



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO POR LA APERTURA Y CIERRE
DE UNA VÁLVULA SOLENOIDE EN TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO
(PVC) PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DE PRESIÓN EN LA TUBERÍA.

AUTOR: Edison Patricio Bombón Lascano

TUTOR: Ing. Mg. Alex Mayorga

AMBATO – ECUADOR

2016

APROBACIÓN POR EL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ESTUDIO DEL GOLPE DE ARITE PRODUCIDO POR LA APERTURA Y CIERRE DE UNA VÁLVULA SOLENOIDE EN TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DE PRESIÓN EN LA TUBERÍA.”. Elaborado por el Sr. Edison Patricio Bombón Lascano, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo experimental es original de su autor, lo cual ha sido revisado en cada uno de sus capítulos y está concluido en su totalidad.

.....
Ing. Mg. Alex Mayorga

TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AUTORIA DE TESIS

Yo, Edisson Patricio Bombón Lascano, portador de la C.I. 180421102-5 tengo a bien indicar que las ideas mostradas en el presente trabajo experimental con el tema, “ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO POR LA APERTURA Y CIERRE DE UNA VÁLVULA SOLENOIDE EN TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN LA TUBERÍA.”, así como también las ideas, análisis y conclusiones son de exclusiva responsabilidad mía como autor.

Ambato, Marzo 2016

EL AUTOR

.....

Edisson Patricio Bombón Lascano

C.I. 180421102-5

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2016

AUTOR

.....

Edisson Patricio Bombón Lascano

C.I. 180421102-5

DEDICATORIA

El presente trabajo fruto de mi esfuerzo, lo dedico a mi Dios padre todo poderoso y a mi madre María siempre virgen, porque fueron la luz en mi camino, que me supo guiar por el camino del bien y enseñarme que un resbalón no es una caída.

A mi madre por ser la persona más importante en mi vida, la que siempre estuvo ahí, apoyándome y dándome las fuerzas para seguir adelante y nunca darme por vencido...

A mi padre por ser el pilar más importante del hogar, y porque siempre fue más que un padre un amigo, que me supo aconsejar y encaminar por el camino del bien.

A mis hermanos que siempre me supieron aconsejar y darme las fuerzas para que hoy en día esté realizando este gran pasó en mi vida.

A mi abuelita porque siempre estuvo ahí, siendo una parte primordial en mi vida, educándome y guiándome, para ser una gran persona.

a mi abuelito que me cuida desde el cielo.

Eddie Bombón

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por regalarme el don de la vida, y cada día poder disfrutar del más grande regalo mi familia.

A mi mami Fannyta, mi padre Edison mis hermanos Kalin y Andrea, por haber estado ahí, cada día, en cada hora, minuto, segundo de mi vida, impulsándome para que consiga mis metas y no me dejarme vencer por nada ni nadie....

A la Universidad Técnica de Ambato, por haber abierto las puertas para introducirme en el camino de la ciencia, a todos y cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que me supieron impartir sus conocimientos y consejos dentro y fuera del aula.

A mi guía y mentor, Ing. Mg. Alex Mayorga, un total y grato agradecimiento por su apoyo incondicional en el transcurso de toda mi vida *Universitaria.*

ÍNDICE	PÁGINA
PAGINAS PRELIMINARES	
APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
CERTIFICACIÓN	II
AUTORIA DE TESIS.....	III
DRECHOS DE AUTOR.....	IIIV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1	Tema del trabajo experimental.....	1
1.2	Antecedentes	1
1.3	Justificación	2
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo general.....	4
1.4.2	Objetivos específicos	4

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN

2.1	Fundamentación teórica.....	5
2.1.1	Factores hidráulicos	5
2.1.2	Golpe de ariete	13
2.1.2.1	Descripción del fenómeno del Golpe de Ariete	14

2.1.2.2 Ecuaciones básicas.....	17
2.1.2.2.1 Celeridad de la onda de presión	17
2.1.2.2.1.1 Periodo de la tubería	19
2.1.2.2.2 Tiempo de apertura y cierre de la válvula.....	20
2.1.2.2.3 Sobrepresión Máxima	21
2.1.3 Válvula Solenoide o Electroválvula.....	23
2.1.4 Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)	26
2.1.5 Bombas Centrifugas	27
2.1.6 Instrumentos de Medición.....	27
2.2 Hipótesis.....	28
2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis	28
2.3.1 Variable Independiente	28
2.3.2 Variable Dependiente.....	28

