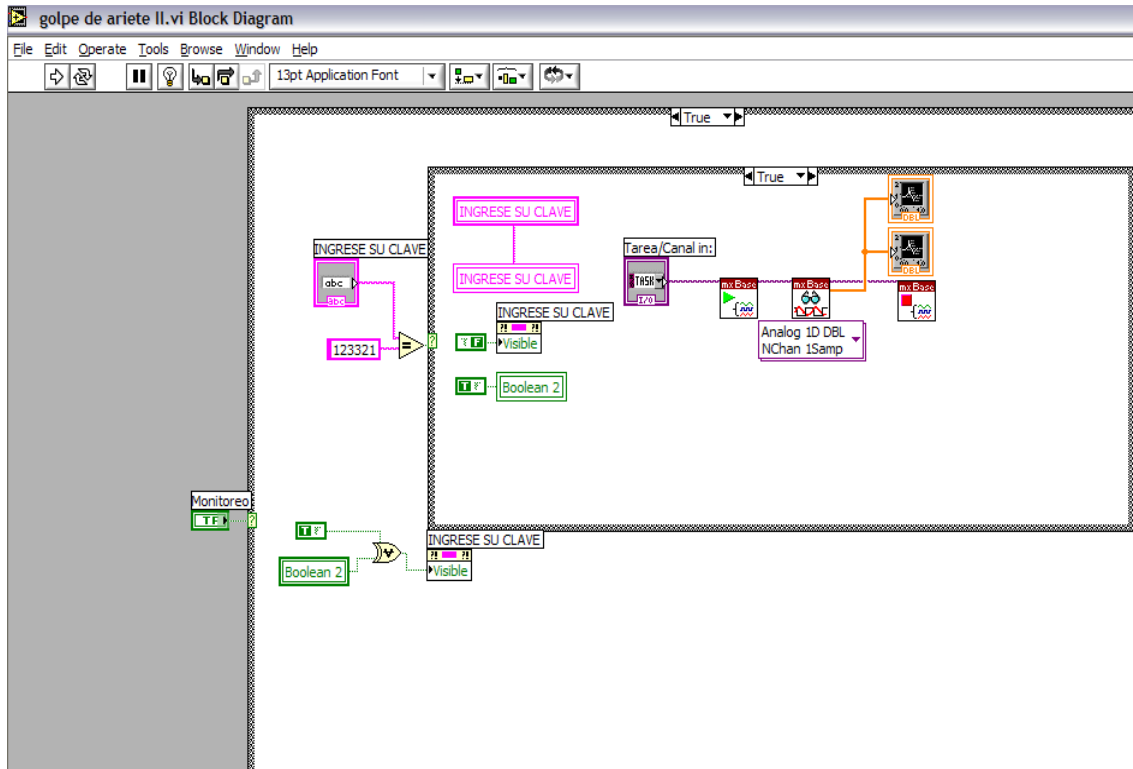


Fig. 4.4 Diagrama de bloque completo del panel Frontal

Aquí se ve claramente la constitución del instrumento virtual a ser empleado para el presente trabajo; desde el monitoreo de la señal a ser registrada, la lógica de funcionamiento, la clave de activación. En resumen se observa el diagrama de estructuras de programación y el flujo de datos entre la entrada de la información a ser adquirida (en este caso 0 – 10V, producto del elemento de medición de presión) y la gráfica presentada de la presión en función de tiempo que se presenta como respuesta al monitoreo de nuestro instrumento virtual.

4.3 Operación y Mantenimiento del banco de pruebas.

4.3.1. Operación.

Para la operación del banco de pruebas de Golpe de ariete Hidráulico se lo ha resumido en algunos pasos que se detallan a continuación:

1. Revisar el estado general de equipo.
2. Revisar que la bomba, la tarjeta, el Sensor de medición de presión estén correctamente conectados.
3. Encender la computadora y acceder al programa de registro de datos.
4. Comprobar que exista comunicación entre el Sensor y el computador.
5. Revisar que el depósito principal de agua tenga la cantidad suficiente de agua para su normal funcionamiento.
6. Revisar que la bomba se encuentre correctamente conectada.
7. Cerrar la válvula de purga del depósito de amortiguación.
8. Abrir la válvula de salida de agua del depósito de amortiguación.
9. Abrir la válvula de rebose del depósito de amortiguación.
10. Revisar el normal funcionamiento de los manómetros.
11. Abrir la válvula de bola de media vuelta.
12. Revisar que las válvulas de paso de agua estén abiertas y listas para entrar en funcionamiento.
13. Revisar que la bomba esté cebada, en caso de que no se encuentre cebada, proceder a realizarlo.
14. Una vez que se ha realizado todos estos pasos, encender la bomba y dar paso de agua por todo el circuito.

15. Apagar la bomba y abrir la válvula de rebose, para el retorno de agua en exceso que exista en el tanque de alivio.
16. Ya que se ha realizado todos estos pasos podemos proceder a realizar ya las respectivas pruebas en el banco de pruebas.
17. Para desarrollar la prueba de golpe de ariete, procederemos a realizar el siguiente procedimiento.
18. Llenar el depósito de alimentación un 60% de su capacidad.
19. Encender la bomba y dejar que el fluido realice todo el recorrido por un lapso de 4 minutos.
20. Luego de 4 minutos cerrar la válvula de media vuelta.
21. La persona que está monitoreando el golpe de ariete revisará los datos de presión por un lapso máximo de 1 minuto.
22. Otra persona tomara los datos de presión del fluido.
23. Luego de 4 minutos se abrirá la válvula de media vuelta y se permitirá el paso regular del fluido hacía el depósito de alimentación.
24. Además en el banco se podrá realizar prácticas, para determinar la curva de la bomba, la curva del sistema, pérdidas, NPSHa, cálculo de presión, cálculo de caudal. Todo esto se puede comprobar realizando la simulación en Epanet que se adjunta en el presente trabajo.

4.3.2.- Mantenimiento y precauciones.

Para efectuar el mantenimiento normal de la presente instalación se puede realizar el siguiente cronograma.

- Realizar la limpieza constante del banco, especialmente de los equipos como el sensor medidor de presión, la tarjeta de adquisición de datos, el computador y la bomba, pues el polvo puede llegar a deteriorarlos.
- Evitar que en los depósitos existan elementos extraños que no sea agua debido a que esto puede provocar daños tanto en la bomba, como en otros elementos del equipo tales como: el Sensor, medidor de presión, manómetros.
- Siempre que arranque la bomba revisar que la bomba con anterioridad esta cebada.
- No realizar maniobras bruscas que no estén programadas debido a que esto puede provocar daños al equipo.
- El manejo del equipo tiene que realizarse bajo la supervisión de una persona que conozca del funcionamiento del banco.
- Evitar que el software de registro de datos y la tarjeta sean manipulados.

4.3.2.1 Mantenimiento preventivo.

- Vigilancia del conjunto.

Nº	DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN A REALIZAR	PROCEDIMIENTO	PERIODICIDAD	CONSECUENCIA
1	Revisión completa	Comprobaciones y desmontar bomba	Anual	2, 3, 4, 5,6

2	Comprobar pérdida características funcionales	Lectura instrumental	Según utilización	Comprobar instalación, 1
3	Comprobar fugas	Inspección visual	Mensual	4,6
4	Comprobar apriete de uniones	Manualmente	Semestral	
5	Comprobar nivel/presión de aire en el depósito	Inspección visual	Mensual	
6	Comprobar nº de arranques	Inspección visual	Mensual	
7	Cambiar juntas o elementos de sellado	Manualmente	Cada vez que se desmonten.	

➤ Anomalías en el funcionamiento.

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	REMEDIOS
1.- El equipo no mueve el fluido	a. Válvulas de aspiración o impulsión	a. Abrirlas. b. Cambiar las conexiones del

	<p>cerradas.</p> <p>b. Sentido de giro incorrecto.</p> <p>c. Tubería de aspiración o bomba mal cebada.</p> <p>d. Entra aire por la tubería de aspiración.</p> <p>e. Altura máxima generada por la bomba es inferior a la requerida por la instalación.</p>	<p>motor.</p> <p>c. Ceban correctamente la tubería colocando conexiones de venteo en los puntos más altos.</p> <p>Ceban la bomba.</p> <p>d. Revisar hermeticidad de la tubería.</p> <p>e. Aumentar la velocidad de giro. Si esto no fuera posible es necesario el montaje de un impulsor mayor o de una bomba más grande.</p>
2.- Excesivo número de arranques.	<p>a. Fuga permanente de líquido en la instalación.</p>	<p>a. Buscar y sellar la fuga.</p> <p>b. Regular las</p>

	<p>b. Consumo menor que el caudal de las bombas.</p> <p>c. Pérdida de la cámara de aceite.</p>	<p>válvulas de impulsión.</p> <p>c. Comprobar nivel o presión de la cámara y verificar el sistema de recuperación.</p>
<p>3.- Caudal o presión insuficiente</p>	<p>a. Válvulas de aspiración o impulsión mal reguladas.</p> <p>b. Velocidad de giro incorrecta.</p> <p>c. Mal cebado.</p> <p>d. Entra aire por el sistema de cierre.</p> <p>e. Obstrucción de tuberías.</p> <p>f. Impulsor obstruido o gastado.</p> <p>g. Anillos de roce gastados.</p>	<p>a. Abrir completamente la válvula de aspiración, y buscar el punto de trabajo de la impulsión.</p> <p>b. Medir la velocidad, comprobar la tensión de red de accionamiento del motor.</p> <p>c. Volver a llenar la bomba y las tuberías y</p>

	<p>h. Contrapresión demasiado elevada</p>	<p>evacuar el aire cuidadosamente.</p> <p>d. Limpiar tuberías.</p> <p>e. Desmontar impulsor e inspeccionarlo.</p> <p>f. Aumentar la velocidad de giro. Si esto no fuera posible es necesario el montaje de un impulsor mayor o de una bomba más grande.</p>
<p>4.- Potencia absorbida excesiva</p>	<p>a. Densidad o viscosidad del líquido superior a lo normal.</p> <p>b. Rotor de la bomba desplazado.</p> <p>c. Obstrucción en el</p>	<p>a. Reducir el punto requerido, o cambiar el motor.</p> <p>b. Colocar en su posición original y fijarlo.</p> <p>c. Desmontar bomba y limpiar.</p>

	<p>interior de la bomba, impulsor o bocas.</p> <p>d. La altura real a generar por la bomba es menor que la del punto requerida, por lo que el caudal y la potencia son mayores.</p> <p>e. Excesivos rozamientos en las partes giratorias.</p>	<p>d. Cerrar parcialmente la válvula de impulsión.</p> <p>e. Desmontar la bomba y comprobar el montaje correcto de todos sus elementos.</p>
<p>5.- Ruidos y vibraciones excesivas.</p>	<p>a. Anillos de roce gastados o mal montados.</p> <p>b. Ejes descentrados o deformados.</p> <p>c. Impulsor desequilibrado o</p>	<p>a. Cambiar anillos o volver a instalarlos.</p> <p>b. Desmontarlo y sustituirlo.</p> <p>c. Equilibrar impulsor o cambiarlo.</p>

	<p>gastado.</p> <p>d. Tuercas de sujeción impulsor flojas.</p> <p>e. Tensiones de las tuberías sobre la bomba.</p> <p>f. Falta de rigidez en la cimentación o pernos de anclaje flojos.</p> <p>g. Rotor de la bomba desplazado.</p> <p>h. Bomba cavitando.</p> <p>i. Diámetros de tuberías insuficientes.</p>	<p>d. Desmontar la bomba y apretarlas.</p> <p>e. Destapar las tuberías y nivelar el equipo.</p> <p>f. Rehacer la cimentación o apretar los pernos.</p> <p>g. Colocarlo en su posición original y fijarlo.</p> <p>h. Mejorar la aspiración.</p> <p>i. Si es posible, tuberías de mayor diámetro.</p>
6.- Pérdida de fluido por el cierre mecánico.	<p>a. Cierre mecánico muy desgastado en sus superficies de roce.</p> <p>b. EL muelle del</p>	<p>a. Desmontar y sustituir cierre.</p> <p>b. Desmontar y sustituir cierre</p> <p>c. Desmontar y</p>

	<p>cierre mecánico está roto o ha perdido elasticidad.</p> <p>c. Anillos tóricos del cierre mecánico rotos, deformados, o han perdido su elasticidad.</p> <p>d. Casquillo recambiable rayado o desgastado.</p> <p>e. Montaje incorrecto del cierre.</p>	<p>sustituir cierre.</p> <p>d. Desmontar y cambiar casquillo.</p> <p>e. Desmontar, revisar daños y cambiar lo necesario.</p>
<p>7.- Los anillos de roce se desgastan rápidamente.</p>	<p>a. Eje descentrado o deformado.</p> <p>b. Impulsor desequilibrado o gastado.</p> <p>c. Esfuerzos</p>	<p>a. Desmontado y sustituirlo.</p> <p>b. Equilibrar impulsor o cambiarlo.</p> <p>c. Arriostar las</p>

	excesivos de las tuberías sobre la bomba.	tuberías y nivelar el equipo.
--	---	-------------------------------

4.4 Guión de Prácticas.

Para el mejor aprovechamiento del banco de pruebas de Golpe de ariete, se ha elaborado 3 prácticas características, que resumidas se pueden hacer: Cálculo de pérdidas primarias y secundarias, altura manométrica, registro de datos del censor mediante tarjeta de adquisición. Simulación del banco mediante software. Esto se lo detalla en las siguientes prácticas:

Previamente se dan a conocer los fundamentos teóricos básicos que el estudiante debe conocer y dominar para que pueda efectuar las prácticas:

Fundamento Teórico

1. Régimen laminar y turbulento de los fluidos.
2. Ecuación Generalizada de Bernoulli para una instalación Hidráulica

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 - \sum H_{r1-2} + \sum H_b - \sum H_t = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad \text{Ec.1}$$

3. Pérdidas primarias H_{rp} , coeficiente de rozamiento de las tuberías. Y método de cálculo para pérdidas primarias.

$$\lambda = \frac{0.316}{\text{Re}^{1/4}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 3}$$

4. Pérdidas en accesorios.

$$Hrs = \xi \times Na \frac{v^2}{2g}$$

Ec. 4

Donde Hrs, pérdidas en accesorios, ξ es el coeficiente de pérdidas secundarias que depende del tipo, v velocidad del fluido, Na número de accesorios y g la gravedad, Re número de Reynolds

5. Altura Manométrica de la Bomba:

Cuando las pérdidas internas $H_{r, int}$ de la bomba son despreciables, la altura manométrica efectiva de la bomba se calcula por:

$$H_{man} = M1 - pV1$$

Ec. 5

donde, M1 y pV1 presiones de manómetro M1 y vacuómetro pV1, respectivamente.

6. Celeridad y pulso de Joukowsky

El golpe de ariete tiene lugar en la instalación por el cierre instantáneo de la válvula V22, las magnitudes más importantes que describen este fenómeno son: la celeridad de la onda c y la magnitud del pulso de presión. Estas dos magnitudes están relacionadas con los demás parámetros geométricos y operacionales de la instalación en cuestión.

Celeridad

La celeridad de la onda es función de las características elásticas del sistema fluido tubería. Se puede demostrar que en el caso de un líquido sin fase gaseosa que fluye por una tubería de pared delgada de espesor e y sección circular de diámetro D la celeridad de la onda (también denominada característica de la tubería) viene dada por:

$$c^2 = \frac{\frac{E_w}{\rho}}{1 + \frac{E_w}{E_{pvc}} * \frac{D}{e}}$$

Ec. 6

donde E_w y ρ son el módulo de compresibilidad y la densidad del fluido, E_{pvc} es el módulo de Young del material del que está construido la tubería. Por ejemplo el agua tiene un módulo de compresibilidad de $2.2 \cdot 10^9$ N/m² y una densidad de 1000 kg/m³. En el caso de una tubería de PVC ($E_{pvc} = 2.75 \cdot 10^9$).

El tiempo crítico T_{cr} es el tiempo que necesita la onda de presión para pasar de un extremo a otro de la tubería y volver al punto de partida, y se calcula por:

$$T_{cr} = \frac{2 \times L}{c}$$

Ec. 7

Igualmente la longitud crítica L_c , es la necesaria para que la onda de presión la transite, en ida y vuelta en el tiempo T ,

$$L_c = \frac{T \times c}{2}$$

Ec. 8

Si se cumple la condición: $T_{cr} \leq \frac{2 \times L}{c}$ ó $L_c \geq \frac{T \times c}{2}$, se considera como cierre rápido y la intensidad del golpe de ariete se calcula con la ecuación de Allievi:

$$\Delta H = \frac{c \times v}{g}$$

Ec. 9

Pero si se cumple la condición: $T_{cr} \geq \frac{2 \times L}{c}$ ó $L_c \leq \frac{T \times c}{2}$, es un cierre lento y su valor se calcula diferencialmente utilizando la ecuación de Bernoulli y la ecuación de Impulso y cantidad de movimiento, sin embargo se han propuesto

fórmulas que proporcionan con mayor o menor exactitud el valor máximo del pulso de onda, una de ellas es propuesta por la ecuación de Michaud:

$$\Delta H = \frac{2 \times L \times v}{g \times Tc} \quad \text{Ec. 10}$$

donde Tc es el tiempo de cierre y v la velocidad media del fluido en la tubería de longitud L.

El golpe de Ariete así calculado es el máximo que puede esperarse y teóricamente nunca se llegará a este valor, sin embargo esta aproximación es suficiente para la mayoría de los casos que se presentan en las redes interiores de distribución, cerradas o abiertas.

Presión de Reventamiento PR

Que es la generada por la suma de la presión en M2 más la presión del golpe de ariete.

$$PR = M2 + \Delta H \quad \text{Ec. 11}$$

PRÁCTICA 1

1.- Nombre: Ecuación de Bernoulli, Pérdidas Primarias y Secundarias sin el Tanque de Amortiguación.

2.- Objetivos:

- Verificar la presión dinámica en M2 utilizando la ecuación de Bernoulli.
- Identificar y determinar las pérdidas primarias y secundarias en la instalación hidráulica.

3.- Material:

1. Banco de Golpe de Ariete (Anexo8)
2. Instrumento de medida de temperatura

4.- Procedimiento:

Trabajo Práctico:

1. Comprobar que el tanque de almacenamiento posea la cantidad suficiente de agua.
2. Cebbar la bomba y conectar a la fuente de alimentación.
3. Identificar visualmente las pérdidas primarias y secundarias en el banco, luego realizar un inventario, midiendo la cantidad total en metros de tubería, tipo de tubería y diámetros, así como de los accesorios clasificarlos por tipo y cantidad.
4. Verificar que las válvulas estén en la posición correcta para hacer circular el fluido sin el tanque de amortiguación (V12 y V16 cerradas y V13 Abierta)
5. Encender computadora y la tarjeta de adquisición de datos (19) e ingresar al programa "Software Golpe de Ariete" y comprobar el registro de datos por parte del censor S1 (18)

6. Poner en marcha la bomba (5)
7. Tomar lectura del caudal, con ayuda del rotámetro (8), y presiones con los manómetros M1, M2 y del censor S1 y el vacuómetro pV1 instalados, y medir la temperatura del agua.

Para Registrar y guardar los datos del censor:

1. Ubicarse en el menú Software del programa (fig 4.3) y dar un clic en guardar (empezarán a guardarse los datos proporcionados por el censor S1), para terminar dar nuevamente un clic en guardar lo cual terminará el almacenamiento de datos y se abrirá una pantalla que pedirá un nombre para el archivo y se guardará en el escritorio de la computadora. Para ver el contenido de este archivo puede ejecutarse mediante Microsoft Excel o también desde el programa "Software Golpe de Ariete" ubicándose en el menú Historial y a través de la pestaña de búsqueda abrir el archivo antes guardado.

Siguiendo los pasos antes descritos se deben tomar lecturas para cuatro caudales diferentes y con ayuda de la válvula de regulación de caudal V7

Trabajo Analítico:

8. Confeccionar una tabla (ó tablas) para pérdidas primarias y obtener su valor total, donde se muestren los valores tomados de la práctica (instrumentos) y de tablas (de libros) y los correspondientes calculados (aspiración e impulsión), se debe incluir el valor calculado de λ utilizando la Ec. 2 y por el diagrama de Moody.
9. De la misma forma realizar una tabla para pérdidas secundarias y obtener su valor total en la aspiración e impulsión, Luego obtener las pérdidas

totales Hr de la instalación (primarias mas secundarias, observar con que caudal es mayor).

10. Para el cálculo de la presión en M2, aplicar la ecuación de Bernoulli (Ec.1), tomar como referencia el punto 1 a nivel del agua en el tanque de almacenamiento, y el punto 2 en M2.
11. Realizar una gráfica Ensayos (Abscisas) – Presión de M2, de S1 y calculados por el método de Bernoulli en PSI (ordenadas) (Curva Experimental y Teórica) y comparar los resultados.
12. Simular el circuito hidráulico con el software Epanet y ver los resultados de presión y caudal, luego compararlos con los experimentales y calculados, obtener algunas curvas características (las de mayor relevancia).
13. Verificar los errores entre lo teórico, experimental y simulación. Realizar un comentario.

6.- Preguntas de Control.

1. ¿Cuál es el error porcentual entre lo experimental, teórico y simulación?
2. ¿Qué relación existe entre el caudal y las pérdidas hidráulicas, en que ensayo y para que caudal, las pérdidas son mayores?
3. ¿Que indica el número de reynolds (Re) en una instalación hidráulica?
4. Según su opinión, si se hace circular el fluido por la línea del tanque de amortiguación, ¿el caudal y la presión en M2 serían los mismos? ¿porque?

PRÁCTICA 2

1.- Nombre: Golpe de Ariete Directo (sin el tanque de amortiguación).

2.- Objetivo:

- Estimar cuantitativamente el pulso de onda originado por el golpe de ariete directo.