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1.1 EXPLORATORIA	29
3.1.2 DESCRIPTIVA.....	29
3.1.3 CORRELACIONAL	29
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.2.1 Población.....	30
3.2.2 Muestra.....	30
3.3 Operacionalización de variables	30
3.3.1 Variable independiente	30
3.3.2 Variable dependiente.....	32
3.4 Plan de recolección de información	32
3.5 Plan Procesamiento y análisis	33
3.5.1 Estudio teórico golpe ariete.....	33
3.5.2 Selección sensor de presión	45

3.5.3 Selección sensor de flujo.....	45
3.5.4 SELECCIÓN SENSOR DE NIVEL	46
3.5.5 Selección de válvula solenoide	47
3.5.6 Selección del dispositivo de adquisición de datos.	48
3.5.7 Parámetros del sistema de bombeo y su fluido.	48
3.5.7.1 Cálculo de potencia de la bomba.	49
3.5.8 Adquisición de datos.....	54
3.5.8.1 Manual del usuario.....	54
3.5.8.2 Programación interna	60

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Recolección de datos.....	84
4.2 Análisis de resultados.....	95
4.3 Verificación de la hipótesis.....	98

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	102
5.2 RECOMENDACIONES.....	103
MATERIALES DE REFERENCIA	104
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	106

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Sistema de flujo que ilustra ecuación de energía	6
Figura 2. 2 Clasificación de los flujos Transitorios	12
Figura 2. 3 Onda de presión en cierre instantáneo de una válvula.....	14

Figura 2. 4 Mecanismo del fenómeno.....	15
Figura 2. 5 Distribución de la sobrepresión máxima en cierre rápido.	21
Figura 2. 6 Distribución de la sobrepresión máxima en cierre lento	22
Figura 2. 7 Válvula solenoide de Acción Directa (NC).....	23
Figura 2. 8 Válvula solenoide de Acción Directa (NA).....	24
Figura 2. 9 Válvula solenoide de Acción Indirecta (NC).	24
Figura 2. 10 Válvula solenoide de Acción Mixta (NC).	25
Figura 3. 1 Dimensiones embalse	46
Figura 3. 2 Identificación carpeta del ensayo	55
Figura 3. 3 Selección archivo.....	55
Figura 3. 4 Selección de Archivo.....	55
Figura 3. 5 Pantalla inicio del ensayo	56
Figura 3. 6 Pantalla programa control.....	56
Figura 3. 7 Control manual	57
Figura 3. 8 Función automático.	58
Figura 3. 9 Representación caudal	58
Figura 3. 10 Visualizador caudal y presión	59
Figura 3. 11 Funciones Borrar, Reporte y Salir.	59
Figura 3. 12 Identificación de comunicación o no con el PC.	60
Figura 3. 13 Control Sensores.....	60
Figura 3. 14 Identificación de variables a los sensores.....	61
Figura 3. 15 Identificación de escala para vectores, determinando pendiente de la recta.	62
Figura 3. 16 Actuadores para control de funcionamiento de la bomba y Válvula Solenoide.....	62
Figura 3. 17 Identificación de variable discretas para voltajes.	63
Figura 3. 18 Código para identificar y gestionar el estado y funcionamiento de la DAQ.	63
Figura 3. 19 Codificación para transformar el voltaje en información física.	64