3.- Material:

1. Banco de Golpe de Ariete. Anexo 8
2. Instrumento de medida de temperatura

4.- Procedimiento:

Trabajo Práctico:

1. Comprobar que el tanque de almacenamiento posea la cantidad suficiente de agua.
2. Cebiar la bomba y conectar a la fuente de alimentación.
3. Verificar que las válvulas estén en la posición correcta para hacer circular el fluido sin el tanque de amortiguación (V12 y V13 cerradas y V13 Abierta)
4. Encender computadora y la tarjeta de adquisición de datos (19) e ingresar al programa "Software Golpe de Ariete" y comprobar el registro de datos por parte del censor S1 (18)
5. Poner en marcha la bomba (5)
6. Verificar la lectura de los instrumentos luego cerrar la válvula V22 y tomar lectura del caudal, con ayuda del rotámetro (8), y presiones con los manómetros M1, M2 y del censor S1 y el vacuómetro pV1 instalados, realizar este paso entre dos tiempos diferentes (cierre

rápido y lento). Con ayuda del computador, observar el fenómeno en el menú de la pantalla de registro de datos del censor, la evolución de la presión.

7. Para Registrar y guardar los datos del censor:

1. Ubicarse en el menú Software del programa (Fig 4.3) y dar un clic en guardar (empezarán a guardarse los datos proporcionados por el censor S1), para terminar dar nuevamente un clic en guardar lo cual terminará el almacenamiento de datos y se abrirá una pantalla que pedirá un nombre para el archivo y se guardará en el escritorio de la computadora. Para ver el contenido de este archivo puede ejecutarse mediante Microsoft Excel o también desde el programa “Software Golpe de Ariete” ubicándose en el menú Historial y a través de la pestaña de búsqueda abrir el archivo antes guardado.

Siguiendo los pasos antes descritos se deben tomar lecturas para cuatro caudales diferentes y con ayuda de la válvula de regulación de caudal V7

Trabajo Analítico:

8. Realizar una tabla de resultados con los valores que se necesitan para calcular la presión en M2, siguiendo el procedimiento de la práctica 1.
9. Realizar una tabla de resultados con los valores necesarios para calcular el pulso de onda, y luego calcular la presión de reventamiento PR, utilizando las ecuaciones respectivas indicadas en Fundamentos teóricos.
10. Realizar una gráfica Ensayos (Abscisas) – Presión de M2, de S1 y calculados de PR en PSI (ordenadas) (Curva Experimental y Teórica) y comparar los resultados.

11. Simular el circuito hidráulico con el software Epanet y ver los resultados de presión y caudal, luego compararlos con los experimentales y calculados, obtener algunas curvas características (las de mayor relevancia).
12. Verificar los errores entre lo teórico, experimental y simulación.

6.- Preguntas de Control.

1. ¿Cuál es el error porcentual entre lo experimental, teórico y simulación?
2. ¿Cómo varía la presión de reventamiento marcada por el censor S1 con respecto al tiempo de cierre de la válvula V12?, cite algunos valores numéricos.
3. ¿Qué fenómenos físicos se presentan en la instalación cuando se esta produciendo el golpe hidráulico?

PRÁCTICA 3

1.- Nombre: Golpe de Ariete con Tanque de Amortiguación.

2.- Objetivos:

- Medir el golpe de ariete en una instalación hidráulica con Tanque de Amortiguación.

3.- Material:

1. Banco de Golpe de Ariete. Anexo 8
2. Instrumento de medida de temperatura

4.- Procedimiento:

Trabajo Práctico:

1. Comprobar que el tanque de almacenamiento posea la cantidad suficiente de agua.
2. Cebear la bomba y conectar a la fuente de alimentación.
3. Verificar que las válvulas estén en la posición correcta para hacer circular el fluido con el tanque de amortiguación (V13 cerrada y V12 y V16 Abiertas)
4. Encender computadora y la tarjeta de adquisición de datos DAQ (19) e ingresar al programa "Software Golpe de Ariete" y comprobar el registro de datos por parte del sensor S1 (18)
5. Poner en marcha la bomba (5)
6. Verificar la lectura de los instrumentos luego cerrar la válvula V22 y tomar lectura del caudal, con ayuda del rotámetro (8), y presiones con los manómetros M1, M2 y del sensor S1 y el vacuómetro pV1 instalados, realizar este paso entre dos tiempos diferentes (cierre rápido y lento). Con

ayuda del computador, observar el fenómeno en el menú de la pantalla de registro de datos del censor, la evolución de la presión.

7. Para Registrar y guardar los datos del censor:

1. Ubicarse en el menú Software del programa (Fig. 4.3) y dar un clic en guardar (empezarán a guardarse los datos proporcionados por el censor S1), para terminar dar nuevamente un clic en guardar lo cual terminará el almacenamiento de datos y se abrirá una pantalla que pedirá un nombre para el archivo y se guardará en el escritorio de la computadora. Para ver el contenido de este archivo puede ejecutarse mediante Microsoft Excel o también desde el programa "Software Golpe de Ariete" ubicándose en el menú Historial y a través de la pestaña de búsqueda abrir el archivo antes guardado.

Siguiendo los pasos antes descritos se deben tomar lecturas para cuatro caudales diferentes y dos tiempos diferentes con ayuda de la válvula de regulación de caudal V7

Trabajo Analítico:

8. Realizar una tabla de resultados con los valores que se necesitan para calcular la presión en M2, siguiendo el procedimiento de la práctica 1.
9. Realizar una tabla de resultados con los valores necesarios para calcular el pulso de onda, y luego calcular la presión de reventamiento PR, utilizando las ecuaciones respectivas indicadas en Fundamentos teóricos.
10. Realizar una gráfica Ensayos (Abscisas) – Presión de M2, de S1 y calculados de PR en PSI (ordenadas) (Curva Experimental y Teórica) y comparar los resultados.

11. Simular el circuito hidráulico con el software Epanet y ver los resultados de presión y caudal, luego compararlos con los experimentales y calculados, obtener algunas curvas características (las de mayor relevancia).
12. Verificar los errores entre lo teórico, experimental y simulación.

6.- Preguntas de Control.

1. ¿Que diferencia existe en cuanto al golpe de ariete tomando como referencia la práctica 2 y la práctica 3?
2. ¿Qué inconveniente(s) existe para la realización de esta práctica?
3. ¿Cuál es el error porcentual entre lo experimental, teórico y práctico?
4. ¿Cómo varía la presión de reventamiento marcada por el sensor S1 con respecto al tiempo de cierre de la válvula V12?, cite algunos valores numéricos.
5. En una instalación hidráulica, que métodos se utiliza para evitar o amortiguar el golpe de ariete.

4.5. Resultados

El objetivo principal es determinar la validez y confiabilidad del banco de pruebas construido. Para llegar a este objetivo se realizaron las respectivas curvas características de los ensayos para comprobar el error que existe entre lo teórico, experimental y softwares de aplicación a la hidráulica como el Epanet. La realización de la parte analítica (cálculos) se los realizó utilizando dos hojas de cálculo del Software Microsoft Excel, en el Anexo 9 se puede observar parte de esta hoja. Además de los resultados analíticos que nos brinda esta hoja también se obtienen las respectivas gráficas de errores, que a continuación se detallan referentes a la metodología del guión de prácticas propuestas en el ítem anterior.

Las pruebas que se realizaron al banco se pueden resumir en dos partes principales: 1. En determinar las pérdidas hidráulicas y comprobar lo teórico con la lectura del manómetro M2 y censor S1 (para su ubicación puede remitirse al anexo 8).

2. Evaluar cuantitativamente el Golpe de Ariete en dos partes cuando está conectado al tanque de Amortiguación (T A 14) y sin la instalación de éste.

Los ensayos se realizaron para 4 caudales diferentes obteniendo los datos de la tabla 4.1 marcados por los instrumentos:

DATOS DE INSTRUMENTOS						
Ensayo	Caudal m ³ /s	Rugosidad Absoluta K mm	Presiones			
			M1 PSI	M2 PSI	S1 PSI	pV1 PSI
1	2,00E-04	0,0001	28	-1,2	-1,2	-2,85
2	3,30E-04	0,0001	14	-1,5	-1,5	-2,85
3	4,00E-04	0,0001	10	-1,5	-1,5	-2,85
4	4,30E-04	0,0001	2	-1,5	-1,5	-2

Tabla 4.1 Ensayos y Caudales

Las pérdidas primarias, Tabla 4.2 en el sistema aspiración e de impulsión son:

PERDIDAS PRIMARIAS						
Tubería	Ensayo	Velocidad m / s	Reinolds Régimen	Rugosidad Relativa	Coefficiente λ	Pérdidas Hidráulicas m
Aspiracion	1	0,450	9385,497	4,202E-06	0,032105	0,0195
	2	0,742	1,55E+04	4,202E-06	0,028327	0,0467
	3	0,899	1,88E+04	4,202E-06	0,026997	0,0654
	4	0,967	2,02E+04	4,202E-06	0,026513	0,0743
Impulsión	1	0,450	9,39E+03	4,202E-06	0,032105	0,035
	2	0,742	1,55E+04	4,202E-06	0,028327	0,084
	3	0,899	1,88E+04	4,202E-06	0,026997	0,117
	4	0,967	2,02E+04	4,202E-06	0,026513	0,133

Tabla 4.2 Pérdidas Primarias en la Aspiración e Impulsión

Y las secundarias, Tabla 4.3, para ensayo 1 son:

PERDIDAS SECUNDARIAS					
Tuberia	Accesorio	Cant.		Coefficiente	Pérdidas Hidráulicas m
Ensayo 1				ξ	
Aspiración	Valvula Pie	1		22	0,23
	Codo	1		0,8	0,01
					0,00
					0,00
				Hrs-a =	0,23
Impulsión	te1	5		5	0,26
	Cortadoras	2		0,5	0,01
	V. Check	1		5	0,05
	codos	5		0,8	0,04
					0,00
					0,00
					0,00
				Hrs-i =	0,36
				Perdidas Secundarias Totales, Hrs =	0,60

Tabla 4.3 Pérdidas secundarias para el Ensayo 1

Obteniendo como pérdidas totales para los 4 ensayos, indicados en la tabla 4.4:

PERDIDAS TOTALES Hr	
Ensayo	Hr en m
1	0,650
2	1,751
3	2,726
4	2,960

Tabla 4.4 resultado de las pérdidas hidráulicas del Banco de Golpe de Ariete

Utilizando estos datos y la ecuación de Bernoulli, se determinó la presión en el manómetro M2, Tabla 4.5:

ECUACION DE BERNOULLI. CALCULO DE PRESION M2									
Ensayo	p0 mca	z0 m	z2 m	v0 m/s	v2 m/s	Hr1-2 m	Hb m	M2	
								Pa	PSI
1	0,0	0,0	0,88	0,000	0,450	19,518	21,68	12454,49	1,87
2	0,0	0,0	0,88	0,000	0,742	10,781	11,84	1483,629	0,22
3	0,0	0,0	0,88	0,000	0,899	8,945	9,03	-8196,95	-1,23
4	0,0	0,0	0,88	0,000	0,967	2,960	2,81	-10547,8	-1,58

Tabla 4.5 Cálculo de M2

Y construyendo una gráfica referente a valores de M2 (Fig. 4.5) se puede observar:

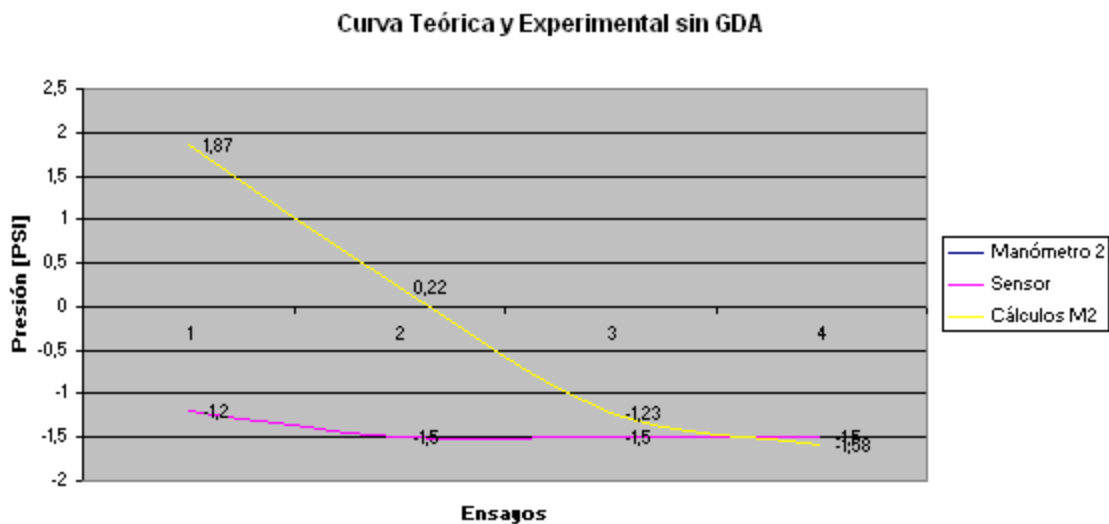


Fig. 4.5 Curva Teórica de M2 y Experimental de M2 y S1 sin Golpe de Ariete (GDA)

La simulación de esta práctica utilizando Epanet se la indica en los anexos 6 y 7, respectivamente.

4.5.1 OBSERVACIONES Y ANALISIS

Es importante recalcar que los ensayos son regulados de acuerdo al porcentaje de apertura de la válvula de compuerta V7 (ver anexo 8), llegando a determinar que mayor a 1 vuelta el caudal permanece constante, por tanto los ensayos son para $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, y 1 vuelta de V7. En la Fig. 4.5 se indican los resultados hasta 1 vuelta.

Observando los resultados que proporciona la tabla 4.1 se puede evidenciar que el margen de error entre la lectura del manómetro M2 y el censor S1 es nulo, esto se puede corroborar porque prácticamente los dos instrumentos están instalados en el mismo punto, pero al hacer referencia estos dos datos con lo teórico de la Tabla 4.5 no son los mismos a excepción del ensayo 4 que es para el caudal máximo, el cual tiene un margen de error de 0.08 PSI (desde 1 vuelta de V7 en adelante), por lo que puede considerarse como aceptable. Los demás datos, es decir para menos de 1 vuelta lo que se genera son más pérdidas en la válvula V7 debido a que se está cerrando, impidiendo de esta forma el normal flujo del caudal de agua lo que ocasiona un acumulamiento de agua y por ende una mayor presión a la entrada de V7, por tanto las pérdidas Hr1-2 van a ser mayores, el cual se puede evidenciar en la tabla 4.5.

De la misma forma cuando se genera el golpe de ariete directo, esto es sin el tanque de amortiguación (TA) los resultados son los mostrados en la Fig. 4.6:

DATOS DE INSTRUMENTOS						
Ensayo	Caudal m ³ /s	Rugosidad Absoluta K mm	Presiones			
			M1 PSI	M2 PSI	S1 PSI	pV1 PSI
1	2,00E-04	0,0001	41	42	41,95	-2,56
2	3,30E-04	0,0001	42	42	41,15	-2,7
3	4,00E-04	0,0001	42	42	41,16	-2,84
4	4,30E-04	0,0001	42	42	41,16	-2,98

ECUACION DE BERNOULLI. CALCULO DE PRESION M2									
Ensayo	p1 mca	z1 m	z2 m	v1 m/s	v2 m/s	Hr m	Hb m	M2	
								Pa	PSI
1	0	0	0,88	0	0,450	0,650	30,61	284891	42,69
2	0	0	0,88	0	0,742	1,751	31,41	281771	42,22
3	0	0	0,88	0	0,899	2,726	31,51	273054,5	40,92
4	0	0	0,88	0	0,967	2,960	31,61	271667,8	40,71

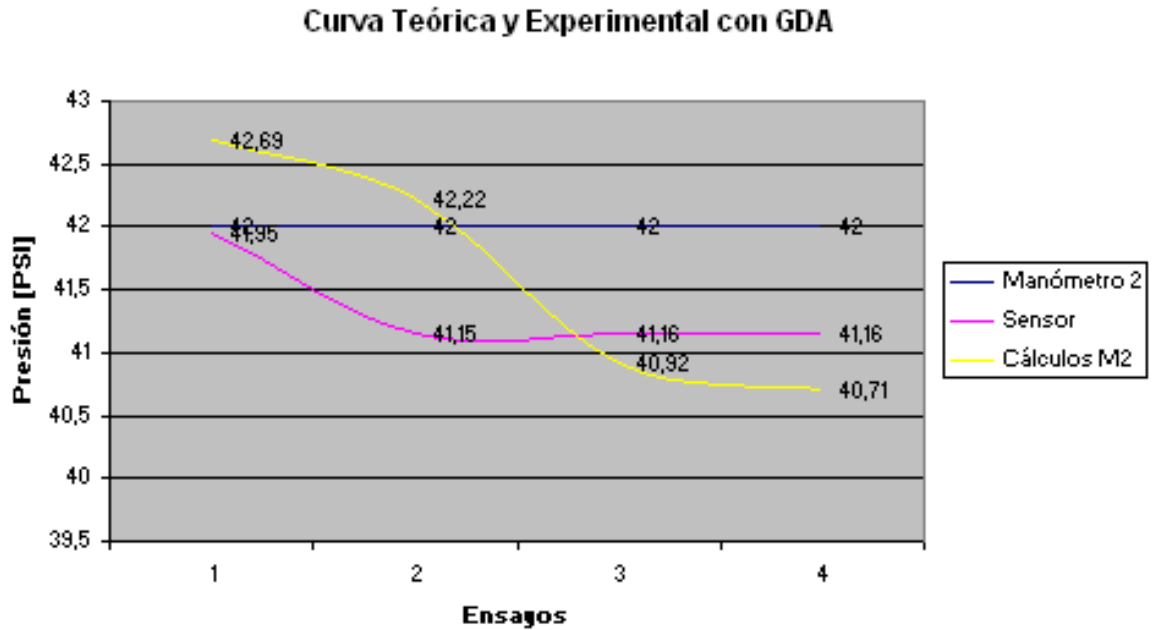


Fig. 4.6 Datos del Banco para Golpe de Ariete sin Tanque de Amortiguación.

Mientras que los cálculos para la sobre-presión generada por el golpe de ariete son los indicados en la Fig. 4.7

PULSO DE ONDA

Ensayo	Ew Pa	E _{pvc} Pa	ρ Kg/m ³	e mm	Celeridad m/s	T _c s	L _c m	ΔH	
								T _c > T _{c1}	PSI
1	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,100	2,51	0,00759	3,274
2	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,100	2,51	0,00759	5,402
3	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,100	2,51	0,00759	6,547
4	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,100	2,51	0,00759	7,038

con T_c (tiempo de cierre) de 1ms

PRESION DE REVENTAMIENTO, PR

Ensayo	Presión GDA	PR
	M3 PSI	PSI
1	41,95	45,964
2	41,15	47,624
3	41,16	47,464
4	41,16	47,747

Curva Teórica y Experimental con GDA

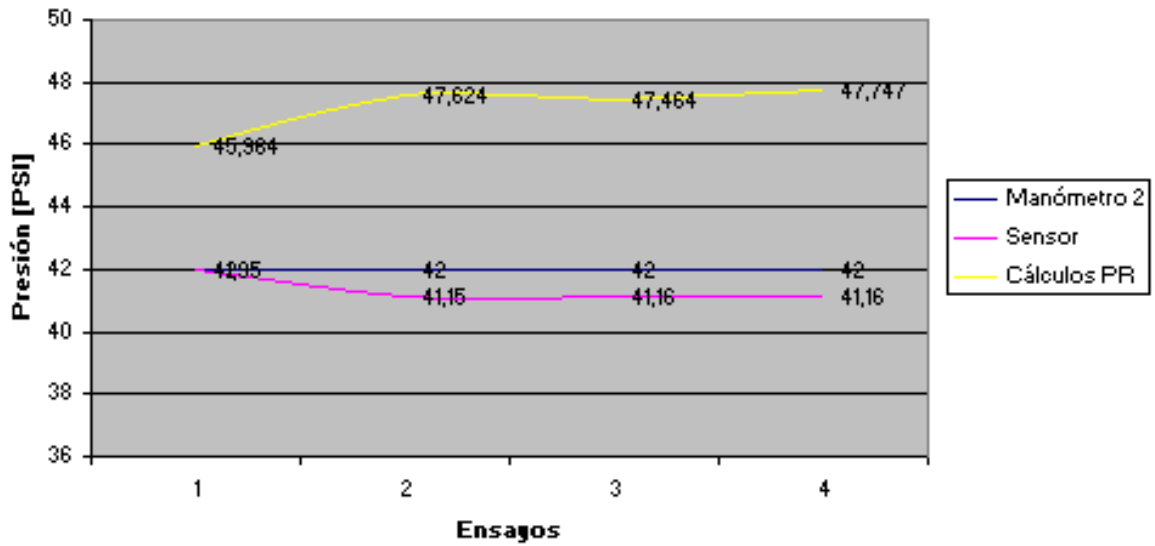


Fig. 4.7 Datos de la presión del Golpe de Ariete sin Tanque de Amortiguación

También se obtuvieron Datos para Golpe de Ariete con Tanque de Amortiguación, obteniéndose los resultados que se indican en la Fig. 4.8, aunque se debe recalcar que el golpe que se genera es en un lapso de tiempo muy corto que resulto difícil de registrarlo debido a la falta de instrumentación de registro de datos para tiempos pequeños. Sin embargo los datos que se lograron registrar son (Fig. 4.8):

DATOS DE INSTRUMENTOS						
Ensayo	Caudal m ³ /s	Rugosidad Absoluta K mm	Presiones			
			M1 PSI	M2 PSI	S1 PSI	pV1 PSI
1	2,00E-04	0,0001	12	19	19,6	0,64
2	3,30E-04	0,0001	4	20	19,6	-2,84
3	4,00E-04	0,0001				
4	4,30E-04	0,0001				