Figura 3. 20	Registro de Almacenamiento de datos.	64
Figura 3. 21	Ciclo verdadero para almacenamiento de datos.	65
Figura 3. 22	Ciclo verdadero para reinicio del sistema.	65
Figura 3. 23	Ciclo Verdadero para elaboración de Reportes.	66
Figura 3. 24	Análisis Estadístico de los tres sensores para elaboración de reporte. ..	66
Figura 3. 25	Icono para CREAR archivo en Excel.	67
Figura 3. 26	Encabezado reporte.....	67
Figura 3. 27	Configuración de parámetros de estilo en Excel.	68
Figura 3. 28	Coordenadas para ubicación del título en el reporte de Excel.....	68
Figura 3. 29	Configuración de fecha y hora de ejecución del ensayo; y quien lo ejecuto.	69
Figura 3. 30	Configuración de datos escritos con la hora y fecha de estudio.....	69
Figura 3. 31	Vinculación de reporte para cada sensor.	69
Figura 3. 32	Configuración de datos de referencia en la gráfica.	70
Figura 3. 33	Programación de variantes de presión.	70
Figura 3. 34	Valores de presiones y caudal transformadas en texto.	71
Figura 3. 35	Explorador de documento de Windows.....	71
Figura 3. 36	Código para gestionar errores entre LabVIEW y Excel.	72
Figura 3. 37	Formula para transformar unidades.	72
Figura 3. 38	Registro de Parámetros con inicio cero.	72
Figura 3. 39	Dato de Salida.....	73
Figura 3. 40	Enlace de vectores con valor cero.	73
Figura 3. 41	Separador de señales de los sensores.....	73
Figura 3. 42	Análisis de presión inicial.....	74
Figura 3. 43	Análisis de presión de descarga.....	74
Figura 3. 44	Análisis de presión de final	74
Figura 3. 45	Estudio estadístico de los valores obtenidos.	75
Figura 3. 46	Obtención de datos.	75
Figura 3. 47	Media aritmética de cada una de las tres fases.	76
Figura 3. 48	Configuración de variables a cero previo al inicio Automático.	77
Figura 3. 49	Selección de Caudal.	77

Figura 3. 50 Análisis de columna de agua.	78
Figura 3. 51 Verificación de columna de agua parte verdadera.....	78
Figura 3. 52 Verificación de columna de agua parte Falsa.	79
Figura 3. 53 Adquisición de datos previos a la apertura de la válvula solenoide.	80
Figura 3. 54 Adquisición de datos en apertura de válvula solenoide.....	80
Figura 3. 55 Adquisición de datos en cierre de válvula solenoide.....	81
Figura 3. 56 Ejecución de reporte en modo automático.	81
Figura 3. 57 Ventana de componentes del Software.....	82

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 3. 1 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02s$	35
Gráfico 3. 2 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02s$	36
Gráfico 3. 3 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02s$	37
Gráfico 3. 4 Gráfica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.	38
Gráfico 3. 5 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.	39
Gráfico 3. 6 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.	40

Gráfico 3. 7 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 4m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.	41
Gráfico 3. 8 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L= 4m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.	42
Gráfico 3. 9 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L= 4m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.	43
Gráfico 3. 10 Grafica del Caudal vs Sobrepresión máxima con longitud de tubería de $L= 4m$, $d = 1$ pulg.....	43
Gráfico 4. 1 Curva de presión máxima Teórica y Experimental a caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Valores de K según el tipo de material.	19
Tabla 2. 2 Valores de tiempos de apertura y cierre según el orificio.	25
Tabla 2. 3 Presión de trabajo para diferentes diámetros de tubería.....	26
Tabla 3. 1 Operacionalización de la variable independiente.....	31
Tabla 3. 2 Operacionalización de la variable dependiente.....	32
Tabla 3. 3 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.....	34
Tabla 3. 4 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q= 0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.....	35
Tabla 3. 5 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de	

Q= 0,5 lt/s, longitud de tubería de L= 6m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s.....36

Tabla 3. 6 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de Q= 0,3 lt/s, longitud de tubería de L= 5m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s. 37

Tabla 3. 7 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de Q= 0,4 lt/s, longitud de tubería de L= 5m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s. 38

Tabla 3. 8 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de Q= 0,5 lt/s, longitud de tubería de L= 5m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s. 39

Tabla 3. 9 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de Q= 0,3 lt/s, longitud de tubería de L= 4m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s. 40

Tabla 3. 10 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de Q= 0,4 lt/s, longitud de tubería de L= 4m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s. 41

Tabla 3. 11 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de Q= 0,5 lt/s, longitud de tubería de L= 4m, k = 33,33 y un tiempo de cierre de válvula de t = 0,02 s. 42

Tabla 3. 12 Valores para el dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico 44

Tabla 3. 13 Valores de Pmax para diferentes caudales con longitud de tubería de 4m. 45

Tabla 3. 14 Características del sensor de presión. 45

Tabla 3. 15 Características del sensor de flujo 46

Tabla 3. 16 Características del sensor de nivel 47

Tabla 3. 17 Características de la Válvula Solenoide. 48

Tabla 3. 18 Propiedades del agua. 49

Tabla 4. 1 Tabla de valores de presión para caudal de 0,3 lt/s en los tres sensores...95