ECUACION DE BERNOULLI. CALCULO DE PRESION M2									
Ensayo	p1 mca	z1 m	z2 m	v1 m/s	v2 m/s	Hr m	Hb m	M2	
								Pa	PSI
1	0	0	0,88	0	0,450	0,650	7,98	63140,36	9,46
2	0	0	0,88	0	0,742	1,751	4,81	21041,76	3,15
3	0	0	0	0	0,000	0,000	0,00	0	0,00
4	0	0	0	0	0,000	0,000	0,00	0	0,00

Curva Teórica y Experimental con GDA y TA

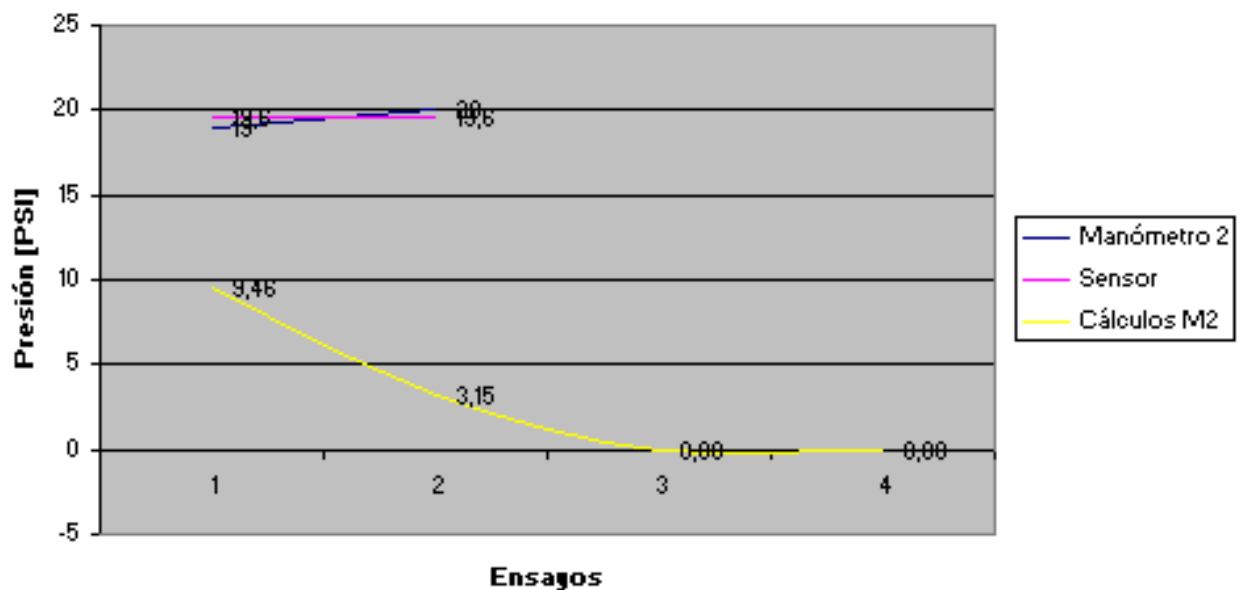


Fig. 4.8 Resultados de Golpe de ariete con Tanque de Amortiguación

Así mismo los valores para el pulso de onda (Golpe de Ariete) y su gráfica de error son (Fig. 4.9)

PULSO DE ONDA											
Ensayo	Ew Pa	Epsc Pa	ρ Kg/m ³	e mm	Celeridad m/s	Tc s	Lc m	Tc1 [s]		ΔH	
								Tc > Tc1	Tc < Tc1	m	PSI
1	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,040	2,51	0,00759	5,75	8,184	
2	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,040	2,51	0,00759	3,43	13,5	
3	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,040	2,51	0,00759	0,00	0	
4	2,07E+09	2,75E+09	1000	4,8	661,38	0,040	2,51	0,00759	0,00	0	

PRESION DE REVENTAMIENTO, PR		
Ensayo	Presión GDA	PR
	M3 PSI	PSI
1	19,6	17,646
2	19,6	16,657
3	0	0,000
4	0	0,000

Curva Teórica y Experimental con GDA y TA

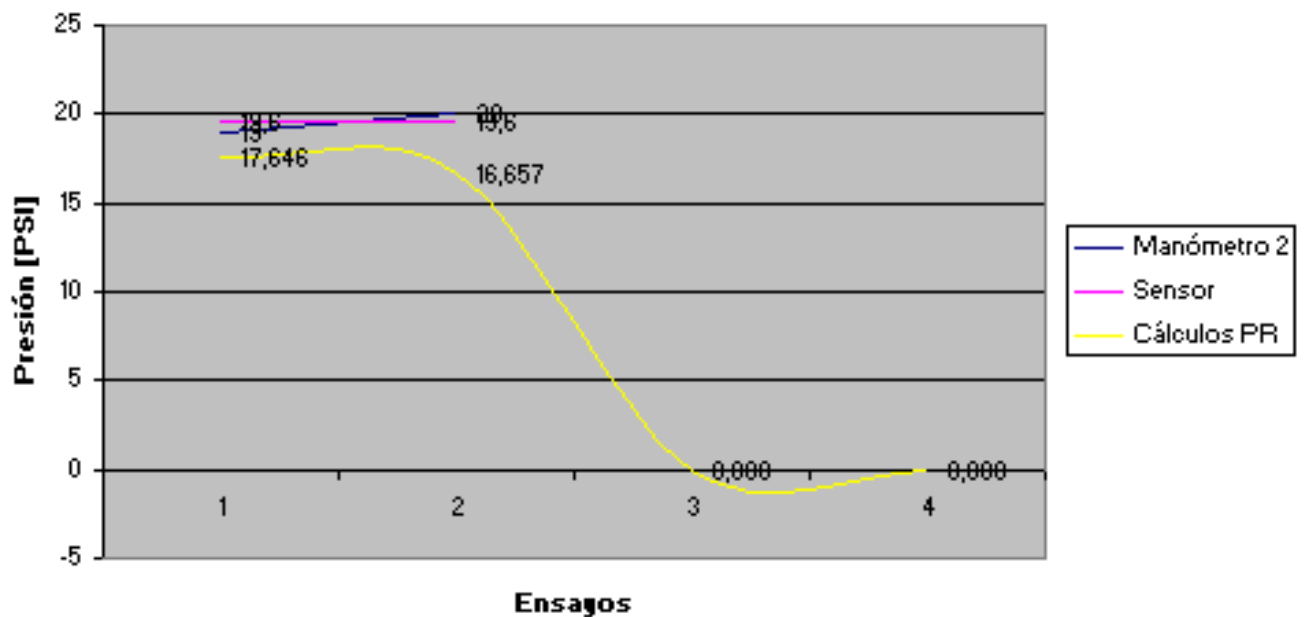


Fig. 4.9 Sobre-presión generado por el golpe de ariete con tanque de amortiguación.

El resultado de la simulación en epanet se indica en la fig. 4.10

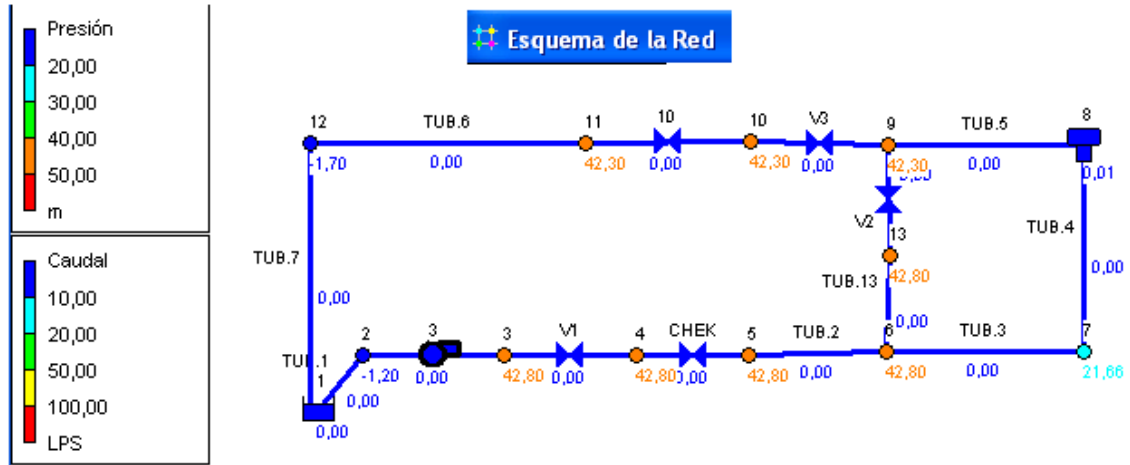


Fig. 4.10 Simulación del Banco en Epanet con golpe de ariete sin Tanque de Amortiguación.

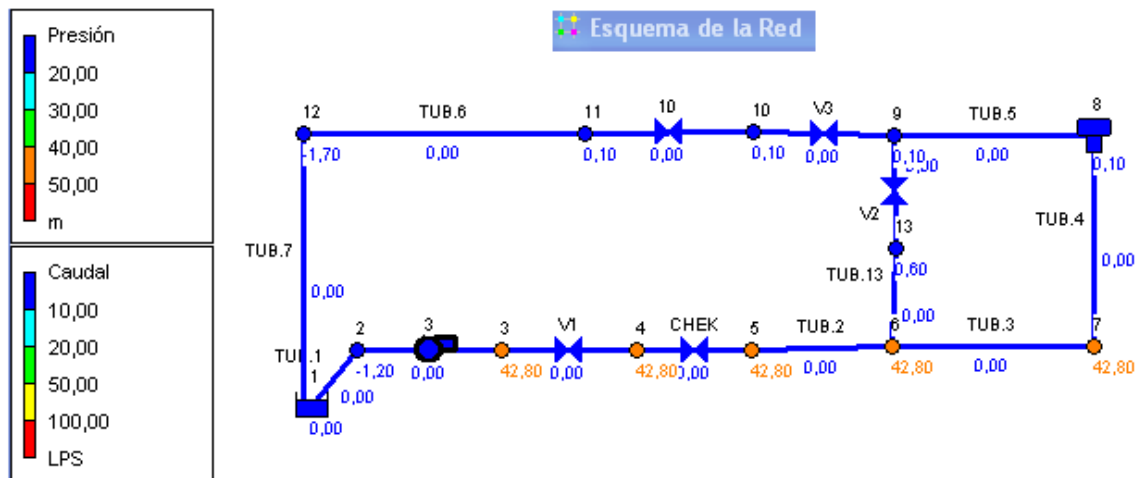


Fig. 4.11 Simulación del Banco en Epanet con golpe de ariete y con Tanque de Amortiguación.

4.6. Evaluación Económica del banco de pruebas.

4.6.1.- Costos por construcción del banco de pruebas.

Para la construcción del banco de pruebas de golpe hidráulico se necesito los siguientes materiales:

Nº	MATERIAL	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Computadora		1	600	600
2	Tarjeta adquisición de datos		1	600	600
3	Convertidor de corriente		1	100	150
4	Cable de conexión		1	30	30
5	Sensor medidor de presión		1	600	600
6	Bomba de 0.5 HP Paolo		1	30	30
7	Manómetros		5	5	25
8	Codo de 90°		10	1	10
9	Válvula de compuerta 1"		4	8	32
10	Tee		5	5	25
11	Válvula de media vuelta		1	15	15
12	Deposito de 250		2	90	180
13	Plancha de aglomerado		1	40	40
14	Tubo cuadrado de 1"		3	15	45
15	Tubería PVC 10 bar		3	25	75

16	Adaptador de PVC tanque		2	5	10
17	Válvula check		1	15	15
18	Válvula de pie		1	15	15
19	Programa Registro Datos		1	600	600
20	Suelda 60/11	lb	3	1	3
21	Impresión	u	800	0.02	16
22	Extras			100	100
23	Breaker de 5 A		1	5	5
24	Caudalimetro		1	317	317
25	Caja de protección para la tarjeta		1	20	20

Una vez que se llegó a la finalización de la construcción del presente banco llegando a costo total de 3259.00 USD sin IVA.

4.6.2.- Construcción del banco.

Para la construcción del banco de pruebas para el golpe hidráulico, se realizó el plano de dimensionamiento Anexo 8 siguiendo el siguiente cronograma:

- Ensamblado de la mesa: Corte de la materia prima (tubo cuadrado) y solado de sus partes constitutivas.
- Montaje del tablero aglomerado con elementos de sujeción para el resto de partes del banco.
- Instalación de la bomba y depósitos (de almacenamiento y amortiguación). El depósito de almacenamiento que estará ubicado en la parte inferior, debajo del

mesón. El depósito de amortiguación, que es un depósito elevado, será ubicado sobre la tarima construida.

- Instalación de Tubería y acople de accesorios.
- Montaje eléctrico: Instalación de línea de fuente, computadora, tarjeta y Censor.
- Prueba de funcionamiento del banco con la adquisición y registro de datos.

Para mejor entendimiento de la fase de construcción del banco de golpe hidráulico podemos remitirnos hacia el anexo 11 en donde se puede observar las fotografías que testifican la construcción del banco.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó y se construyó un banco de pruebas hidráulicas para golpe de ariete con accesorios e instrumentación para tomo y registro de datos.
2. El banco construido al ser una instalación proporcionalmente pequeña influyen directamente y con mayor relevancia las pérdidas secundarias obteniéndose como máximo valor de 2.75 m. c. a. para el caudal máximo de $0.00043 \text{ m}^3 / \text{s}$.
3. Al originar el golpe de ariete directo se observó un aumento de la presión en la tubería de descarga, además que se escucho un sonido característico que se origina en la bomba por el aumento del esfuerzo interno provocado por el cierre de la válvula V22.
4. Se elaboraron guías metodológicas donde se indica el proceso metodológico adecuado para aprovechar al máximo el estudio hidráulico del banco diseñado.
5. Se disertó el proyecto a los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica para su comprensión, evaluación y aprovechamiento del banco.
6. El banco tiene dos sistemas de estudio, uno con golpe de ariete sin tanque de amortiguación (TA) y otro con el tanque instalado, donde se pudo constatar que con tanque de amortiguación el golpe de ariete se produce en centésimas de segundo, ya que su efecto es absorbido rápidamente por el tanque TA.
7. La experimentación y verificación de resultados de lo teórico con lo práctico nos dieron a conocer su hegemonía en los resultados ya que se obtuvieron datos con mínimos errores. Por ejemplo para la práctica de la presión de M2 sin golpe de ariete el desbalance de resultados es de 5 centésimas.

8. Para el estudio, además de evaluar el golpe experimentalmente se realizó la simulación del banco utilizando el programa EPANET donde su error también se pudo constatar que es de alrededor de 1 PSI.
9. El programa que se utiliza para el registro de datos es en base a la plataforma de Lab VIEW, realizándose una pantalla de inicio que nos ofrece diferentes entradas de menús, de fácil manejo y operación para los estudiantes y docentes que deseen realizar las prácticas.

RECOMENDACIONES

1. Luego de realizar la práctica se pudo evidenciar que la longitud de la tubería del golpe de ariete (ver anexo 8 literal 17) resulto ser corta para el registro de datos por lo que se recomienda tubería de mayor longitud para poder evidenciar de mejor forma el golpe de ariete cuando esta conectado al tanque de amortiguación ya que esta sobre-presión es directamente proporcional con la Longitud.
2. Si bien el desarrollo de esta tesis, para el cálculo del golpe de ariete, se fundamentó en la síntesis de fórmulas aproximadas definidas por varios autores (entre ellos Michaud y Allievi), es conveniente que se profundice los estudios utilizando la matemática diferencial e integral para así obtener el modelo del fenómeno, en forma mas exacta.
3. Para el registro de Datos en el Software Golpe de ariete, se recomienda poner los valores de 60 s Para el tiempo y 45 para la presión máxima, en configuración de parámetros.
4. Tener en cuenta que tanto el sensor como la tarjeta de adquisición de datos funcionan con corriente continua, por tanto si se realiza un desmontaje del sistema comprobar la polaridad para su posterior instalación, de ésta manera se evitarán daños a los accesorios.
5. En cuanto a la polaridad de la Tarjeta de adquisición, el cable negro corresponde al negativo que ira conectado al terminal negativo del sensor, y el cable blanco, que corresponde al positivo de la tarjeta, irá conectado al terminal positivo del sensor.

6. Antes de realizar las prácticas comprobar la toma eléctrica y revisar siempre que la bomba esté cebada.
7. Para el mejor funcionamiento del banco es recomendable la instalación de una electro-válvula encargada de la apertura y cierre de la misma controlada por tiempos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DAVILA, J. A.; PAJON, J.; Mecánica Aplicada. Teoría Básica para el diseño y cálculo de tuberías, elementos de máquinas y recipientes a presión; 2003.
- [2] ROSSMAN, Lewis; EPANET 2 Manual del Usuario; Septiembre 2000
- [3] RODRIGUEZ, Juan, STEEGMANN, Cristina; Uso Básico de Mathcad 2001 Profesional; Enero 2001.
- [4] MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.
- [5] Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua. Volúmenes I y II. Universidad Politécnica de Valencia. Unidad Docente de Mecánica de Fluidos. 1996. Páginas de la 435 a la 463, de la 603 a la 604 y de la 761 a la 794.
- [6] Fluid Transients in Systems. E. Benjamin Wylie and Victor L. Streeter. Ed. Prentice Hall. 1993.
- [7] BLANCO, E., VALVERDE, S. y FERNÁNDEZ, J., Sistemas de Bombeo. Universidad de Oviedo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. 1994. Capítulo 7. Páginas de la 123 a la 159, de la 197 a la 204.
- [8] NEKRASOV, B; Hidráulica, Ed. Pueblo y Educación, 1968
- [9] LARBURÚ, Nicolás; Máquinas Prontuario Técnicas Máquinas – Herramientas. Décima Edición 1998
- [10] TYLERG Hicks. BME, Bombas, su Elección y aplicación. Págs. 13 -15.
- [11] RIVA, Alejandro y SÁNCHEZ, Gorka Laboratorio de Mecánica de Fluidos, Universidad de Navarra, 2004
- [12] BLASCO, Javier Y HAUKE, Guillermo. Simulación de Estados Transitorios en Mecánica de Fluidos, 2003

ANEXOS

ANEXO 1: CÁLCULO HIDRÁULICO

Calculo del banco de pruebas de golpe hidráulico realizado en el programa de Mathcad que a continuación podemos observar:

Cálculo para determinar el funcionamiento del banco de simulación del ariete hidráulico.

Para comenzar el cálculo de banco hidráulico comenzaremos teniendo en cuenta el volumen de agua que se puede manejar para que el banco no sea de un tamaño demasiado grande para esto contaremos con un deposito que podría contar con 0.2 m³ que con este volumen y un caudal de 0.000833 m³/s le daría una independencia de trabajo de 4 minutos.

A continuación se determinara el área de la tubería:

Realizando el cálculo para la tubería de succión de 1" que equivale a 0.0254m y la tubería de succión de 1" que equivale a 0.0254

$$D1 := 0.0254\text{m}$$

$$D2 := 0.0254\text{m}$$

$$A1 := \frac{\pi \cdot D1^2}{4}$$

$$A1 = 5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Area de succión

$$A2 := \frac{\pi \cdot D2^2}{4}$$

$$A2 = 5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Area de impulsión

Cálculo de velocidad por medio del caudal y área .

Para determinar la velocidad media del fluido utilizaremos la siguiente formula:

$$Q := 0.0008333 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V1 := \frac{Q}{A1} \quad V1 = 1.645 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad de succión}$$

$$V2 := \frac{Q}{A2} \quad V2 = \blacksquare \quad \text{Velocidad de impulsión}$$

Cálcula del número de reynolds

viscocidad cinemática:

Acontinuación determinaremos el número de reynolds que nos ayudara a determinar el tipo de regimén en el cual se encuentra el fluido pudiendo ser laminar o turbulento, todo esto a traves de la relación que se da entre velocidad del fluido, caudal y viscocidad cinemática del fluido.

$$\nu := 0.0000010 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Re1 := \frac{V1 \cdot D1}{\nu} \quad Re1 = \blacksquare \quad \text{reynolds de succión}$$

$$Re2 := \frac{V2 \cdot D2}{\nu} \quad Re2 = \blacksquare \quad \text{reynolds de impulsión}$$

Cálculo del coeficiente de rozamiento

Para el cálculo del coeficiente de rozamiento podemos utilizar el diagrama de Moody y también método que a continuación detallamos utilizando la fórmula que planteo Nikuradze, que nos ayudara a determinar el valor de λ coeficiente de rozamiento.

Coeficiente de rugosida absoluta K

Para determinar el valor del coeficiente de rugosidad absoluta K lo dheterminamos por medio de tabla.

$$K1 := 0.000 \text{ m}$$

$$r1 := \frac{D1}{2} \quad r1 = \blacksquare$$

$$r2 := \frac{D2}{2} \quad r2 = \blacksquare$$

Coeficiente de rozamiento

$$\lambda1 := \left(\frac{1}{1.75 + 2 \cdot \log\left(\frac{r1}{K1}\right)} \right)^2 \quad \lambda1 = \blacksquare \quad \text{coeficiente de succión}$$

$$\lambda2 := \left(\frac{1}{1.75 + 2 \cdot \log\left(\frac{r2}{K1}\right)} \right)^2 \quad \lambda2 = \blacksquare \quad \text{coeficiente de impulsión}$$

Para determinar las pérdidas por rozamiento en la tubería utilizaremos la siguiente fórmula en donde tenemos la relación entre el coeficiente de rozamiento λ , la longitud de la tubería, la velocidad del fluido, el diametro de tubería, y la gravedad .

$$L1 := 1.3\text{m}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$L2 := 5\text{m}$$

$$H_{roz1} := \lambda_1 \cdot \frac{L1}{D1} \cdot \frac{V1^2}{2g}$$

$$H_{roz1} = \blacksquare$$

pérdida en la succión

$$H_{roz2} := \lambda_2 \cdot \frac{L2}{D2} \cdot \frac{V2^2}{2g}$$

$$H_{roz2} = \blacksquare$$

pérdida en impulsión

Pérdidas locales o en accesorios en la impulsión.