Tabla 4. 2	Tabla de valores de presión para caudal de 0,3 lt/s en los tres sensores...	96
Tabla 4. 3	Tabla de valores de presión para caudal de 0,3 lt/s en los tres sensores. .	96
Tabla 4. 4	Comparación de valores teóricos y prácticos de presiones máximas.	97
Tabla 4. 5	Variación de Presión Máxima Teórica con la Experimental a caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.	97
Tabla 4. 6	Variable 1 y 2 para el T- Student	101
Tabla 4. 7	Variable 1 y 2 para el T- Student	101

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal estudiar el fenómeno del golpe de ariete producido por la apertura cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC) para determinar la variación de presión en la misma, para lo cual se realizó un estudio teórico previo para encontrar las mejores condiciones de funcionamiento del banco de pruebas hidráulico y poder replicar el fenómeno en la tubería.

Del estudio teórico se pudo deducir que para poder replicar el fenómeno del golpe de ariete en la tubería se debería utilizar tubería de diámetro de 1 pulgada y con una longitud de impulsión de 4 metros, con caudales constantes de 0,3-0,4 y 0,5 litros por cada segundo.

El banco de pruebas Hidráulico fue construido con tubo estructural cuadrado de 1 pulg. con dimensiones de 3,2 m de altura para que la longitud de la tubería de impulsión sea de 4 m, con bancadas de 1,46 m y 0,89 m de altura respectivamente, para prevenir que exista oscilación de la tubería en el transcurso del fenómeno al momento del cierre de la válvula solenoide.

Como instrumentos de medición se utilizaron un sensor de caudal, un sensor de nivel, tres sensores de (0-5BAR) de presión que fueron colocados según la norma ISO 9906, y para adquisición de datos una tarjeta DAQ de 32 bits, los datos obtenidos por el software previamente elaborado en LabVIEW, fueron que a un caudal de 0,3 lt/s se puede tener una sobrepresión máxima en la tubería de 3,019[Bar], a un caudal de 0,4 lt/s se puede tener una sobrepresión máxima de 3,672[Bar] y a un caudal de 0,5 lt/s se puede tener una sobrepresión máxima de 4,470 [Bar].

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo experimental

ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO POR LA APERTURA Y CIERRE DE UNA VÁLVULA SOLENOIDE EN TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN LA TUBERÍA.

1.2 Antecedentes

Según Bahamonde Noriega Juan Sebastián en su proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, **DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍAS DE PRESIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**, concluyó que para el cálculo del fenómeno Golpe de Ariete existe diferencias en las soluciones entre el método de la columna elástica de agua y el método de las características. Esto se manifiesta en el método de las características dando un valor que con el de la columna elástica de agua, es decir que son menores cuando se toma en cuenta la fricción, siendo esta diferencia despreciable por las grandes presiones a las que está expuesta la válvula.

Según Lozada Fiallos Jessica María en su proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, **ANÁLISIS DE FLUJO NO PERMANENTE EN TUBERÍAS DE PRESIÓN PARA APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS**, concluyo que en tuberías a presión para aprovechamientos hidroeléctricos mediante el programa SURGE 2008, el fenómeno transitorio (Golpe de Ariete) es necesario asumir que el elemento fluido – tubería es un sistema elástico, tomando como elemento compresible al fluido y la tubería como dilatante, para que el fenómeno sea progresivo y exista una variación de presión de valor máximo.

Según María José Espinosa Gómez y David Eduardo Villota Chicaiza en su proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, **PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL BARRIO SAN MIGUEL DE PAQUIESTANCIA DEL CANTÓN CAYAMBE UBICADO A 3200 M.S.N.M**, concluyen que la bomba de ariete permite elevar el agua a grandes alturas gracias a la energía que produce la caída de agua, y que el fenómeno producido por el fluido dentro de la bomba de ariete puede ser simulado en tiempo real mediante el software ANSYS específicamente Fluid Flow (CFX).

Según Darío Nicolás Calderón Vásquez y Diego Fernando Enríquez Paredes, en su proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, **DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA HOJA DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CHIMENEAS DE EQUILIBRIO**, concluyen que en maniobras de cierre de válvula el pico máximo en las oscilaciones y posteriormente las oscilaciones se irán amortiguando hasta que estas paren mientras que para maniobras de apertura el pico mínimo en las oscilaciones será el primero y posterior las oscilaciones se irán amortiguando hasta que estas paren.