Las pérdidas locales las podemos encontrar, buscando primero el coeficiente ζ para cada uno de los accesorios los mismos que ya vienen dados en tablas con datos específicos, el número de accesorios del mismo tipo, el caudal del sistema, el diametro de tubería, gravedad, y Π .

Perdida por codos de 90°

$$\zeta_1 := 2 \quad Na_1 := 3$$

$$H_{loc1} := \zeta_1 \cdot Na_1 \cdot \frac{8Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc1} = \blacksquare$$

Perdida por uniones

$$\zeta_2 := 0.2 \quad Na_2 := 5$$

$$H_{loc2} := \zeta_2 \cdot Na_2 \cdot \frac{8Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc2} = \blacksquare$$

Pérdida por válvula check

$$\zeta_3 := 3.4 \quad Na_3 := 1$$

$$H_{loc3} := \zeta_3 \cdot Na_3 \cdot \frac{8Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc3} = \blacksquare$$

Pérdidas por válvula de compuerta

$$\zeta_4 := 2 \quad Na_4 := 2$$

$$H_{loc4} := \zeta_4 \cdot Na_4 \cdot \frac{8Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc4} = \blacksquare$$

Pérdidas por tee

$$\zeta_5 := 1.5 \quad Na_5 := 2$$

$$H_{loc5} := \zeta_5 \cdot Na_5 \cdot \frac{8Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc5} = \blacksquare$$

Pérdidas por val mariposa

$$\zeta_6 := 5 \quad Na_6 := 1$$

$$H_{loc6} := \zeta_6 \cdot Na_6 \cdot \frac{8Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc6} = \blacksquare$$

Pérdidas locales en la succión.

Pérdidas por codo de 90°

$$\zeta_7 := 0.1 \quad Na_7 := 1$$

$$H_{loc7} := \zeta_7 \cdot Na_7 \cdot \frac{8Q^2}{D_1^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc7} = \blacksquare$$

Perdida por válvula de compuerta

$$\zeta_9 := 0.01 \quad Na_9 := 1$$

$$H_{loc9} := \zeta_9 \cdot Na_9 \cdot \frac{8Q^2}{D_1^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc9} = \blacksquare$$

Pérdidas por válvula de pie

$$\zeta_8 := 4 \quad Na_8 := 1$$

$$H_{loc8} := \zeta_8 \cdot Na_8 \cdot \frac{8Q^2}{D_1^4 \cdot \pi^2 \cdot g}$$

$$H_{loc8} = \blacksquare$$

Sumatoria de perdidas locales en la impulsión.

$$\Sigma H_{loc1} := H_{loc1} + H_{loc2} + H_{loc3} + H_{loc4} + H_{loc5} + H_{loc6}$$

$$\Sigma H_{loc1} = 3.088\text{m}$$

Sumatoria de perdidas locales en la succión.

$$\Sigma H_{loc2} := H_{loc7} + H_{loc8} + H_{loc9}$$

$$\Sigma H_{loc2} = 0.567\text{m}$$

Cálculo de la presión de salida

$$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Z2 := 0.5\text{m}$$

$$p_{atm} := 8.997\text{m}$$

$$P := \rho \cdot g \cdot Z2$$

$$P = 4.905 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Esto es equivalente a 0.50017 m.c.a

$$P_m := 0.50017\text{m}$$

$$P2 := p_{atm} + P_m$$

$$P2 = 9.497\text{m}$$

Cálculo de la presión de entrada

$$Z1 := 1.2\text{m}$$

$$Ps := \rho \cdot g \cdot Z1$$

$$Ps = \blacksquare$$

Esto equivale a 0.010001 m.c.a

$$He := 0.24\text{m}$$

$$Pv := 0.2\text{m}$$

$$P1 := patm + Pv$$

$$P1 = \blacksquare$$

Cálculo para determinar la cavitación.

Para determinar la cavitación primeramente determinamos el valor de la presión atmosférica en lugar según el valor que optengamos a la altura en que nos encontramos

$$NPSHA := patm - Z1 - H_{roz1} - \Sigma H_{loc2} - He$$

$$NPSHA = \blacksquare$$

Determinación de la altura manométrica

$$H_{man} := (P_2 + P_1) + (Z_2 - Z_1) + H_{roz2} + \Sigma H_{loc1}$$

$$H_{man} = \blacksquare$$

esto dado en metros de columna de agua.

Cálculo de la potencia de consumo del sistema.

$$\eta := 0.86$$

$$N := \frac{g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_{man}}{\eta}$$

$$N = \blacksquare$$

$$N_a := 0.20765 \text{ kW}$$

La potencia en Hp equivale a 0.2784 Hp

Consumo de energía

$$t := 0.04 \text{ hr}$$

$$E := N_a \cdot t$$

$$E = \blacksquare$$

Consumo de energía de 0.0087 KW.hr

Consumo específico de energía por m³ de agua consumida

$$E_c := \frac{0.0087}{0.21770.04} \quad E_c = \blacksquare$$

El consumo específico de energía es de 0.999 KW.H/m³

Consumo de corriente con la potencia de consumo del sistema

$$\cos\theta := 0.95 \quad V_f := 110V$$

$$I_1 := \frac{N}{\sqrt{3} \cdot V_f \cdot \cos\theta} \quad I_1 = \blacksquare$$

El amperaje de consumo en la línea sera de 1.203 A

Consumo de corriente con la potencia del motor instalado

$$N_c := 372.85W$$

$$I_2 := \frac{N_c}{\sqrt{3} \cdot V_f \cdot \cos\theta} \quad I_2 = \blacksquare$$

El amperaje de consumo de la bomba es de 2.06 A.

Las protecciones recomendadas para este tipo de instalación según la tabla es de 1.70 A, Tamaño de las protecciones SOO. Tipo de contactor 3RT1015, y el relé 3RU1116, protección de NH de 6 A

VOLUMEN DEL RECIPIENTE

Para el cálculo de el volumen de agua necesario es necesario tener en cuenta el valor del caudal con el cual si contamos y el tiempo necesario para el funcionamiento del sistema.

$$t1 := 240s$$

$$V := Q \cdot t1$$

$$V = \blacksquare$$

Que es igual a 500 litros esto equivale a un deposito de 1.2 metro de altura por 0.5 m de diámetro esto quiere decir que la independencia de trabajo con el deposito lleno llega a un máximo de 4 minutos de bombeo.

VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE AMORTIGUACIÓN

Para el cálculo del recipiente de amortiguación tenemos el caudal, el volumen de agua de trabajo, y el tiempo máximo de trabajo. el volumen de trabajo de recipiente es de 0.1 m³ de llenado.

CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE EN EL SISTEMA

Para el cálculo del ariete hidráulico se necesita tener en cuenta los siguientes parámetros. donde tenemos la densidad del líquido en Kg/m³, d el diametro interior de la tubería en metros, E1, el modulo de elasticidad volumétrica del líquido en Pa, Etub el modulo de elasticidad del tubo Pa, el espesor de la tubería δ , en m. C1 coeficiente de velocidad del sonido en el agua.

$$Etub := 100000Pa$$

$$C1 := 1425 \frac{m}{s}$$

$$\delta := 0.004m$$

$$E1 := 2000Pa$$

$$C := \frac{C1}{\sqrt{1 + \frac{D2}{\delta} + \frac{E1}{Etub}}}$$

$$C = \blacksquare$$

C es la velocidad de onda de propagación de choque, que sería la velocidad del fluido.

Hallaremos el aumento de la presión:

$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ρ es igual a la densidad del fluido que viene en Kg/m³.
 V_2 que es la velocidad del fluido en la impulsión

$$\Delta P := \rho \cdot C \cdot V_2$$

$$\Delta P = \blacksquare$$

Transformando ahora a metros de columna de agua que sería:

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta H := \frac{\Delta P}{g \cdot \rho}$$

$$\Delta H = \blacksquare$$

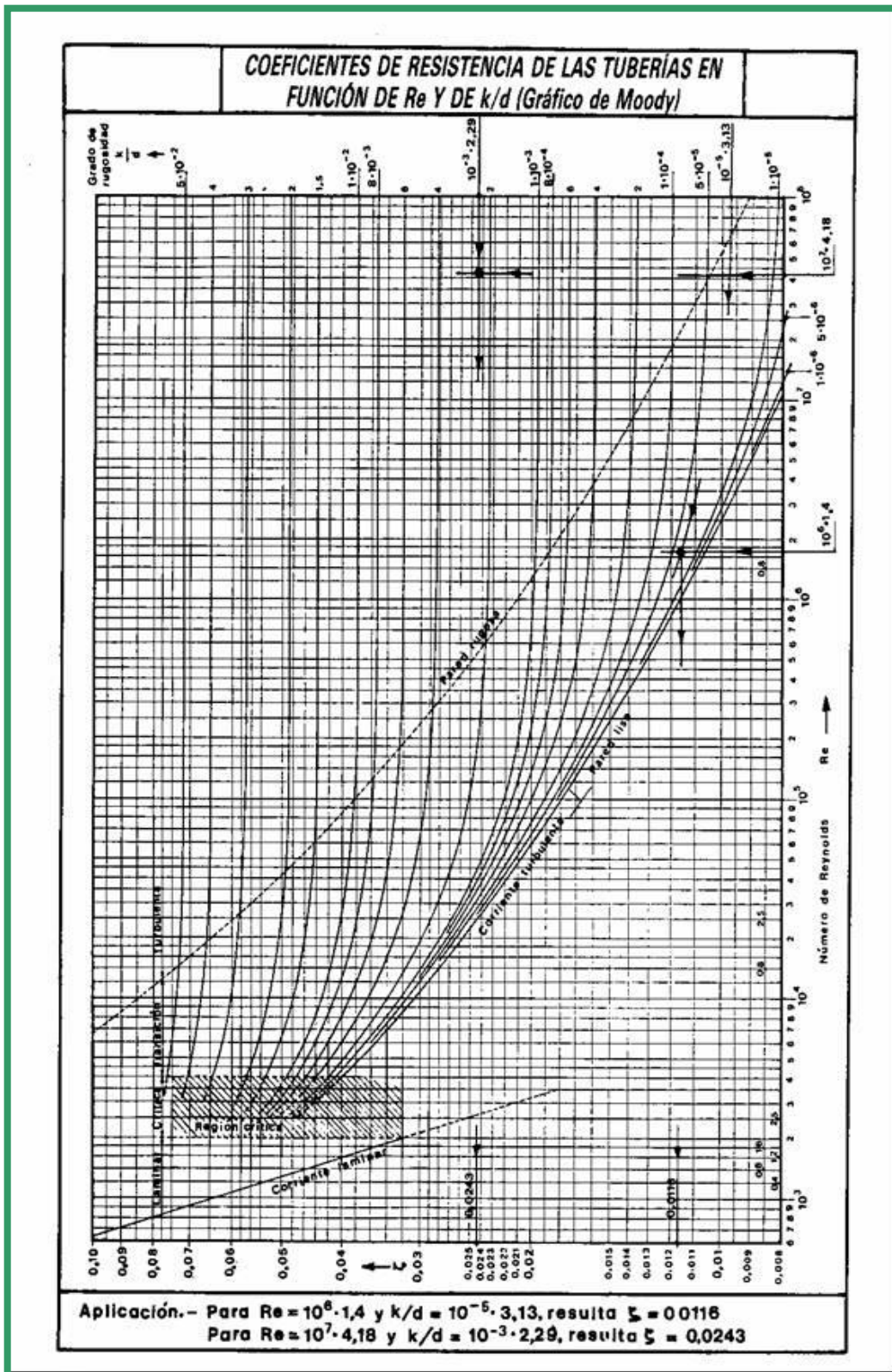
Presión de reventamiento es igual a 158200 Pa , que es igual a 16.1319 mca.

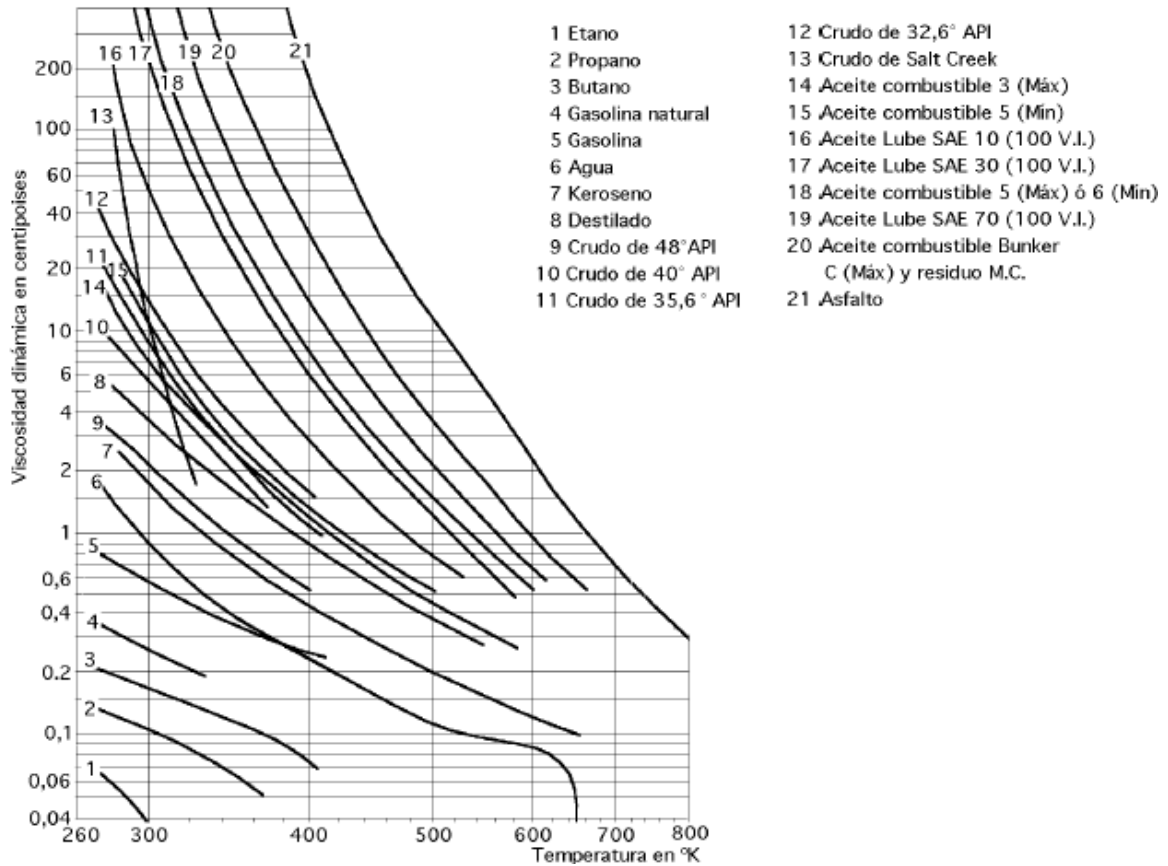
La carga total del choque será:

$$\Delta H_p := \Delta H + H_{man}$$

$$\Delta H_p = \blacksquare$$

ANEXO 2: DIAGRAMA DE MOODY, VISCOCIDAD





ANEXO 3: RUGOSIDAD ABSOLUTA ϵ

Tipo de tubería	Rugosidad absoluta — k (mm)	Tipo de tubería	Rugosidad absoluta — k (mm)
Vidrio, cobre o latón estirado..	<0,001 (o lisa)	Hierro galvanizado	0,15 a 0,20
Latón industrial	0,025	Fundición corriente nueva..	0,25
Acero laminado nuevo	0,05	Fundición corriente oxidada .	1 a 1,5
Acero laminado oxidado.....	0,15 a 0,25	Fundición asfaltada.	0,1
Acero laminado con incrustaciones	1,5 a 3	Cemento alisado.....	0,3 a 0,8
Acero asfaltado.....	0,015	Cemento bruto	Hasta 3
Acero roblonado	0,03 a 0,1	Acero roblonado	0,9 a 9
Acero soldado, oxidado	0,4	Duelas de madera	0,183 a 0,91

ANEXO 4: COEFICIENTES ξ DE PÉRDIDAS LOCALES

Entrada en el tubo para bordes agudos	$\xi = 0,50$
Entrada suave en el tubo	$\xi = 0,50 \dots \dots 0,20$
Ensanchamiento repentino ($\omega_2 > \omega_1$)	$\xi = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$
Ensanchamiento repentino ($\omega_2 < \omega_1$)	$\xi = 0,50\left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$
Cono de transición (para $d_2 = 2d_1$)	$\xi = 5,0$
Cono de transición (para $d_2 \approx 0,5 d_1$)	$\xi = 0,20$
Giro brusco a 90°	$\xi = 1,20$
Giro suave 90°	$\xi = 0,15$
Salida del tubo por debajo del nivel	$\xi = 1,0$
Válvula de disco totalmente abierta	$\xi = 0,10$
Válvula de compuerta totalmente abierta	$\xi = 0,11 \dots \dots 0,12$
Diferentes robinetes totalmente abiertos	$\xi = 5$
Válvula de succión con bombas provistas de mallas	$\xi = 10$
Entrada suave al canal	$\xi = 0,10$
Entrada en el canal con bordes de entrada agudos (compresión lateral)	$\xi = 0,40$
Ensanchamiento suave del canal ($\omega_2 > \omega_1$)	$\xi = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$
Estrechamiento suave del canal ($\omega_2 < \omega_1$)	$\xi = 0,10$

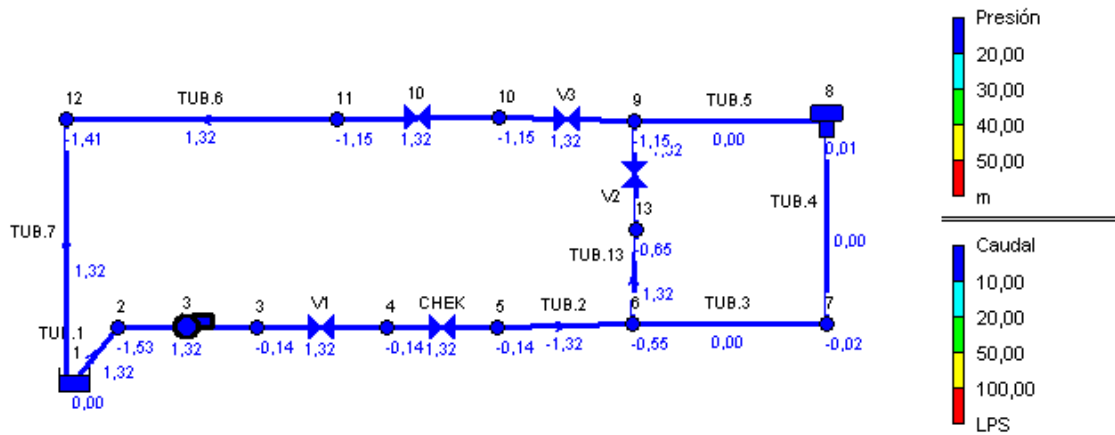
ANEXO 5: PRESIÓN DE VAPOR

Temperatura °C	Presión de vapor (Pa)	Temperatura °C	Presión de vapor (Pa)
0	600	19	2170
2	700	20	2310
4	800	21	2450
6	920	22	2610
8	1060	23	2770
10	1210	24	2940
11	1300	25	3130
12	1380	26	3320
14	1580	27	3520
15	1680	28	3730
16	1790	29	3950
17	1920	30	4190
18	2040		

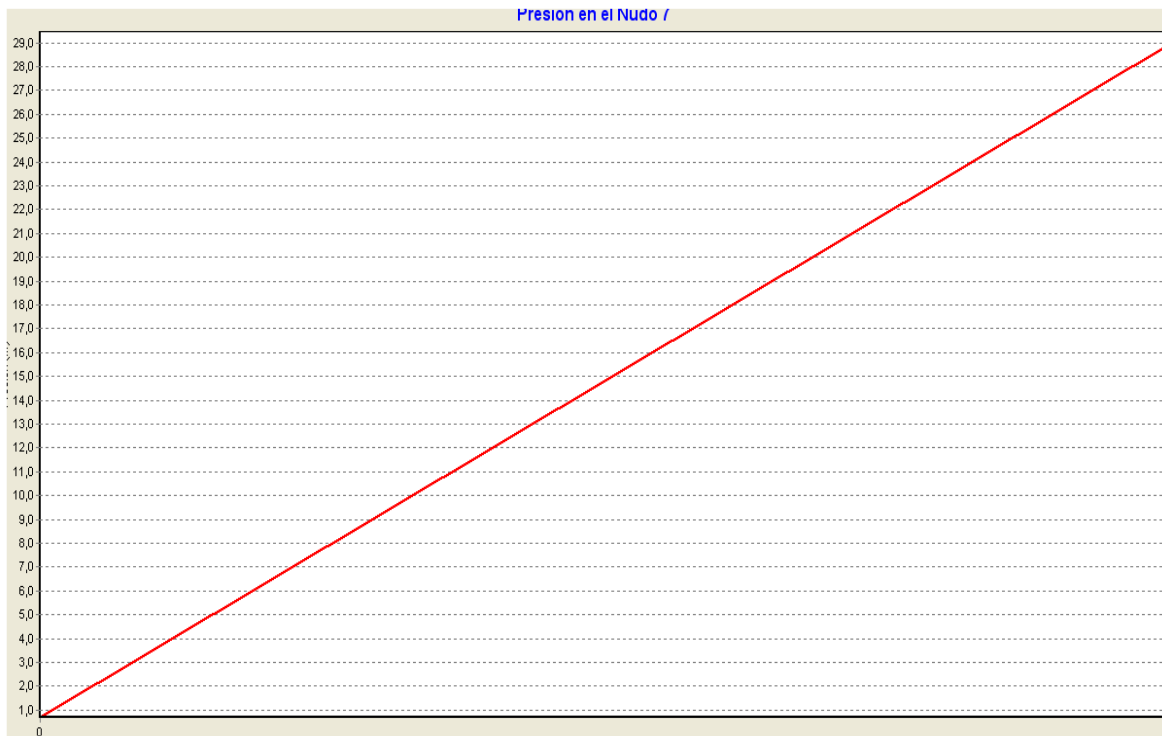
ANEXO 6: SIMULACION EN EPANET

Simulación del banco de pruebas con el depósito de amortiguación:

Diagrama de la Instalación

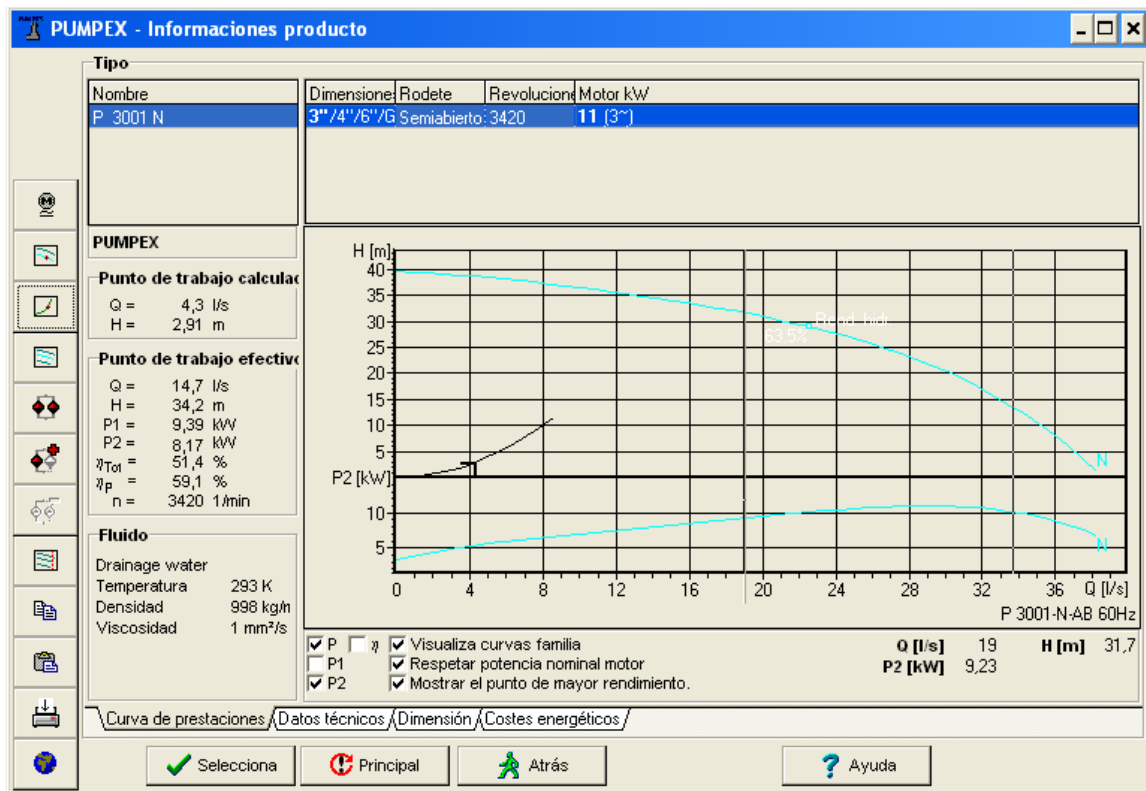


Curva de presión en un nudo.