Según Galarza Chacón Raúl Fernando, en su trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, **ESTUDIO DE FACTORES HIDRÁULICOS EN UNA BOMBA DE ARIETE Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA**, concluye que mediante el estudio de diferentes modelos matemáticos concernientes al medio de operación del diseño hidráulico de la bomba de ariete los factores que influyen son netamente del ciclo teórico. La tubería de impulsión es muy importante tanto en su material para obtener un valor más alto de celeridad, como su ángulo de inclinación que mientras más cercano este a los 10° es mucho mejor ya que estos valores van a proporcionar un correcto funcionamiento del sistema.

1.3 Justificación

El presente estudio se justifica ya que el golpe de ariete es un fenómeno muy importante que se produce desde la propagación y generación de ondas de presión que ocurren como

resultado de un disturbio en el sistema de tuberías (apertura y cierre de válvulas, encendido de bombas, etc.), por lo que debemos tener presente que su frecuencia es importante y no un fenómeno eventual. [1]

Según Soriano al cerrar una válvula de forma instantánea, interrumpiendo la circulación del fluido, se genera una parada en seco de la primera sección de fluido, a continuación se para la siguiente sección infinitesimal, que retorna por gravedad comprimiendo a la primera, propagándose este efecto sucesivamente. Lo que ocurre en definitiva es que ese súbito aumento de presión ocasionado, se propaga aguas arriba como una onda sónica, lo cual produce un pico de presión mucho mayor de la presión de trabajo normal de la canalización. Estas sobrepresiones, por tanto, deben ser tomadas en cuenta en el dimensionado de la instalación hidráulica. [2]

El efecto del golpe de ariete causa daños en cadena, es decir que puede causar daños a componentes que no están necesariamente en contacto con el sistema de tubería. Es muy importante entender bien este fenómeno para así evitar costos extensos en reparaciones, paros en las operaciones y fatalidades humanas. [3]

El golpe de ariete en ocasiones causa daños costosos a las tuberías, turbinas, bombas y en general a la estructura del sistema. Esto a su vez provoca una cesación de operaciones del sistema lo cual lleva a un paro temporal de las funciones para la cual fue diseñado el sistema. El golpe de ariete a más de causar daños en la infraestructura del sistema también ha causado en ocasiones accidentes en los cuales se han perdido vidas humanas.

Es uno de los problemas más frecuentes de la hidráulica, y se resuelve generalmente mediante modelos matemáticos que permiten simular el comportamiento del sistema. [4]

Al estudiar el fenómeno de una manera experimental tomando datos reales se podrá complementar los conocimientos teóricos adquiridos en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ya que en si este fenómeno no ha sido susceptible de estudio de una manera practica en los laboratorios de la FICM.

Es por ello que por medio del presente proyecto de investigación se permitirá llegar a tener una mejor comprensión del fenómeno.

El presente estudio es susceptible de ejecutarse ya que se cuenta con el suficiente periodo de tiempo para realizar la experimentación del fenómeno en la de tubería de policloruro de vinilo (PVC) y a su vez se dispone de los recursos necesarios para su desarrollo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estudiar el golpe de ariete producido por la apertura y cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC) para determinar la variación de la presión en la tubería.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el tiempo máximo de reflexión de la onda de sobrepresión.
- Determinar la celeridad de la onda de presión producida por el fenómeno del golpe de ariete en el sistema hidráulico.
- Construir un banco de pruebas hidráulico que genere el golpe de ariete por la apertura y cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC).
- Identificar cómo influye el golpe de ariete producido por apertura y cierre de una válvula solenoide en la tubería de policloruro de vinilo (PVC).
- Obtener las gráficas de sobrepresión producidas por el golpe de ariete.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación Teórica

2.1.1 Factores hidráulicos

Según lo indica Streeter, en el flujo permanente e incompresible del agua en una tubería, se expresan las irreversibilidades o pérdidas en función de las pérdida de energía o caída de las línea de alturas piezométricas, que es la representación de la presión sobre el peso específico (P/γ) del líquido a lo largo de la tubería. [5]

Tasa de flujo de un fluido

Es la cantidad de fluido que pasa en un determinado tiempo y puede expresarse de la siguiente manera.

Q: Se le denomina caudal o flujo volumétrico por ser el volumen de un fluido en una sección por unidad de tiempo.

W: El peso de un fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

M: Es la masa de un fluido que circula por una sección por unidad de tiempo.