ANEXO 7: SIMULACION EN PUMPEX

Curvas de trabajo del sistema elaborados en el programa pumpex, aquí podemos observar la curva de trabajo de la bomba conjuntamente con la curva de trabajo del sistema. También podemos observar la curva de consumo de potencia del sistema y la bomba, en la parte inferior del cuadro podemos observar la curva de eficiencia del sistema y de la bomba.



Pump type

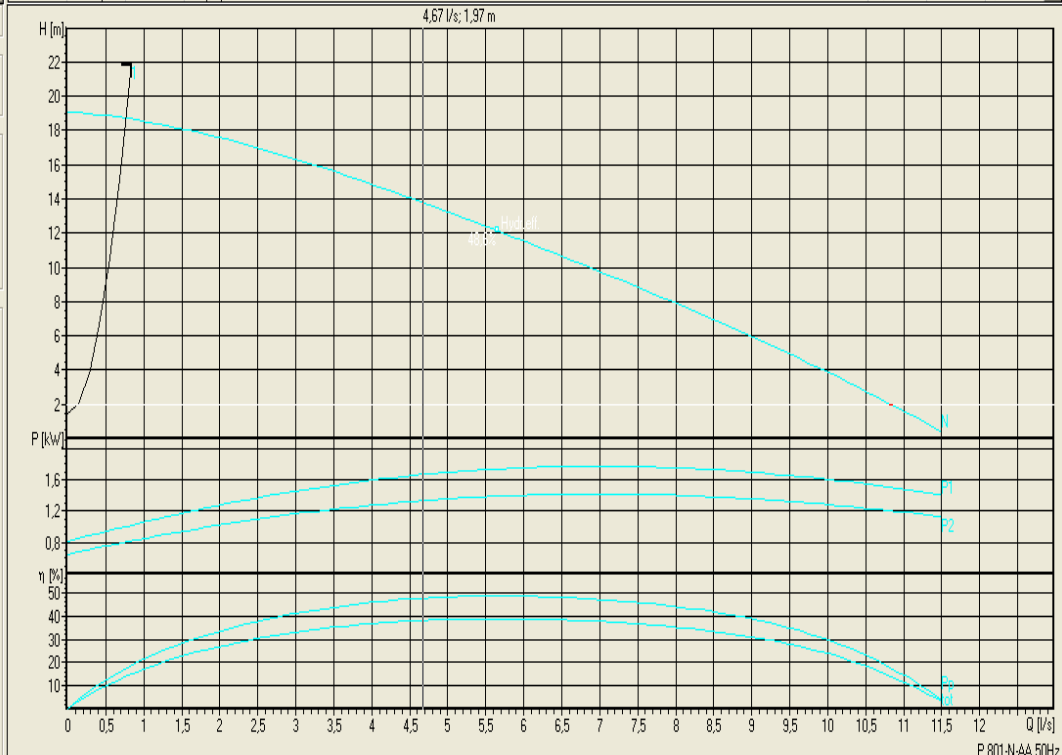
Name	Standard d1	Impeller	Speed 1/min	Motor kW	Hydr. eff. %	Operating c	Price index
P 801 N 50HZ	1 1/2"	2 1/2" Semi-open	2800	1,4 (3")	17,5	302	0,0790
P 1001 H 50HZ	2 1/2"	3" 1/4" Semi-open	2800	2,2 (3")	13,5	521	0,1140
P 1001 N 50HZ	2 1/2"	3" 1/4" Semi-open	2800	2,2 (3")	11,3	489	0,1140
SP 20-2140	2 1/2"	3" 1/4" Vortex	2850	2 (3")	8,89	488	0,1230
PC 1001 H 50HZ	6 3"	Semi-open	2800	2,2 (3")	13,5	521	0,1260

PUMPEX

Calculated duty point
 Q = 0,833 l/s
 H = 21,9 m

Operating point
 Q = 0,766 l/s
 H = 18,7 m
 P1 = 1,01 kW
 P2 = 0,804 kW
 η_{tot} = 14 %
 η_p = 17,5 %
 n = 2800 1/min

Fluid
 Water
 Temperature 293 K
 Density 1000 kg.
 Viscosity 1 mm²/s

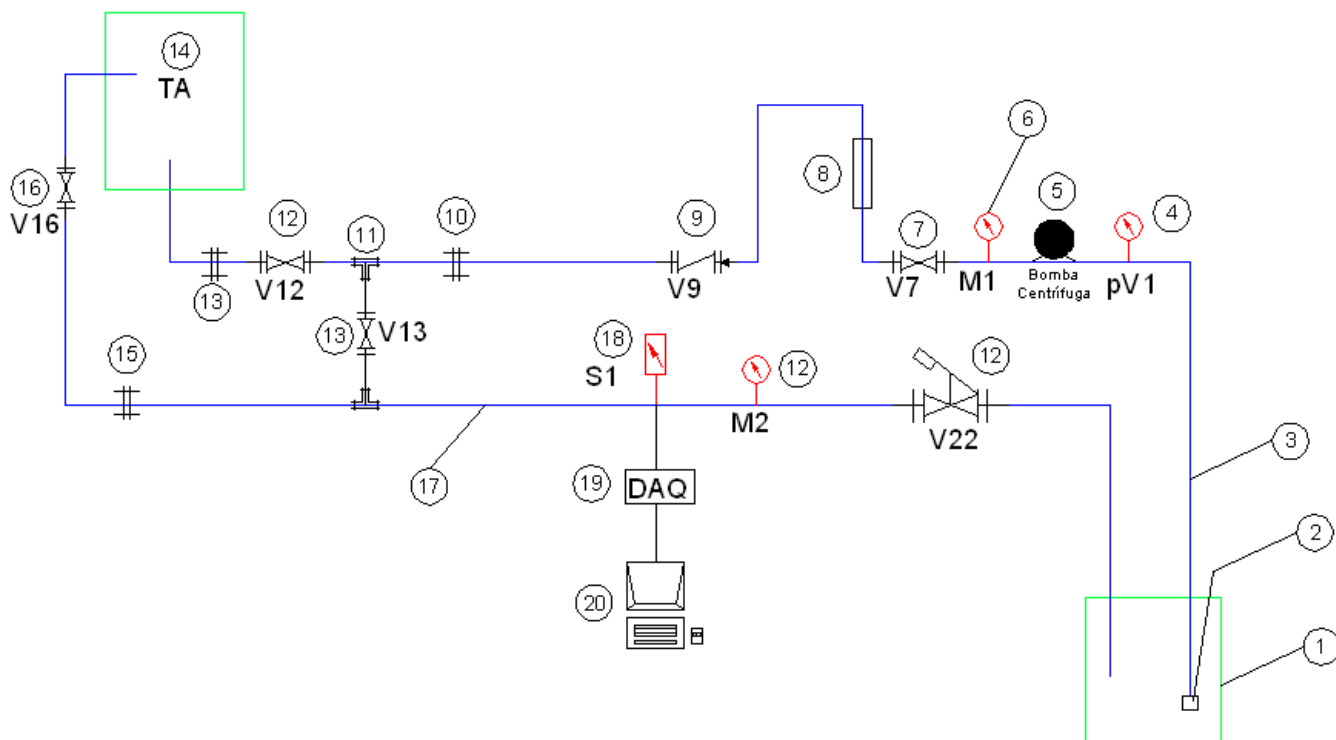


-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Performance curve / Technical data / Dimensions / Energy costs

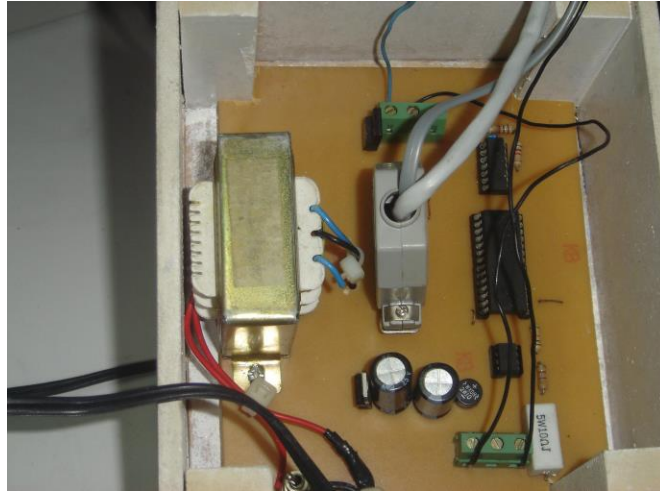
Select Main Back Help

ANEXO 8: PLANO HIDRÁULICO DEL BANCO DE PRUEBAS



- (1) Pozo de aspiración del sistema, cuya capacidad es de 500 litros.
- (2) Válvula de pie con alcachofa
- (3) Tubería de aspiración, diámetro 1 pulgada y 1.5m de longitud.
- (4) Vacuómetro pV1
- (5) Bomba de 0.5 HP caudal máximo 40 LPM y altura máxima 40 m.c.a.
- (6) Manómetro M1
- (7) Válvula de compuerta V7, cuya función es regular el caudal
- (8) Caudalímetro tipo Rotámetro.
- (9) Válvula check o antirretorno.
- (10) Unión Universal
- (11) Te
- (12) Válvulas de compuerta V12
- (13) Válvulas de compuerta V13
- (14) Tanque de amortiguación (TA).
- (15) Unión Universal
- (16) Válvula de compuerta V16
- (17) Tubería de Retorno (Tubería de Golpe de Ariete)
- (18) Sensor S1
- (19) Tarjeta de adquisición de datos
- (20) Computadora.
- (21) Manómetro M2 (21)
- (22) Válvula de media vuelta (V22).
- (23)

ANEXO 10: TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS



ANEXO 11: CONSTRUCCION DEL BANCO DE BOMBAS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LAS ENERGÍAS, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES

NO RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE TESIS

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE; UTILIZANDO UN SISTEMA DE ADQUISICION Y REPRESENTACION DE DATOS.

AUTORES :

Milton Blacio

Máx. Cevallos

Máximo Medina

Gabriel Romero

DIRECTOR:

LOJA-ECUADOR

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 TEMA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE; UTILIZANDO UN SISTEMA DE ADQUISICION Y REPRESENTACION DE DATOS.

1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

1.2.1 ANTECEDENTES.

En la ciudad de Loja y provincia de su mismo nombre, ciudadela Guillermo Falconi se encuentra ubicada el Área de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, en la cual cuenta con la carrera de Ingeniería Electromecánica.

En esta carrera se imparten conocimientos relacionados con la mecánica de fluidos, máquinas hidráulicas, laboratorios de energía y fluidos necesarios para la formación académica de los futuros profesionales de la carrera.

En esta línea, el estudio, diseño y cálculo de los procesos hidráulicos deben estar enmarcados a satisfacer las necesidades de la sociedad en general, existen algunos procedimientos indicados por varios autores donde enuncian los valores permisibles para el buen funcionamiento de la red hidráulica.

Los bancos de prueba para el estudio de los diferentes fenómenos se convierten en herramientas principales para la preparación teórico-práctica de los futuros profesionales.

El golpe de ariete es un fenómeno que causa daños en instalaciones hidráulicas, el mismo que produce cambios en los valores de las variables de funcionamiento del sistema.

Habitualmente en el análisis y el diseño de las instalaciones hidráulicas se considera su comportamiento en *condiciones estacionarias* donde las magnitudes hidráulicas de la instalación (caudales y presiones) permanecen constantes en el tiempo, al ser también invariables las *condiciones de funcionamiento* de la instalación: Condiciones de contorno (consumos y alturas de los depósitos) y el estado de sus elementos (i.e.: grado de apertura de las válvulas y velocidad de giro de las turbo máquinas). En realidad una instalación hidráulica es un sistema dinámico y jamás se halla en estado estacionario, ya que las condiciones de funcionamiento que determinan las variables hidráulicas varían en el tiempo con una mayor o menor rapidez. Debido a esto, el análisis o el diseño adecuado de una instalación pasa por conocer la respuesta temporal de las variables hidráulicas de la instalación con el fin de evitar situaciones indeseables como:

- Presiones excesivamente altas o excesivamente bajas.
- Flujo inverso.
- Movimiento y vibraciones de las tuberías.
- Velocidades excesivamente bajas.

Los resultados de estas situaciones pueden variar desde lo ligeramente inconveniente hasta lo desastroso. Ejemplos de lo primero podrían ser la

interrupción momentánea del abastecimiento o una caída de la presión en los nudos de consumo y de lo segundo la destrucción de una estación de bombeo, un desastre medioambiental, una explosión o un incendio.

El comportamiento dinámico de la instalación denominado transitorio, si es aquel que tiene lugar entre dos situaciones estacionarias de la instalación, puede estar producido por diferentes causas que suelen además determinar la naturaleza del transitorio. Dichas causas pueden ser:

- Una maniobra del operador.
- La mala selección de un componente.
- Un acontecimiento externo a la instalación.
- Problemas que se generan lentamente o de manera inadvertida.

Sobre algunas de las causas anteriores el diseñador o el operador pueden tener cierto control, como por ejemplo el arranque o parada controlados de las turbo máquinas (bombas o turbinas) y el cierre o apertura de las válvulas. Por el contrario, existen causas sobre las que no hay control alguno, tales como el corte del suministro eléctrico o la rotura de una tubería. El hecho de que se originen en la producción de transitorios, causas de naturaleza incontrolada, no exonera a los diseñadores y operadores de prever el riesgo de que estas puedan tener lugar y deben dotar a la instalación, en la medida de lo posible, de los elementos que eliminen o minimicen los efectos indeseados de los transitorios.

PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.

En esta facultad no existe un banco para realizar pruebas de golpe de ariete hidráulico que permita el estudio de este fenómeno.

La ciudad y provincia de Loja se caracteriza por tener gran capacidad en el ámbito hidráulico, pero aun se ha palpado que en algunos sectores no existe disponibilidad de aprovechamiento de este recurso indispensable tanto para la vida como para el desenvolvimiento del desarrollo de la población.

Es por eso que la Universidad Nacional de Loja en especial en la carrera de Ingeniería Electromecánica, preocupados de estos problemas ha creído conveniente dar una mejor preparación a sus futuros profesionales de manera práctica en generar alternativas para el desarrollo de destrezas en el ámbito hidráulico, se ha creído conveniente implementar laboratorios de fluidos que permitan la formación de calidad de los estudiantes. Una alternativa es la de implantar un Banco de pruebas de golpe de ariete, que permita desarrollar algunas prácticas relacionadas con la unidad Mecánica de Fluidos y Laboratorio de Energía y Fluidos.

Además con el avance de la ciencia y tecnología todo proceso va enmarcado al control automático haciendo uso de herramientas que den una mayor precisión en la toma de datos. La utilización de tarjetas de adquisición de datos, sensores elementos computacionales, permiten un mejor nivel académico de los estudiantes, por ello se enuncia la siguiente problemática:

PROBLEMA DE INVESTIGACION

Ausencia de investigaciones en la carrera de ingeniería en electromecánica sobre el fenómeno del golpe de ariete limitando así su comprensión y solución de los problemas que este genera.

1.3.1 DELIMITACIÓN

1.3.1.1 ESPACIO

Se visitara los laboratorios de UTPL, ESPOL, etc. Los mismos que disponen de equipos actualizados sobre el fenómeno de golpe de ariete. Se consultara en bibliotecas y en Internet sobre el fenómeno, el trabajo se lo hará en La Universidad Nacional De Loja.

1.3.1.2 TIEMPO

El tiempo estimado para desarrollar el presente trabajo es de 5 a 6 meses.

1.3.1.3 UNIDADES DE OBSERVACIÓN

1. Válvulas de cierre rápido.
2. Sensores de presión.
3. Medidores de Caudales.
4. Bombas centrifugas.
5. Tarjeta DAQ.
6. Tubería y accesorios.
7. Bancos de prueba de golpe de ariete
8. Instalaciones hidráulicas.
9. Esquemas de instalación.
10. Equipos y suministros
11. Construcción de la cabina de control
12. Control de pérdidas.
13. Equipos informáticos.

1.3.1.4 PROBLEMAS

6. Información escasa sobre equipos que permitan modelar el fenómeno.
7. Ausencia de un banco de pruebas de golpe de ariete que permita la realización de clases practicas profesionales a los estudiantes del área de energía, industrias y recursos naturales no renovables.
8. Ausencia de guías de laboratorio en el currículo de la carrera del área de energía, industrias y recursos naturales no renovables.
9. Falta de difusión a lo interno y externo de los trabajos de investigación de la carrera.
10. La escasa información acerca de las energías alternativas se constituye en un factor limitante para la elaboración del presente trabajo.

JUSTIFICACIÓN Y VIALIDAD

1.4.1 JUSTIFICACIÓN

Con la construcción de este banco de pruebas de golpe de ariete se logrará un equipamiento adecuado para el desarrollo de las clases prácticas sobre este fenómeno.

El banco de pruebas de golpe de ariete con las guías de laboratorio y los equipos para modelar el fenómeno permitirán sistematizar la información para lograr una mejor comprensión del fenómeno de golpe de ariete a fin de que los profesionales electromecánicos solucionen los problemas que este genere en instalaciones e investigar el mejor método para aprovechar eficientemente el efecto de golpe de ariete para el bombeo de agua por medio de arietes hidráulicos.

1.4.2 VIABILIDAD

Se considera de factible realización porque los recursos y materiales que se van a utilizar para la elaboración del banco de pruebas de golpe de ariete se los puede adquirir en nuestro país, de la misma manera se cuenta con la suficiente información bibliográfica. Este banco es de relevancia pedagógica puesto que servirá para equipar los laboratorios de la universidad.

2 MARCO TEORICO

2.1 SISTEMA CATEGORIAL

CAPÍTULO I

1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

1.1 INTRODUCCIÓN

1.2 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE

1.2.1 Esquema del banco de pruebas de golpe de ariete

1.2.2 Elementos componentes del banco de pruebas

1.3 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DEL GOLPE DE ARIETE

CAPÍTULO II

2 NOCIONES DE HIDRÁULICA.

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FLUIDOS

2.2 VISCOSIDAD

2.2.1 Viscosidad absoluta o dinámica. (μ).

2.2.2 Viscosidad cinemática. (ν)

2.3 DENSIDAD, VOLUMEN ESPECÍFICO Y PESO ESPECÍFICO.

2.4 REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS

2.4.1 Laminar y turbulento

2.5 RADIO HIDRÁULICO.

2.6 GASTO O CAUDAL: Ecuación de continuidad

2.7 FÓRMULA DE DARCY. ECUACIÓN GENERAL DEL FLUJO DE FLUIDOS

2.8 FACTOR DE FRICCIÓN

2.9 TIPOS DE TRANSITORIOS

2.9.1 Transitorios suaves

2.9.2 Transitorios bruscos

2.10 GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO POR EL CIERRE INSTANTANEO DE UNA VALVULA.

2.11 CELERIDAD Y PULSO DE JOUKOWSKI

2.11.1 Celeridad

2.11.2 Pulso de onda. Formula de Joukowski

2.12 TIEMPO DE CIERRE

2.13 SEPARACIÓN DE LA COLUMNA

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CÁLCULO DE TUBERÍAS.

3.1 NOCIONES FUNDAMENTALES EN EL CÁLCULO DE TUBERÍAS

3.1.1 Altura piezométrica (H_p)

3.1.2 Altura total o de carga (H_t)

3.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE LA BOMBA

3.3 CÁLCULO DEL DIÁMETRO INTERIOR DE LA TUBERÍA EN EL TRAMO DE IMPULSIÓN

CAPITULO IV

ANÁLISIS VIRTUAL DE INSTALACIÓN

4.1 INTRODUCCION AL EPANET

4.1.1 ¿Qué es el Epanet?

4.1.2 Capacidades para la confección de modelos hidráulicos

4.1.3 Capacidad para la confección de modelos de calidad del agua

4.1.4 Pasos para utilizar el EPANET

4.2 INTRODUCCIÓN AL MATHCAD

4.2.1 Especificaciones generales

4.3 INTRODUCCIÓN AL MATLAB

4.3.1 Especificaciones generales

4.4 INTRODUCCIÓN AL LOGO. Programador del mini PLC.

4.4.1 Especificaciones generales

4.4.2 Campo de aplicación versátil

4.4.3 Software de programación LOGO! Soft confort

4.4.4 Campos de aplicación de LOGO! Soft confort

4.4.5 Particularidades de LOGO! Soft confort

2.2 DECLARACIÓN TEÓRICA

CAPÍTULO I

1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

1.1 INTRODUCCIÓN.

Esta instalación permite efectuar demostraciones del fenómeno del golpe de ariete, el experimento consiste en el estudio del flujo impermanente que se produce en una tubería por la operación brusca de una electroválvula que controla el paso del caudal líquido por el sistema.

El aparato permite el cierre brusco de una electroválvula en una tubería y la medición del incremento asociado de presión del flujo. Asimismo, el aparato permite la medición del caudal inicial que circula por el sistema, de manera de comparar los resultados experimentales con la teoría.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE

Describiremos las características de cada uno de los elementos del banco de pruebas de golpe de ariete. Esta investigación permite determinar en qué condiciones se deben encontrar los elementos que componen el banco para que estos cumplan a cabalidad la función que les corresponde.

1.2.1 Esquema del banco de pruebas de golpe de ariete

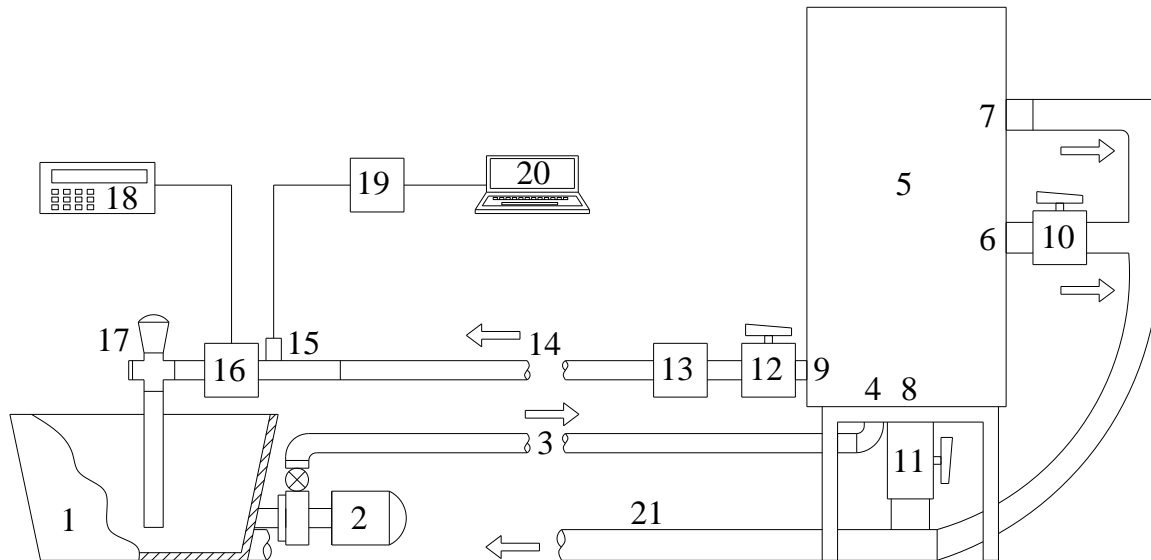


Fig. 1 Esquema del banco de pruebas de golpe de ariete

1.2.2 Elementos componentes del banco de pruebas de golpe de ariete.

En la Figura se muestra un esquema del banco de prácticas cuyos elementos se escriben a continuación:

1. Depósito de aspiración.
2. Turbo bomba centrífuga ITUR NORMABLOC N4-50/126/0,75, 1450 rpm, 0.55 kW, 5 mca de altura máxima y 44 m³/h de caudal máximo. Montada con válvula de compuerta y antirretorno en la impulsión.
3. Tubería de impulsión de la bomba. Para el llenado del depósito de amortiguación (5). Tubería de PVC D63/DN50, de un espesor de 3.7 mm y Dint de 55.6 mm.
4. Entrada al depósito de amortiguación (5).
5. Depósito de amortiguación.
6. Salida del depósito de amortiguación (5). Cuando la válvula (10) se encuentra abierta.

7. Salida del depósito de amortiguación (5). Cuando la válvula (10) se encuentra cerrada.
8. Salida de desagüe del depósito de amortiguación (5).
9. Salida del depósito de amortiguación hacia la tubería de ensayo (14).
10. Válvula de bola. Esta válvula permite establecer una altura de la lámina de agua en el depósito de amortiguación (5). Si está cerrada se alcanza una altura superior a si está abierta. Material PVC y D90/DN80/3".
11. Válvula de bola. Para el desagüe del depósito de amortiguación.
12. Válvula de bola de paso desde el depósito a la tubería de ensayo (14). Material PVC y DN50.
13. Caudalímetro Venturi (Figura 2). $CV=0.907$.
14. Tubería de ensayo, donde se va a producir el golpe de ariete de PVC, D63/DN50 espesor 7 mml, Dint de 49 mm y longitud de ensayo de 10.7 m.
15. Sensor de presión WIKA S-10 (Figura 3). Rango de presión de 0 a 16 bares absolutos con salida en tensión de 0 a 10 V DC. Transduce el valor de la presión a una señal eléctrica de corriente continua.
16. Electro válvula de cierre rápido accionada por mini PLC.
17. Válvula proporcional de 3 vías reguladora de caudal.
18. Mini PLC Siemens. Para el accionamiento de la electro válvula (16).
19. Sistema de adquisición de datos DAQ. Para capturar los datos enviados por el sensor de presión (15). Se dispone de una tarjeta de adquisición con 8 canales. La señal analógica (voltaje) del sensor de presión se transforma en una señal digital que puede ser procesada por el computador PC.
20. Computadora tecnología ATX P4.

21. Tubería de desagüe, para la recirculación del líquido. Material PVC y D90/DN80/3".

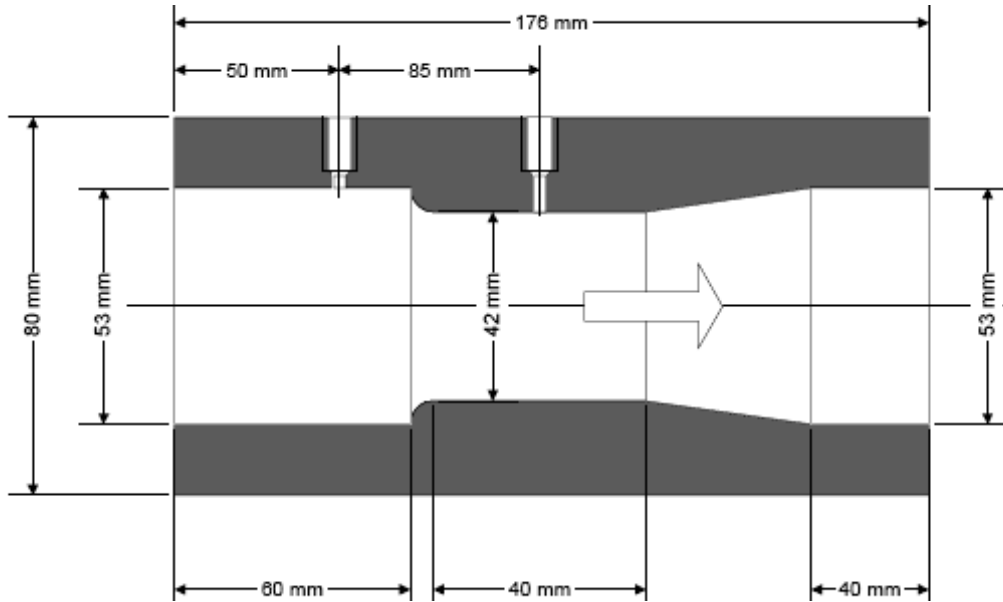


Fig. 2 Caudalímetro de Venturi



Fig.3 Sensor de presión Wika S-10

1.3 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE GOLPE DE ARIETE.

El banco de pruebas funciona de la siguiente manera: Para que se produzca el golpe de ariete, la bomba (2) succiona agua del depósito de aspiración (1) y suministra al depósito de amortiguación (5) el cual alimenta a la tubería (14), en esta se produce el golpe de ariete el momento en que la válvula (16) se cierre bruscamente, esta válvula esta programada y controlada por un mini PLC, según los tiempos de cierre deseados en la practica.

A continuación se describen mas detalladamente los pasos a seguir para provocar un golpe de ariete en la instalación del banco de ensayos y registrar la presión que se alcanza durante el transitorio en la sección adyacente a la válvula (16).

Las válvulas (11) y (12) deben encontrarse respectivamente cerrada y abierta. El caudal que va a circular por la tubería de ensayo (14) depende de las aperturas de las válvulas (12) y (17) y una vez seleccionadas se procederá a:

1. Activar la fuente de alimentación.
2. Abrir la válvula (16) liberando el "trigger" o disparador haciéndolo girar en sentido horario.
3. Poner en marcha la bomba (2).
4. Con un manómetro agua-aire medir el valor de la caída de presión en el tubo de Venturi (13) y apuntarlo en el cuaderno de prácticas.
5. Establecer una posición del tornillo de restricción al paso del aire comprimido hacia la válvula (16). Cuanto menor sea el caudal de aire comprimido que pilote la válvula (16) (tornillo de restricción en una posición mayor apriete) menor será su velocidad de cierre y por tanto mayor el tiempo de cierre.

Una vez se tiene la instalación del banco de ensayos en funcionamiento es necesario poner en marcha el sistema de adquisición, visualización y almacenamiento de la señal proporcionada por el sensor de presión (15).

CAPÍTULO II

2 NOCIONES DE HIDRÁULICA.

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FLUIDOS.

Un fluido es un medio material continuo, deformable, desprovisto de rigidez, capaz de "*fluir*", es decir de sufrir grandes variaciones de forma bajo la acción de fuerzas.

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas del fluido en cuestión, analicemos las más importantes:

2.2 Viscosidad.

Expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa.

2.2.1 Viscosidad absoluta o dinámica. (μ).

Es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. Se expresa en la ley de Newton de la viscosidad, como la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante (tangencial entre dos capas de fluido) y el gradiente de velocidad (cambio de velocidad dividido entre la distancia en que ocurre dicho cambio) dv/dy .

Ec. 2.1

$$\Gamma = \mu \frac{dv}{dy}$$

SISTEMA	UNIDADES	EQUIVALENCIA
S.I.	1 Pas = 1 Ns/m = 1 Kg/m·s	2
C.G.S.	1 poise (P) = 100 cP (centipoise)	1 Kg/m·s = 10 P = 10 cP

Las viscosidades dinámicas de algunos fluidos están tabuladas, por ejemplo, a 20°C. 0 **FLUIDO μ (cP)**

- Agua 1,000
- Aire 0,018
- Gasolina 0,600
- Mercurio 1,600
- Aceites de engrase 10 a 2000 (los mas corrientes de 10 a 40)
- Glicerina 870

2.2.2 Viscosidad cinemática. (ν).

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. 2.2}$$

SISTEMA	UNIDADES	EQUIVALENCIA
S.I.	m^2 / s	
C.G.S.	1 stoke (St) = 100 cSt (centistokes)	1 $\text{m}^2 / \text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$

$$\nu(\text{centistoke}) = \frac{\mu(\text{centipoise})}{\rho(\text{gramo/cm}^3)} \quad \text{Los instrumentos}$$

utilizados para medir la viscosidad son los viscosímetros. Uno muy simple, como es el viscosímetro de tubo se utiliza para medir la viscosidad cinemática de los aceites y otros líquidos viscosos. En ellos se determina el tiempo que necesita un volumen pequeño de líquido para fluir por un orificio.

2.3 Densidad, Volumen Especifico y Peso Específico.

La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen.

El volumen específico es el inverso de la densidad.

El peso específico (o densidad relativa) es una medida relativa de la densidad.

Para un líquido la densidad relativa es la relación de su densidad a cierta temperatura, con respecto al agua a una temperatura normalizada (60 F/60 F , o, 15,6 C/16,6 C).

El hidrómetro se usa para medir directamente la densidad relativa de un líquido.

Normalmente se utilizan dos escalas hidrométricas, a saber:

-La escala API, para productos del petróleo.

-Las escalas Baumé, dos tipos:

- para líquidos mas densos que el agua.

- para líquidos mas ligeros que el agua.

Las relaciones entre escalas hidrométricas y el peso específico son:

- Para productos de petróleo:

$$\tau (60^{\circ} F/60^{\circ} F) = \frac{141,5}{131,5 + ^{\circ} API}$$

- Para líquidos más ligeros que el agua:

$$\tau (60^{\circ} F/60^{\circ} F) = \frac{140}{130 + ^{\circ} Baumé}$$

- Para líquidos más pesados que el agua:

$$\tau (60^\circ F / 60^\circ F) = \frac{145}{145 + ^\circ \text{Baumé}}$$

2.4 REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS:

2.4.1 Laminar y turbulento.

En los fluidos reales, la existencia de la viscosidad hace que aparezca una resistencia al movimiento entre dos capas contiguas de fluido, esta influencia dinámica de la viscosidad en el movimiento viene definida por el número de Reynolds:

$$R = \frac{D v d}{\mu} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

D = diámetro de la tubería.

v = velocidad.

d = densidad.

μ = coeficiente de viscosidad.

Reynolds comprobó que a velocidades bajas (inferiores a la crítica) el flujo era laminar. Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada, siendo la velocidad del fluido máxima en el eje de la tubería, disminuyendo rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

A velocidades mayores que la crítica, el régimen es turbulento, y la distribución de velocidades es más uniforme, a pesar de ello siempre existe una pequeña capa periférica o subcapa laminar.

Para estudios técnicos:

- si $R < 2000$ el flujo se considera laminar.
- si $R > 4000$ el flujo se considera turbulento.

2.5 Radio hidráulico.

A veces se tienen conductos con sección transversal que no es circular. Para calcular el número de Reynolds en estas condiciones el diámetro circular es sustituido por el diámetro equivalente ($D \rightarrow D_{equ} = 4 \cdot R_h$) que a su vez es igual a cuatro veces el radio hidráulico, siendo este a su vez igual a:

$$R_h = \frac{\text{Superficie de la sección transversal de la vena líquida}}{\text{Perímetro mojado}} \quad \text{Ec 2.4}$$

Esto se aplica a cualquier conducto, pero no a formas estrechas (anchura pequeña con relación a la longitud), en estos casos el R es aproximadamente igual a la mitad de la h anchura del paso.

2.6 GASTO O CAUDAL (Q): Ecuación de continuidad.

Se denomina caudal q a la cantidad de fluido que a traviesa una superficie S de una tubería de sección constante en un tiempo t .

$$q = S \cdot v \quad \text{Ec 2.5}$$

$$L = v \cdot t \Rightarrow v = L/t$$

$$q = S \cdot L/t = S \cdot v$$

Entre dos secciones se cumple que:

$q_1 = q_2$, luego, la ecuación de continuidad queda definida por:

$$S1 \cdot V1 = S2 \cdot V2 \quad \text{Ec. 2.6}$$

2.7 FÓRMULA DE DARCY. Ecuación General del Flujo de Fluidos.

El flujo de fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas de fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo.

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de *Darcy* es:

$$h_l = \frac{f L v^2}{D 2 g \quad (\text{en } m)} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Siendo:

f = factor de fricción.

L = longitud de tubería,

v = velocidad media del flujo.

D = diámetro interior de la tubería.

g = aceleración de la gravedad.

Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida de presión, ya que:

$$\Delta P = \frac{d f L v^2}{2 D \quad (\text{en } N/m^2 \text{ o } Pa)} \quad \text{ya que :}$$

Ec. 2.8

$$\Delta P = h_L d_g, \text{ siendo } d = \text{densidad}$$

La formula de Darcy se emplea tanto en régimen laminar como turbulento. Sin embargo, cuando ocurre el fenómeno conocido como cavitación (la presión de corriente disminuye de tal manera que llega a igualar la presión de vapor del líquido) los caudales obtenidos por cálculo serán inexactos.

2.8 FACTOR DE FRICCIÓN.

Se determina experimentalmente.

Para condiciones de flujo laminar ($Re < 2000$) es función solo del número de Reynolds, mientras que para flujo turbulento ($R > 4000$) es también función del tipo de pared de la tubería, su rugosidad relativa (ϵ/D) es decir, la rugosidad de las paredes, ϵ , comparada con su diámetro, D .

Si el *flujo es laminar*:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64 \mu}{D v d} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Obteniéndose la Ley de Poiseville para flujo laminar, que dice:

Siendo:

$$\Delta P = 32000 \frac{\mu L v}{D^2} \quad \text{Ec 2.10}$$

μ = viscosidad (centipoise).

L = longitud de tubería (m).

v = velocidad media del flujo (m/s).

D = diámetro interior de la tubería (mm)

P = pérdida de presión (N/m). 2

Si el *flujo es turbulento*: f se encuentra tabulado (Ábaco de Lamont u otros).

Hay que tener en cuenta que la corrosión, incrustaciones, etc. Aumentan la rugosidad en las tuberías, modificando el factor de fricción y aumentando las pérdidas de carga. Es conveniente prever esta situación pues los ábacos están realizados con valores obtenidos con tuberías nuevas y limpias.

2.9 TIPOS DE TRANSITORIOS

Los transitorios a los que puede estar sometida una instalación pueden ser de diferente naturaleza, según la cual las variables hidráulicas presentan diferentes comportamientos dinámicos. La naturaleza de los transitorios viene definida por la rapidez e intensidad con la que se producen las causas que los provocan. Las hipótesis de las que se parte en el estudio de los transitorios también están relacionadas con dicha naturaleza. Los transitorios en las instalaciones hidráulicas se pueden dividir en Suaves y Bruscos:

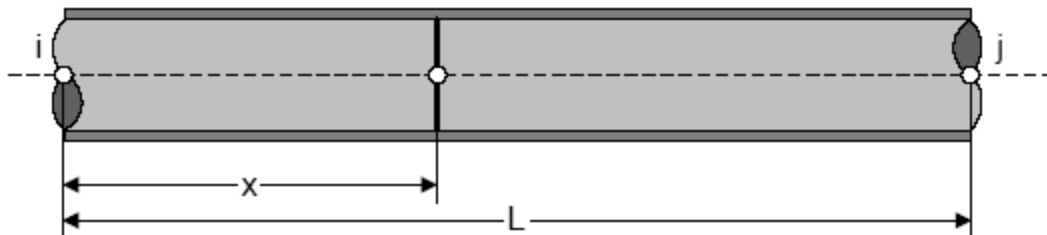


Fig.4 Tubería de sección constante.

2.9.1 Transitorios suaves

Suelen estar producidos por variaciones lentas de las condiciones de funcionamiento tales como la variación de los consumos o de las alturas de los depósitos de la instalación o por aperturas o cierres lentos de las válvulas. En

estos transitorios se consideran el fluido incompresible y las tuberías rígidas. Estas hipótesis implican que una modificación de una condición de funcionamiento influye de forma instantánea en el resto de la instalación, propagándose su efecto a velocidad infinita. Las variables hidráulicas que se consideran en este tipo de transitorios, al igual que en el estudio del estado estacionario, son las alturas piezométricas en los nodos y el caudal en las líneas pero aquí son funciones del tiempo. En el caso de tubería de sección constante A y longitud L como la de la Figura 4 la ecuación que relaciona las alturas piezométricas y el caudal (q) que circula por ella en el caso de un transitorio suave es:

$$H_i - H_j = R_{ij} \cdot q \cdot |q| + \frac{L}{g \cdot A} \cdot \frac{dq}{dt} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Siendo H_i y H_j son las alturas piezométricas en los extremos de la tubería y R_{ij} la resistencia de esta última. La ecuación anterior debe ser completada con las condiciones iniciales, $H_i(0)$, $H_j(0)$ y $q(0)$ y de contorno expresadas matemáticamente como $F_i(t, H_i, q) = 0$ y $F_j(t, H_j, q) = 0$.