El caudal es uno de los parámetros más importantes de estudio que se denota en la siguiente formula. [6]

$$Q = A * V \qquad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

Q: Caudal o flujo volumétrico. [m^3/s]

A: Área de sección transversal donde circula el fluido. [m^2]

V: Velocidad promedio del flujo. [m/s]

Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema se denotan en términos de energía por unidad por unidad de peso del fluido que circula por él. Se le define con la letra “h”.

Ecuación General de la Energía.

La ecuación de energía o ecuación de Bernoulli, nos permite resolver un sin mundo de problemas en los que existe pérdida y ganancia de energía.

$$\dot{E}_1 + h_A - h_R - h_L = \dot{E}_2 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

De la Ecuación 2.2 podemos observar que los términos \dot{E}_1 y \dot{E}_2 denotan la energía que posee el fluido por unidad de peso en las secciones 1 y 2 respectivamente, y energías agregadas de ganancias y pérdidas (h_A , h_R y h_L) en un sistema de conservación de energía. [6]

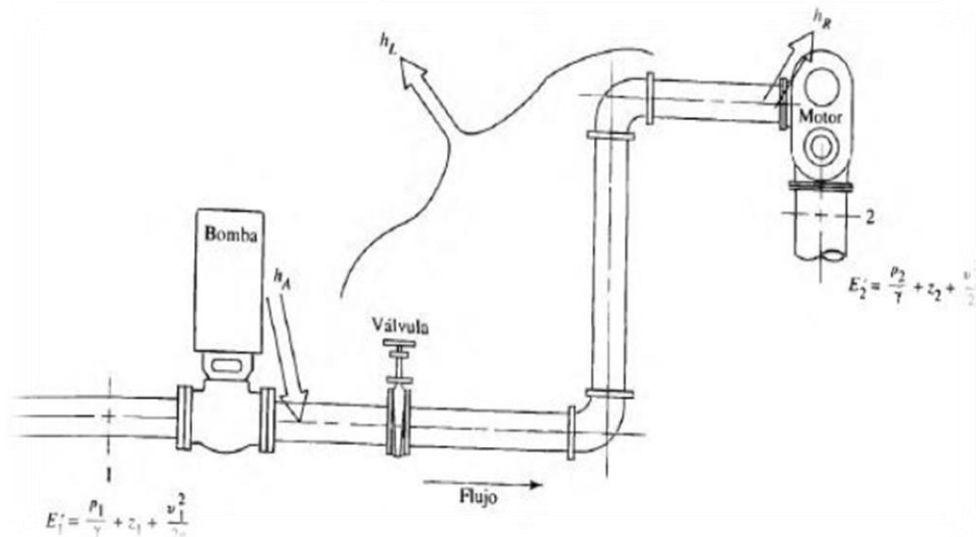


Figura 2. 1 Sistema de flujo que ilustra ecuación de energía [6]

La ecuación que define a un fluido por unidad de peso es la siguiente:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 - h_f = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

$\frac{P}{\gamma}$ = Carga de presión del Sistema.

z = Carga de elevación del flujo.

$\frac{V}{2g}$ = Carga de velocidad del flujo.

h_a = Energía agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico. (Bomba).

h_R = Energía retirada al fluido mediante un dispositivo mecánico. (Motor).

h_L = Energía que pierde el sistema debido a la fricción que se produce en las paredes del conductor, o pérdidas menores debido a la presencia de válvulas y conectores.

Siendo muy fundamental que esta ecuación se utilice teniendo en cuenta el sentido del flujo, tomando de referencia de izquierda a derecha.

Pero antes de inmiscuirnos más en lo que es las pérdidas de energías debemos tener en cuenta cierto parámetro que nos permita deducir cuando un fluido es turbulento o laminar y se lo conoce como número de Reynolds y se lo puede entender de la siguiente denotación científica.

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

Si $NR > 2000$, el flujo es turbulento.

El número de Reynolds es adimensional, y es fundamental en el estudio y cálculo de mecánica de fluidos. Para su mejor entendimiento se expresara su fórmula a continuación y mediante la sustitución de unidades (SI) se demostrara que el NR es adimensional. [6]

$$NR = \frac{V * D * \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$NR = \frac{\frac{m}{s} * m * \frac{Kg}{m^3}}{\frac{Kg * m}{s}}$$

$$NR = \frac{\frac{Kg}{m * s}}{\frac{Kg * m}{s}}$$

Donde:

V = Velocidad con la que se traslada el fluido en un instante de tiempo.