2.9.2 Transitorios bruscos

También denominados *Golpes de Ariete*, están producidos por variaciones *muy rápidas* de las condiciones de funcionamiento de la instalación, el ejemplo es el transitorio producido por la desaceleración del fluido consecuencia del cierre rápido de una válvula. Al estudiar este tipo de transitorios no es posible seguir manteniendo las hipótesis de un fluido incompresible y conducciones indeformables. Por el contrario, las capacidades del fluido de modificar su densidad por los efectos de la presión y de las conducciones de deformarse pasan

a jugar un papel fundamental en la descripción del fenómeno. En el Golpe de Ariete el efecto de modificar una condición de funcionamiento se transmite al resto de la instalación a una velocidad finita. Las variables hidráulicas son la altura piezométrica y el caudal (velocidad media) en cada punto de la instalación, matemáticamente expresados como una función de la posición en la instalación y del tiempo. Para el ejemplo mencionado anteriormente de una tubería de sección constante A y longitud L la altura piezométrica $H(x,t)$ y el caudal $q(x,t)$ en un punto de la conducción están relacionados por las siguientes ecuaciones diferenciales

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g \cdot A} \cdot \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + g \cdot A \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + f \cdot \frac{q \cdot |q|}{2 \cdot D \cdot A} = 0$$

Ec. 2.12

Siendo f el factor de fricción de Darcy y a la denominada celeridad de la onda de presión que se describirá más adelante (ver 2.11). Este sistema de ecuaciones se podrá resolver añadiendo al problema las condiciones iniciales, $H(x,0)$ y $q(x,0)$ $0 \leq x \leq L$ y las de contorno $F_i(t, H_i, q_i) = 0$ y $F_j(t, H_j, q_j) = 0$ siendo $H_i = H(t, L)$, $H_j = H(t, 0)$, $q_i = q(t, L)$ y $q_j = q(t, 0)$.

2.10 Golpe de ariete producido por el cierre instantáneo de una válvula

Comparada con aquellas correspondientes al estado estacionario o a un transitorio suave, las ecuaciones que describen el golpe de ariete presentan una mayor complejidad. No obstante no es necesario resolver estas ecuaciones para conocer, al menos cualitativamente, algunos de los aspectos más importantes del

golpe de ariete. La descripción cualitativa de un caso sencillo de golpe de ariete, pero no por ello poco frecuente, como es el transitorio producido en la instalación de la Figura 5 por el cierre instantáneo de la válvula situada al final de la tubería.

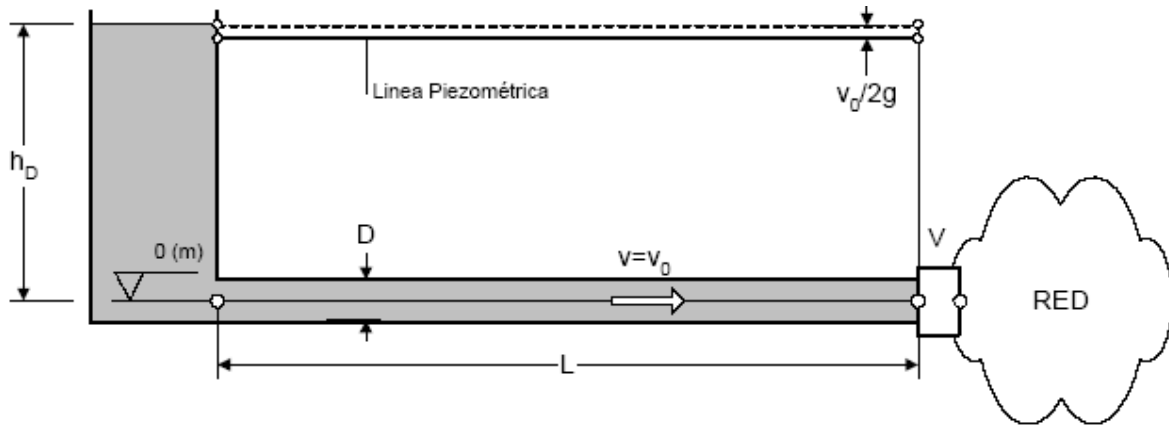


Fig. 5 Instalación tipo.

La instalación está compuesta por un depósito abierto a la atmósfera cuya superficie libre se mantiene en una cota constante. De este depósito parte una tubería horizontal de sección circular de diámetro D y longitud L . En el extremo aguas abajo de la tubería se halla una válvula V . El resto de la instalación existente aguas abajo de la válvula no es necesario conocerlo ya que no va a influir, al menos directamente, en el fenómeno que se va a describir. En el instante inicial la válvula posee una cierta apertura, por ejemplo completamente abierta, y por la tubería circula un caudal q_0 (velocidad media v_0) que depende del nivel en el depósito, las características de la tubería y la válvula y del resto de la instalación aguas abajo. Por simplificar la descripción se va a despreciar las pérdidas de carga en la tubería por lo que en el instante inicial la línea piezométrica de la instalación será la de Figura 5.

En instante inicial se cierra completamente la válvula lo que causa que la rodaja de fluido adyacente a ésta sea frenada anulándose su velocidad. Simultáneamente, por la acción del resto del fluido que hay en la tubería comprime a esta rodaja aumentando su presión a un valor $h_D + \Delta H$ m.c.f. muy por encima de la que le correspondería en reposo. Debido a la compresibilidad del fluido y a la capacidad de deformarse de la tubería, la compresión aumenta la densidad del fluido (disminuye su volumen específico) y la zona de la tubería que lo rodea se dilata. Este efecto permite que el resto del fluido que hay en la tubería no acuse inmediatamente el cierre de la válvula y continúe moviéndose hacia ésta a la misma velocidad v_0 . A medida que transcurre el tiempo desde el instante inicial, la parada y compresión va alcanzando sucesivamente a más rodajas de fluido que van quedando en las condiciones antes descritas. Un observador que se moviera en la dirección y con la velocidad del fluido v_0 observaría el fenómeno descrito como la acción de un pulso de presión de valor ΔH m.c.f. que en el instante inicial se crea en la válvula y se propaga aguas arriba de ésta a una velocidad finita a , denominada *celeridad*, el fluido que queda detrás del frente del pulso queda detenido y a una presión $h_D + \Delta H$ m.c.f. (Figura 6).

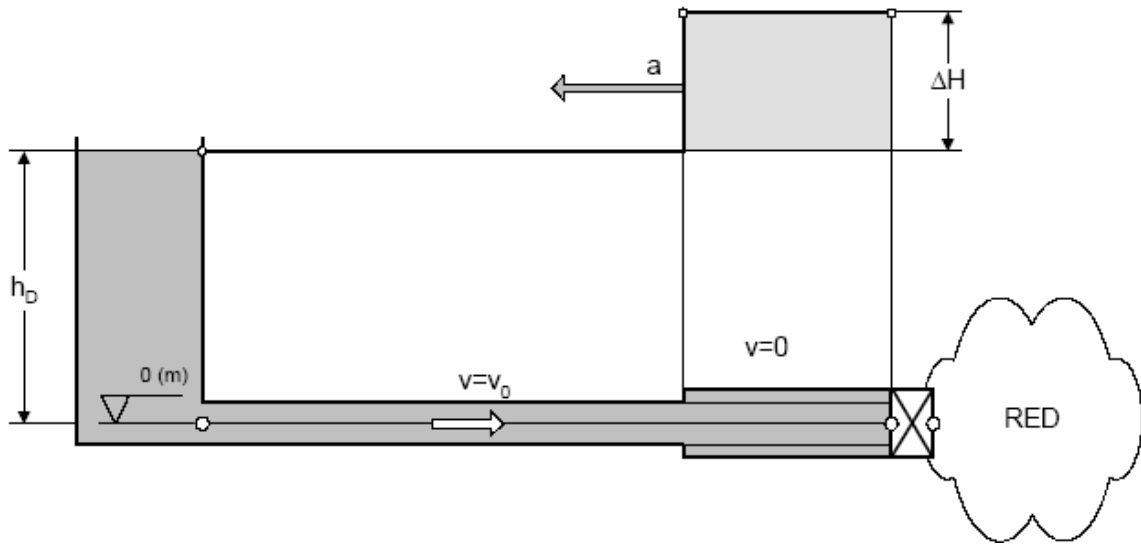


Fig. 6 Golpe de ariete $0 < t < L/a$

Cuando el pulso u onda de compresión alcanza el depósito en el instante $t=L/a$ (en realidad respecto a un observador fijo la onda viaja a una velocidad $a-v_0$ pero normalmente $a \gg v_0$) todo el fluido en la tubería se encuentra en reposo, a una presión $h_D + \Delta H$ m.c.f. y la tubería expandida. Debido a que el depósito impone en el extremo de la tubería una condición de presión constante igual a h_D m, esta situación de desequilibrio hace que la rodaja de fluido de la tubería adyacente al depósito empiece a moverse hacia el depósito con velocidad v_0 , decayendo su presión al valor que había antes del cierre (h_D m.c.f. .c.f.si despreciamos la energía cinética) y volviendo la porción de tubería que lo rodea a su estado normal. El efecto descrito es la reflexión del pulso de compresión que llega al depósito y cambia convirtiéndose en un pulso de descompresión que se traslada hacia la válvula con una celeridad a . El fluido de la zona de la tubería por la que ha pasado el frente de esta onda permanece a una presión h_D m.c.f. y moviéndose hacia el depósito a una velocidad v_0 (Figura 7).

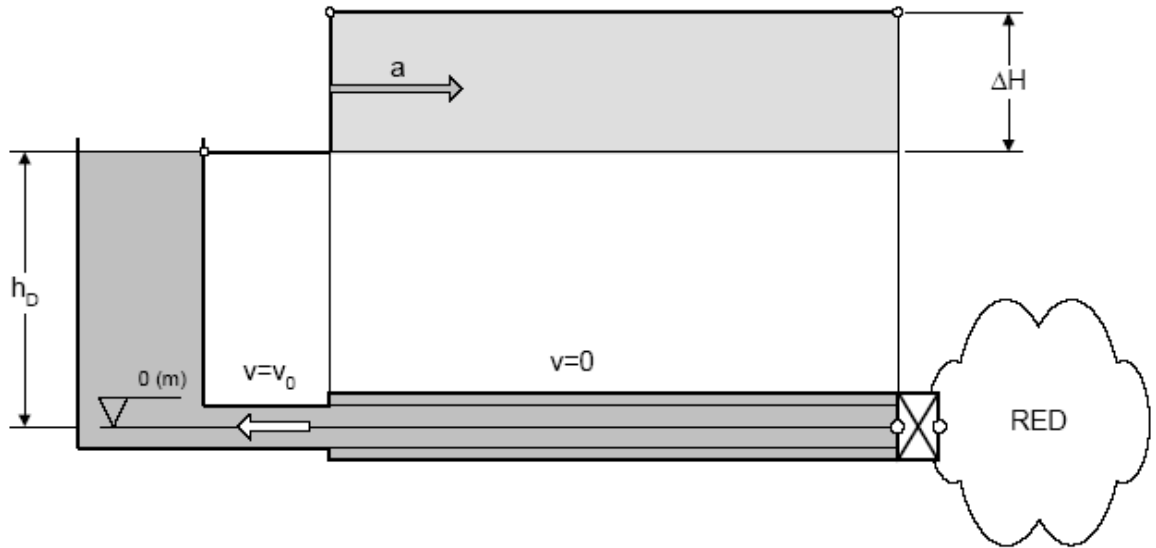


Fig. 7 Golpe de ariete $L/a < t < 2L/a$

Al llegar la onda de descompresión en el instante $t=2L/a$ a la válvula y no poder mantener ésta la condición de flujo a su través, la rodaja de fluido adyacente se frena, lo que genera una subpresión de $-\rho \Delta H$ m.c.f. respecto de la presión en condiciones estáticas. El pulso de subpresión se mueve a una celeridad a en dirección aguas arriba de la válvula hacia el depósito, dejando tras de sí el fluido en reposo, a una presión $h_D - \rho \Delta H$ y la tubería contraída. En este caso la válvula ha reflejado la onda de descompresión pero sin cambiar el signo del pulso (Figura 8).

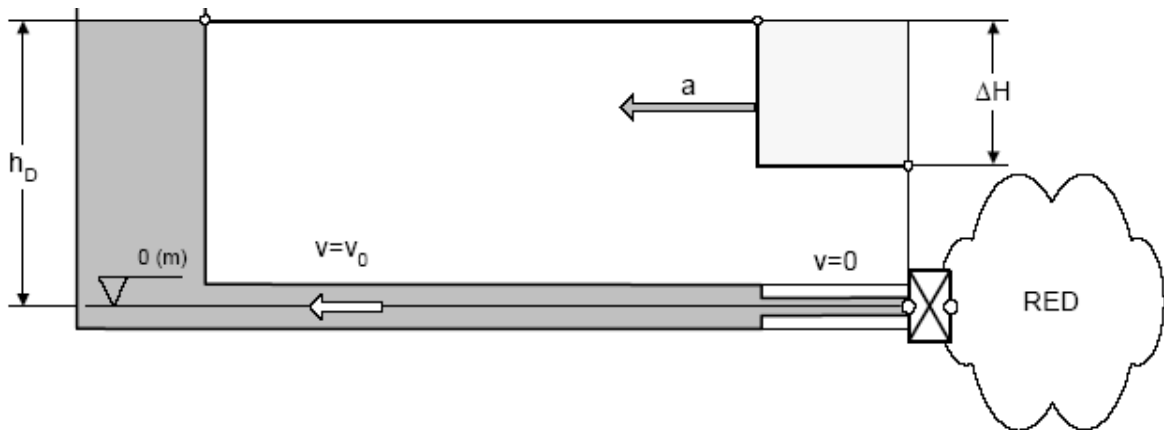


Fig. 8 Golpe de ariete $2L/a < t < 3L/a$

Al llegar el pulso de subpresión al depósito en el instante $t=3L/a$, éste la refleja como hizo en el caso de la onda de compresión, salvo que la onda que viaja hacia la válvula deja tras de sí el fluido moviéndose hacia la válvula con una velocidad v_0 , a una presión igual a la que existía en el instante del cierre y la tubería en su estado normal (Figura 9).

En el instante $t=4L/a$ la situación de la instalación es idéntica a la que se había en el momento del cierre por lo que vuelven a repetirse los cuatro períodos descritos. Este transitorio no tiene fin ya que al haber despreciado la fricción no se está incluyendo ningún efecto disipativo que permita amortiguar los pulsos de presión y el fluido llegue a pararse definitivamente como ocurriría en la realidad.

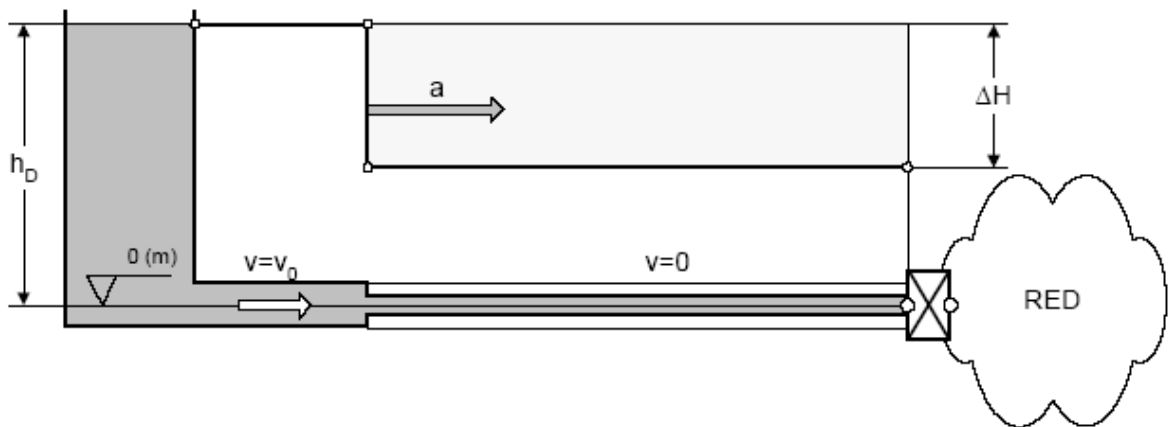


Fig. 9 Golpe de ariete $3L/a < t < 4L/a$

2.11 Celeridad y pulso de Joukowski

En la descripción que se ha realizado del golpe de ariete que tiene lugar en la instalación de la Figura 5 por el cierre instantáneo de la válvula, se introdujeron las

magnitudes de celeridad de la onda a y magnitud del pulso de presión ΔH . Estas dos magnitudes están relacionadas con los demás parámetros geométricos y operacionales de la instalación en cuestión.

2.11.1 Celeridad

La celeridad de la onda es función de las características elásticas del sistema fluidotubería. Se puede demostrar que en el caso de un líquido sin fase gaseosa que fluye por una tubería de pared delgada de espesor e y sección circular de diámetro D la celeridad de la onda (también denominada característica de la tubería) viene dada por:

$$a^2 = \frac{K/\rho}{1 + (K/E) \cdot (D/e) \cdot c} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde K y ρ son el módulo de compresibilidad y la densidad del fluido, E es el módulo de Young del material del que está construido la tubería y c es un coeficiente que depende del tipo de anclaje de ésta última. En el caso de un buen anclaje con juntas de dilatación su valor es la unidad. Por ejemplo el agua tiene un módulo de compresibilidad de $2.2 \cdot 10^9$ N/m² y una densidad de 1000 kg/m³. En el caso de una tubería de PVC ($E=2.75 \cdot 10^9$) de diámetro 49 mm y espesor de 7 mm el valor de la celeridad es 577.4 m/s.

Si existe una cantidad de gas disuelta en el líquido y se separa de ésta última, la celeridad se ve modificada ya que cambian las propiedades del fluido al pasar éste a ser este una mezcla bifásica con valores de K y ρ distintos de los correspondientes a la fase líquida. La presencia de una fase gaseosa hace que la mezcla bifásica que forma el fluido sea más compresible y la celeridad disminuya.

2.11.2 Pulso de onda. Fórmula de Joukowski

Las ecuaciones integrales de continuidad y cantidad de movimiento pueden aplicarse para obtener el valor del pulso de presión o pulso de Joukowski producido por una variación Δv de la velocidad en una tubería de característica a resultando:

$$\Delta H = -\frac{a \cdot \Delta v}{g} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Expresada en altura de columna del fluido. Si se trata de un cierre instantáneo como el del ejemplo descrito $\Delta v = -v_0$ y el valor del pulso es:

$$\Delta H = \frac{a \cdot v_0}{g} \quad \text{Ec. 2.15}$$

2.12 Tiempo de cierre

Hasta este punto en el ejemplo presentado se ha considerado el golpe de ariete que tiene lugar en la instalación de la Figura 5 por el cierre instantáneo de la válvula. Si el cierre se produce en un tiempo finito, denominado tiempo de cierre t_C , las sobrepresiones y subpresiones a las que va a estar sometida la tubería van a ser diferentes según el valor de t_C . Si el cierre es rápido, es decir $t_C < 2 \cdot L/a$, las sobrepresiones y subpresiones alcanzadas van a ser las mismas que en el caso del cierre instantáneo, proporcionadas por la Ec. 2.15. En cambio si el cierre es lento, $t_C \geq 2 \cdot L/a$, los mencionados valores máximos son inferiores a los que se producen en el caso del cierre rápido. Para obtener el valor máximo de la sobrepresión que se alcanza en un cierre lento habría que proceder a resolver las ecuaciones diferenciales del fenómeno por alguno de los métodos existentes, no

obstante se han propuesto fórmulas que proporcionan, con mayor o menor exactitud, dichos valores máximos. Entre las más conocidas está la debida a Michaud:

$$\Delta H = \frac{2L \cdot v_0}{g \cdot t_C} \quad \text{Ec. 2.16}$$

y a Allievi:

$$\Delta H = \frac{h_D}{2} \cdot \left(C^2 \pm C \cdot \sqrt{4 + C^2} \right) \quad \text{Ec. 2.17}$$

Siendo:

$$C = \frac{L \cdot v_0}{g \cdot h_D \cdot t_C} \quad \text{Ec. 2.18}$$

El \pm de la ecuación de Allievi indica que la fórmula proporciona el valor de la sobrepresión (+) y el de la subpresión (-).

2.13 Separación de la columna

Tal y como se ha descrito en el ejemplo del golpe de ariete producido por el cierre instantáneo de la válvula, el fluido en la tubería es sometido a subpresiones. Si dichas subpresión hacen que el fluido alcance su presión de vapor, se producirá un cambio de fase en el fluido apareciendo una fase vapor. A este fenómeno que aparece también en otros ámbitos de la hidráulica se le denomina *cavitación*. En el comportamiento transitorio de las instalaciones la aparición de la cavitación puede conllevar un fenómeno de la rotura de la fase líquida en trozos separados por cavidades llenas de vapor denominado *separación de la columna*. La separación de la columna afecta drásticamente al desarrollo del transitorio ya que la

cavitación modifica la celeridad, que disminuye en la zona vaporizada, en esta zona la presión no puede disminuir por debajo de la presión de vapor y el colapso (vuelta a la fase líquida de las cavidades) puede producir sobrepresiones superiores a las previstas sin considerar este fenómeno.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y CÁLCULO DE TUBERÍAS

3.1 NOCIONES FUNDAMENTALES EN EL CÁLCULO DE TUBERÍAS.

Volvamos a recordar dos conceptos de gran utilidad en el análisis de problemas de tuberías.

3.1.1 ALTURA PIEZOMETRICA (Hp)

Esta altura conocida también como Línea de cotas piezométricas o línea de cargas piezométricas, es igual a la suma de la altura geodésica (Z) más la altura de presión (P/γ), donde:

P = presión,

γ = peso específico.

$$H_p = Z + \frac{P}{\gamma} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Esta línea representa el lugar geométrico de las alturas hasta las cuales podría ascender el líquido en los tubos verticales, que se conectarán a las diferentes aberturas piezométricas a lo largo del tubo.

3.1.2 ALTURA TOTAL O DE CARGA (Ht)

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Son las líneas de cotas totales que une todos los puntos, cuya ordenada es la energía disponible para cada punto a lo largo de la tubería. Por ello la línea de cargas totales se encuentra siempre a una distancia vertical de $v^2/2g$ por encima de la línea de cotas piezométricas, donde:

v = velocidad del fluido,

g = aceleración de la gravedad.

3.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE LA BOMBA.

Para una altura manométrica total, H , el trabajo, T , que es preciso realizar para elevar un caudal, Q , es:

$$T = \gamma \cdot Q \cdot H \quad \text{Ec. 3.3}$$

y la potencia, N , en caballos de vapor, es:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

Q en m^3/s

H en m

γ en Kg/m^3 (kg peso)

Para un rendimiento mecánico total de la bomba, α , la potencia efectiva Ne o potencia absorbida por el árbol de la bomba vendrá determinada por la expresión:

$$Ne = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \alpha} \quad \text{Ec. 3.5}$$

3.3 CÁLCULO DEL DIÁMETRO INTERIOR DE TUBERÍA EN EL TRAMO DE IMPULSIÓN.

La adopción de un determinado diámetro para la tubería en el tramo de impulsión admite en principio tantas soluciones como se quieran, siempre y cuando se disponga de la potencia necesaria y de bombas adecuadas, ya que cualquier diámetro puede ser factible de conducir el caudal que se desee; sin embargo, esta indeterminación desaparece si se pretende encontrar la solución más económica posible, bajo todos los aspectos.

A medida que se adopte menor diámetro la pérdida de carga continua será mayor y se precisará mayor potencia de motor; e inversamente, a mayor diámetro corresponderá menor potencia pero mayor coste de materiales. Por consiguiente el problema estará en elegir el diámetro de los tubos que haga a la instalación más económica y a tal fin a continuación se realiza el cálculo teórico siguiente.

Según Dávila – Pajón, 2003 propone el siguiente método: Sea, p , el costo del motor por caballo de vapor, y sea, K , el costo de la tubería por unidad de diámetro y longitud. El costo total, c , utilizando un motor de potencia N y tubos de diámetro D , cuando la longitud de la tubería es L , vale:

$c = p \cdot N + K \cdot D \cdot L$ y como la potencia de la bomba N según se ha obtenido anteriormente viene determinada por la expresión:

$$N = \frac{\gamma Q (Z + H r)}{75 \alpha} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde z es la altura geodésica y Hr la correspondiente a pérdidas de carga,

Según el mismo autor Dávila – Pajón el diámetro viene dado por:

$$D = \sqrt[6]{\frac{\gamma p \delta}{15 \alpha K}} \cdot \sqrt{Q} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Valor que no depende de la longitud de la tubería, sino del caudal. Fijando los valores de los parámetros que figuran en la ecuación, Bress ha dado la siguiente fórmula:

$$D = 1,5 \cdot \sqrt{Q} \quad \text{Ec. 3.8}$$

En la cual Q viene en m³/s y D en m, obteniéndose como vemos una velocidad muy baja.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4Q}{\pi 1,5^2 Q} = 0,57 \text{ m/s} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Esta fórmula de Bress, al establecer de antemano unos valores que no en todos los casos se ajustan a la realidad, tiene un valor relativo; sin embargo servirá de orientación para elegir aquel diámetro comercial que más se ajuste al determinado y con él valorar con la mayor precisión posible las diferentes pérdidas de cargas, así como la velocidad que se origina, no debiéndose admitir valores superiores a 1,5 m/s.

$$V = 2 \cdot \sqrt{D} \quad \text{Ec. 3.10}$$

Fijando una velocidad v, según el criterio de Bonnet, se obtiene el mínimo diámetro que ha de tener:

$$D = 0,835 \cdot \sqrt[5]{Q^2} \quad \text{Ec.3.11}$$

Finalmente se obtiene el diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de fricción λ .

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS VIRTUAL DE INSTALACIÓN

4.1 INTRODUCCION AL LAB VIEW

4.1.1 Especificaciones generales

LabVIEW es un ambiente de desarrollo gráfico muy productivo con la actuación y flexibilidad de un idioma de la programación así como la funcionalidad de alto nivel y utilidades de la configuración diseñaron específicamente para la medida y aplicaciones de automatización.

4.1.2 VIs y Tableros del Frente

Se llaman programas en LabVIEW los instrumentos virtuales (VIs) y lo permite al modular y codificar el plan eficaz. El tablero delantero es donde usted crea la interfaz del usuario para VIs. Usando los objetos de interfaz de usuario incorporados diseñados para la medida y automatización en la paleta de los Mandos, usted puede crear las interfaces gráficas personalizadas rápidamente para sus aplicaciones.

4.1.3 Los Diagramas del bloque

El diagrama del bloque contiene el código de la fuente gráfico de los VI como un intuitivo. Usando el VIs Expreso interactivo, VIs normal muy flexible, y ciento de funciones de la medida incorporadas localizadas en la paleta de las Funciones, usted puede crear pruebas, medidas, o aplicaciones del mando. Hay más de 40 VIs Expresos interactivos que van en la funcionalidad de la adquisición de los datos al análisis de la medida archivar I/O.

4.1.4 Flujo de datos

LabVIEW es un lenguaje de programación que utiliza un lenguaje de flujo de datos que determina la ejecución. La arquitectura del dataflow significa fácilmente que LabVIEW puede ejecutar los funcionamientos múltiples en paralelo.

4.1.5 Las Aplicaciones flexibles

Ingenieros y científicos trabajan en proyectos en que los requisitos pueden cambiar rápidamente, y ellos necesitan manejar, las soluciones extensibles. Usando LabVIEW, usted diseña un armazón abierto que transparentemente integra software y hardware para asegurar inherentemente que las aplicaciones trabajan bien hoy y en el futuro. Usted puede integrar las nuevas tecnologías fácilmente y puede extender las soluciones más allá del alcance original como usted identifique los nuevos requisitos.

4.1.6 Adquiera con LabVIEW

Con LabVIEW, usted puede empezar adquiriendo los signos rápidamente y fácilmente del hardware de la medida. La integración firme de LabVIEW con NI-DAQ 7.0 y el MÁXIMO proporciona el **DAQ** Assistant, API de DAQmx, y el API de DAQ tradicional a las medidas interactivas y a generación del código. Las funciones incluyen configuración y tableros de la prueba para verificar el hardware, así como la configuración del cauce incorporada. LabVIEW puede adquirir cualquier tipo de signo de los dispositivos del hardware compatibles, incluso la temperatura, el voltaje, la presión.

4.1.7 La Adquisición de los datos

LabVIEW entrega con el hardware la medida para que usted pueda configurar rápidamente y pueda usar virtualmente cualquier dispositivo. Usted puede usar el

DAQ Assistant incluyó con NI-DAQ 7.0 con su hardware de la E-serie diseñar la medida fácilmente atarea sin programar, y usted puede usar el API de NI-**DAQ**mx para generar código de LabVIEW basado en esa configuración automáticamente.

4.2 INTRODUCCION AL MATHCAD

4.2.1 Especificaciones generales

Mathcad 2001 Professional es un software de cálculo, extremadamente versátil y potente como lenguaje de programación. Contiene una exhaustiva biblioteca de funciones estadísticas y de análisis, una colección de potentes algoritmos para resolución problemas así como herramientas de manipulación de matrices. La principal característica de Mathcad es que resulta tan fácil de usar como las conocidas hojas de cálculo que pueden encontrarse en el mercado. Y, sin embargo, no es necesario aprender ninguna sintaxis complicada: en Mathcad una ecuación aparece tal y como se podría ver en una pizarra o en un libro.

4.3 INTRODUCCION AL MATLAB

4.3.1 Especificaciones Generales.

Matlab, es al mismo tiempo un entorno y un lenguaje de programación. Uno de sus puntos fuertes es el hecho de que el lenguaje de Matlab permite construir nuestras propias herramientas reusables. Podemos fácilmente crear nuestras propias funciones y programas especiales (conocidos como archivos M) en código Matlab. Los podemos agrupar en Toolbox, colección especializada en archivos M, para trabajar en clases particulares de problemas. La manera mas fácil de visualizar Matlab es pensar en él como en una calculadora totalmente equipada, aunque, en realidad, ofrece muchas más características y es mucho más versátil

que cualquier calculadora. Matlab es una herramienta para hacer cálculos matemáticos. Es una plataforma de desarrollo de aplicaciones, donde un conjunto de herramientas inteligentes para la resolución de problemas en áreas de aplicación específica, a menudo llamadas toolboxes, se pueden desarrollar con facilidad relativa.

4.4 INTRODUCCION AL LOGO. Programador del mini PLC.

4.4.1 Especificaciones Generales.

LOGO! Módulo lógico. El módulo lógico universal LOGO! de Siemens está a la venta desde 1996 y goza de creciente aceptación en todo el mundo. Gracias a la integración de un gran número de funciones, a un precio extraordinariamente económico en comparación con los aparatos de maniobra convencionales, con un LOGO! se resuelven tareas enmarcadas en la técnica de instalación y el ámbito doméstico, así como en la construcción de máquinas y de aparatos.

4.4.2 Campo de aplicación versátil

La estructura modular y las distintas variantes de tensión de LOGO! permiten una adaptación flexible a las tareas más diversas. Con la posibilidad de conexión a sistemas de bus, como por ejemplo, el bus. Así, LOGO! también ofrece soluciones para pequeñas tareas de automatización.

4.4.3 Software de programación LOGO!Soft Comfort

LOGO!Soft Comfort permite elaborar los programas de control para LOGO! de forma cómoda y eficaz. Los programas se elaboran posicionando libremente y conectando los elementos de programa en una superficie de dibujo.

Una de las funciones que facilitan particularmente la labor del usuario es la simulación offline del programa, que permite la indicación simultánea del estado

de varias funciones especiales, así como la documentación profesional de los programas de control generados.

4.4.4 Campos de aplicación de LOGO!Soft Comfort

Determinados grupos de usuarios, entre los que destacan las empresas de planificación y de ingeniería y los usuarios con experiencia en CAD/PC, esperan obtener también de LOGO! un entorno de programación que no sólo simule el manejo del equipo, sino que también aumente la comodidad de programación y ofrezca una buena posibilidad de testear y documentar los programas creados.

Con LOGO!Soft Comfort, el usuario tiene a su disposición una herramienta que permite crear programas en un PC de manera rápida y cómoda e imprimir de forma detallada y clara la documentación de los circuitos.

4.4.5 Particularidades de LOGO!Soft Comfort:

Elaboración cómoda y sencilla de los programas

Extensa documentación de programas

Amplias funciones de impresión

Nivel mínimo de errores en los programas gracias a la simulación en el PC

5. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS Y VARIABLES

5.1. HIPOTESIS

i. Hipótesis Generales

- Es posible mejorar el proceso académico en la carrera de Ingeniería Electromecánica a través del desarrollo de un laboratorio de pruebas de golpe de ariete.

ii. Hipótesis Específicos

1. Es factible construir un laboratorio de pruebas de golpe de ariete de mucha utilidad para la carrera de Ingeniería Electromecánica, que permita utilizar eficientemente los recursos del efecto del golpe de ariete con diferentes sistemas de bombeo.
2. Es factible la construcción de guías para el desarrollo de actividades prácticas y de investigación hidráulica que logre un mayor dominio de habilidades y destrezas en los educandos de la carrera de Ingeniería Electromecánica.
3. Es factible la elaboración de un laboratorio virtual que permita simular los principales parámetros hidráulicos de laboratorio experimental.

6 DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Las actividades a desarrollarse en el diseño y construcción del Banco de Pruebas Hidráulica son las siguientes:

- Calcular las pérdidas primarias, secundarias y totales.
- Seleccionar diferentes tipos de tuberías y accesorios para diferentes prácticas en el banco hidráulico.
- Proponer y diseñar estudios de pruebas hidráulicas virtuales.
- Realizar un diseño de guías metodológicas para la utilización del banco.

6.2 METODOLOGÍA PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACION

6.2.1 construcción metodológica del Tema de Investigación.

- La idea fue sugerida por un docente de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

- Se observó la necesidad de estudiar este fenómeno de golpe de ariete y la construcción de este banco permitirá su estudio.
- Se recopiló la información bibliográfica necesaria para la formulación del tema de investigación.

6.2.2 Elaboración del proyecto de Investigación.

Luego de la elaboración del tema de investigación:

- Se desarrollo el marco contextual citando las parámetros a tratarse como es en la situación problemática en la que se encuentra inmerso el tema de investigación.
- Para el desarrollo de este tema se observó la viabilidad en su ejecución.
- Los objetivos propuestos se enmarcaron a la necesidad de poder desarrollar el problema que se ha formulado.
- Para toda investigación científica es necesario obtener información bibliográfica, es por esto que a continuación se recopiló información textual basado en diferentes autores, todos estos parámetros citados en el marco teórico expuestos en tres capítulos:

Capitulo 1: Descripción del equipo

Capitulo 2: Nociones de Hidráulica.

Capítulo 3: Diseño y Cálculo de Tuberías.

Capítulo 4: Análisis Virtual de la Instalación.

6.3 METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

6.3.1 Mitología parcitipativa.

Metodología para el 1er. Objetivo.

- Se consulta en biblioteca y en Internet sobre el fenómeno.
- Se visitara los laboratorios de UTPL, ESPOL, etc. Los mismos que disponen de equipos actualizados sobre el fenómeno de golpe de ariete.
- Se elabora un marco conceptual sobre la formación obtenida de las actividades anteriores..

Metodología para el 2do. Objetivo

- Se visitara el centro LABVIEW para obtener información acerca de su configuración.
- Se analizará la teoría y el modelo matemático que describe el fenómeno.
- Se entrevistará con especialistas, proveedores de equipo hidráulicos así como en la rama LABVIEW para adquisición de datos.
- Se construirá y se acoplara todas las partes hidráulicas del banco.
- Se determinara la eficiencia de la tarjeta DAQ y su configuración con el computador.

Metodología para el 3er. Objetivo

- Usar el banco de golpe de ariete en diferentes condiciones y recopilar datos.
- Se consultara en guías de otros centros de estudio y se utilizara la información obtenida.

Metodología para el 4to. Objetivo

- aprovechar los medios de comunicación de la UNL.
- Video conferencias, charlas.

- Se incluirá en la revista universitaria.

6.3.2 Métodos

- Método deductivo
- Método Inductivo
- Método Experimental

6.3.3 Técnicas

- Técnica de observación.
- Técnica de la entrevista.
- Técnicas de medición.
- Técnica experimental.
- Planificación y desarrollo estadístico de los experimentos.

6.4 METODOLOGÍA PARA OPERACIONALIZAR LAS VARIABLES Y VERIFICAR LAS HIPÓTESIS.

6.4.1 Matriz de operacionalización de objetivos específicos (anexo # 1, 2, 3, 4).

6.4.2 Verificación de hipótesis

6.5 APLICACIÓN Y RECOPIACIÓN DE INSTRUMENTOS

Para la ejecución del proyecto de tesis se tomará de:

- Catálogos
- Guías Metodológicas propuestas por el AEIRNNR
- Observaciones

6.6 PROCESAMIENTO DE INFORMACION

Se detalla por:

- Procesos Experimentales
- Procesos Estadísticos
- Procesos Computacionales.
- Prueba de Hipótesis

6.7 ELABORACIÓN O REDACCIÓN DEL INFORME Y LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

- a. Portada
- b. Índice
- c. Resumen
- d. Introducción
- e. Marco Teórico
- f. Método
- g. Resultados
- h. Verificación de hipótesis
- i. Conclusiones, recomendaciones e implicaciones
- j. Bibliografía
- k. Anexos

7 ORGANIZACIÓN Y GESTION DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 RECURSOS

7.1.1 Humanos

- Personal administrativo del lugar de investigación
- Director de tesis del AEIRNNR de la UNL.

- Personal docente del AEIRNNR de la UNL.
- Asesores
- Personal entrevistado

7.1.2 Materiales

- Horas de uso del Internet
- Fotocopias
- Impresión de consultas
- Impresión de documentos
- Instrumentos de medición
- Textos bibliográficos
- Materiales de oficina

7.1.3 Tecnológicos

- Software LABVIEW
- Software Autocad
- Software Office XP.
- Software Power Translator
- Software Matlab
- Software Mathcad
- Software LOGO

7.1.4 Presupuesto

- Recopilación de la información.....\$ 500
- Materiales de oficina\$ 300
- Consultas bibliográficas\$ 200

- Ejecución del proyecto.....\$ 3000
- Contratación de Hipótesis.....\$ 200
- Talento Profesional\$ 600
- Imprevistos.....\$ 200

TOTAL.....\$ 5000

8. BIBLIOGRAFIA

- DAVILA, J. A. ;PAJON, J.; Mecánica Aplicada. Teoría Básica para el diseño y cálculo de tuberías, elementos de máquinas y recipientes a presión; 2003.
- ROSSMAN, Lewis; EPANET 2 Manual del Usuario; Septiembre 2000
- Manual Básico de Matlab; Octubre 2004; Apoyo a Investigación C.P.D.; Servicios Informáticos U.C.M.
- RODRIGUEZ, Juan, STEEGMANN, Cristina; Uso Básico de Mathcad 2001 Profesional; Enero 2001.
- Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.
- ***Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua.*** Volúmenes I y II. Universidad Politécnica de Valencia. Unidad Docente de Mecánica de Fluidos. 1996. Páginas de la 435 a la 463, de la 603 a la 604 y de la 761 a la 794.
- ***Fluid Transients in Systems.*** E. Benjamin Wylie and Victor L. Streeter. Ed. Prentice Hall. 1993.
- ***Sistemas de Bombeo.*** Universidad de Oviedo. E. Blanco, S. Velarde y J. Fernández. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. 1994. Capítulo 7. Páginas de la 123 a la 159, de la 197 a la 204.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACIVIDADES PROGRAMAS	Mayo			Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre				
Idea de investigación	*	*																					
Recopilación de datos bibliográficos.			*	*																			
Formulación del marco teórico.					*	*																	
Diseño del banco						*	*	*	*														
Selección de materiales y equipos									*	*	*												
Construcción y montaje del banco de pruebas.											*	*	*	*									
Pruebas experimentales														*	*	*							
Diseño de guías de laboratorio																	*						
Análisis de resultados																		*	*				
Conclusiones y recomendaciones.																			*	*			
Elaboración final del proyecto de tesis.																					*	*	*

ANEXO # 1

MATRIZ DE OPERATIVIDAD

OBJETIVO ESPECÍFICO: Sistematizar información sobre el fenómeno del golpe de ariete.							
No.	ACTIVIDADES O TAREAS	METODOLOGIA	INICIO	FINAL	RESPONSABLE	PRESUPUEST O	SALIDA ESPERADAS
1	Búsqueda Bibliografía.	Se consultara en bibliotecas y en Internet sobre el fenómeno.	02/05/05	13/05/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Información técnica que explique el fenómeno de golpe de ariete.
2	Visitar centros que estudien el fenómeno de Golpe de ariete.	Se visitara los laboratorios de UTPL, ESPOL, etc. Los mismos que disponen de equipos actualizados sobre el fenómeno de golpe de ariete.	15/05/05	27/05/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Información (Guías, esquemas, etc.) sobre los equipos que disponen las instituciones visitadas.
3	Sistematizar la información	Se elaborara un marco conceptual sobre la información obtenida de las actividades anteriores.	30/05/05	10/06/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Documento (marco conceptual) y esquema de diseño de banco.

ANEXO # 2

MATRIZ DE OPERATIVIDAD

OBJETIVO ESPECIFICO: Diseñar y construir un banco de pruebas de golpe de ariete, en base a sistemas informáticos que permitan la adquisición y representación de datos.

No.	ACTIVIDADES O TAREAS	METODOLOGIA	INICIO	FINAL	RESPONSABLE	PRESUPUESTO	SALIDA ESPERADAS
1	Recopilación de información sobre programación grafica en LABVIEW.	Se visitara el centro LABVIEW para obtener información acerca de su configuración.	13/06/05	17/06/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Información sobre los centro de programación LABVIEW.
2	Calculo de presiones y caudales máximos.	Se analizará la teoría y el modelo matemático que describe el fenómeno.	20/06/05	24/06/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Especificaciones técnicas de equipos y accesorios. Documento con los datos calculados.
3	Seleccionar los accesorios y materiales.	Se entrevistarán con especialistas, proveedores de equipos hidráulicos	27/06/05	29/06/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	1000	Información técnica, documentos, catálogos e instrumentación sobre componentes hidráulicos y

		así como en la rama LABVIEW para la adquisición de datos.					representación virtual de datos.
4	Construcción y montaje de accesorios y materiales seleccionados en la actividad anterior.	Se construirá y se acoplarán todas las partes hidráulicas del banco.	18/07/05	05/08/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	800	Funcionamiento del banco en condiciones normales.
5	Elegir la tarjeta DAQ (LABVIEW) y los componentes para su instalación.	Se determinará la eficiencia de la tarjeta DAQ y su configuración con el computador.	08/08/05	09/09/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	1000	La información procesada por la tarjeta será representada en el computador.

ANEXO # 3

MATRIZ DE OPERATIVIDAD

OBJETIVO ESPECÍFICO: Elaborar una guía para el desarrollo de clases prácticas sobre el fenómeno de golpe de ariete.							
No.	ACTIVIDADES O TAREAS	METODOLOGIA	INICIO	FINAL	RESPONSABLE	PRESUPUESTO	SALIDA ESPERADAS
1	Realizar diferentes pruebas, cambiando el valor de las variables.	Usar el banco de golpe de ariete en diferentes condiciones y recopilar datos.	12/09/05	30/09/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	300	Definición de las diversas prácticas que se podrán realizar en este banco.
2	Diseño y Elaboración de guías.	Se consultara en guías de otros centros de estudio y se utilizara la información obtenida.	03/10/05	07/10/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	300	Guía para prácticas de laboratorio.

ANEXO # 4

MATRIZ DE OPERATIVIDAD

OBJETIVO ESPECIFICO: Socializar los resultados de la investigación a la comunidad.							
No	ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGIA	INICIO	FINAL	RESPONSABLE	PRESUPUESTO	SALIDA ESPERADAS
1	Difundir el funcionamiento del banco de pruebas de golpe de ariete.	Aprovechar los medios de comunicación de la UNL.	10/10/05	21/10/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Conocimiento en la comunidad de las ventajas que nos ofrece el golpe de ariete.

2	Visitar centros de capacitación técnica.	Video conferencias, charlas.	24/10/05	28/10/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Concientización y aprovechamiento de este recurso.
3	Publicar documentos	Se incluirá en la revista universitaria.	01/11/05	25/11/05	Milton Blacio Gabriel Romero Max Cevallos Maximo Medina	200	Documento de consulta para la comunidad universitaria.