D = Diámetro de la sección que conduzca el fluido

ρ = Densidad del Fluido.

n = Viscosidad dinámica del Fluido.

Según lo entendido y explicado anteriormente la ecuación quedaría expresada de la siguiente manea.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Y esta se la conoce como la ecuación general de la energía o y es la base del cálculo de pérdidas de energía en el interior del sistema de ductos y válvulas.

Para determinar la perdida por fricción h_L , siendo esta proporcional a la carga de la velocidad de flujo y la relación de la longitud al diámetro de la corriente en tuberías y tubos, se expresa en forma matemática como la ecuación de Darcy. [6]

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

h_L : Perdida de energía debido a fricción. [N-m/N; lb-ft/lb o ft]

D: Diametro de la tubería. [m o ft]

L: Longitud de la corriente de flujo [m o ft]

V: Velocidad Promedio del flujo. [m/s, ft/s]

f: Factor de fricción. [Adimensional]

Esta ecuación se utiliza para calcular las pérdidas de energía por fricción, en secciones rectilíneas y secciones largas de tubería. [6]

Ecuación para factor de fricción.

Para una zona de flujo laminar se determina de la siguiente forma.

$$f = \frac{64}{NR} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Para flujo turbulento cuando el $NR > 4000$ se calcula de la siguiente forma.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) + \frac{5,74}{NR^{0,9}}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

D: Diámetro de la sección transversal que circula el fluido.

ε : Rugosidad del material.

$\frac{D}{\varepsilon}$: Se denomina rugosidad relativa del material.

NR: Numero de Reynolds.

Perdidas Menores

Coefficiente de Resistencia.

Las pedidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por los diferentes accesorios, tramos del ducto o medios de contracción del flujo, los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de coeficiente de resistencia K como se muestra a continuación:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

h_L : Perdida Menor

K: Coeficiente de Resistencia.

V: Velocidad promedio donde se produce la perdida de energía.

El coeficiente K es un valor adimensional ya que representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de energía y la carga de velocidad.

Para el valor de K coeficiente de resistencias para válvulas y acoplamientos según el tipo de entrada se lo puede encontrar en el Anexo B. [6]

Coefficiente de Pérdidas para Válvulas y Acoplamientos.

El método de cálculo para este estudio es similar al anterior y se utiliza la misma ecuación solo que en este caso varia el método de cálculo de K, ya que se reporta de la siguiente manera.

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right)f_t \quad \text{Ecuación 2.10}$$

En el Anexo C se puede observar la tabla en la que se encuentra detallado el valor $\frac{L_e}{D}$, llamado relación de Longitud Equivalente y son constantes para los diferentes tipos de válvula y acoplamientos.

Los valores de f_t varían según el diámetro de la tubería y la válvula, como se lo puede apreciar en el Anexo D. [6]

Potencia Bomba Agregada al Fluido.

Potencia es la rapidez con la que se transmite la energía puede estar expresada en el Sistema Internacional en Watts [W], y sus equivalentes [N-m/s; J/S].

El cálculo de potencia de la bomba viene definido por la siguiente Ecuación, la cual parte de los conceptos básicos adquiridos anteriormente. [6]

$$P_A = h_A * \gamma * Q \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

h_A : Carga Total Sobre la Bomba o Carga Dinámica Total.

γ : Peso Específico del Fluido.

Q : Flujo Volumétrico del Fluido.

Flujo Permanente o Estacionario

Es aquel en que las condiciones de movimiento del fluido y sus propiedades en cualquier punto del sistema no varían con el tiempo, o sus variaciones son pequeñas con respecto a su valor medio.

Las expresiones analíticas que definen el concepto son las siguientes:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \text{Constante} \quad \text{Ecuación 2-12}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0; \frac{\partial T}{\partial t} = 0; \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \text{Ecuación 2-13}$$

Donde:

dV = variación de velocidad

dt = variación de tiempo

dv = variación de viscosidad

dT = variación de temperatura

dρ = variación de densidad

Flujo No permanente o Transitorio

El flujo es no permanente cuando las condiciones de movimiento y sus propiedades si varían con el tiempo.

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq \text{Constante} \quad \text{Ecuación 2-14}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial T}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial \rho}{\partial t} \neq 0 \quad \text{Ecuación 2-15}$$

A los flujos no permanentes o transitorios se los clasifica como se indica en la figura 2.2.

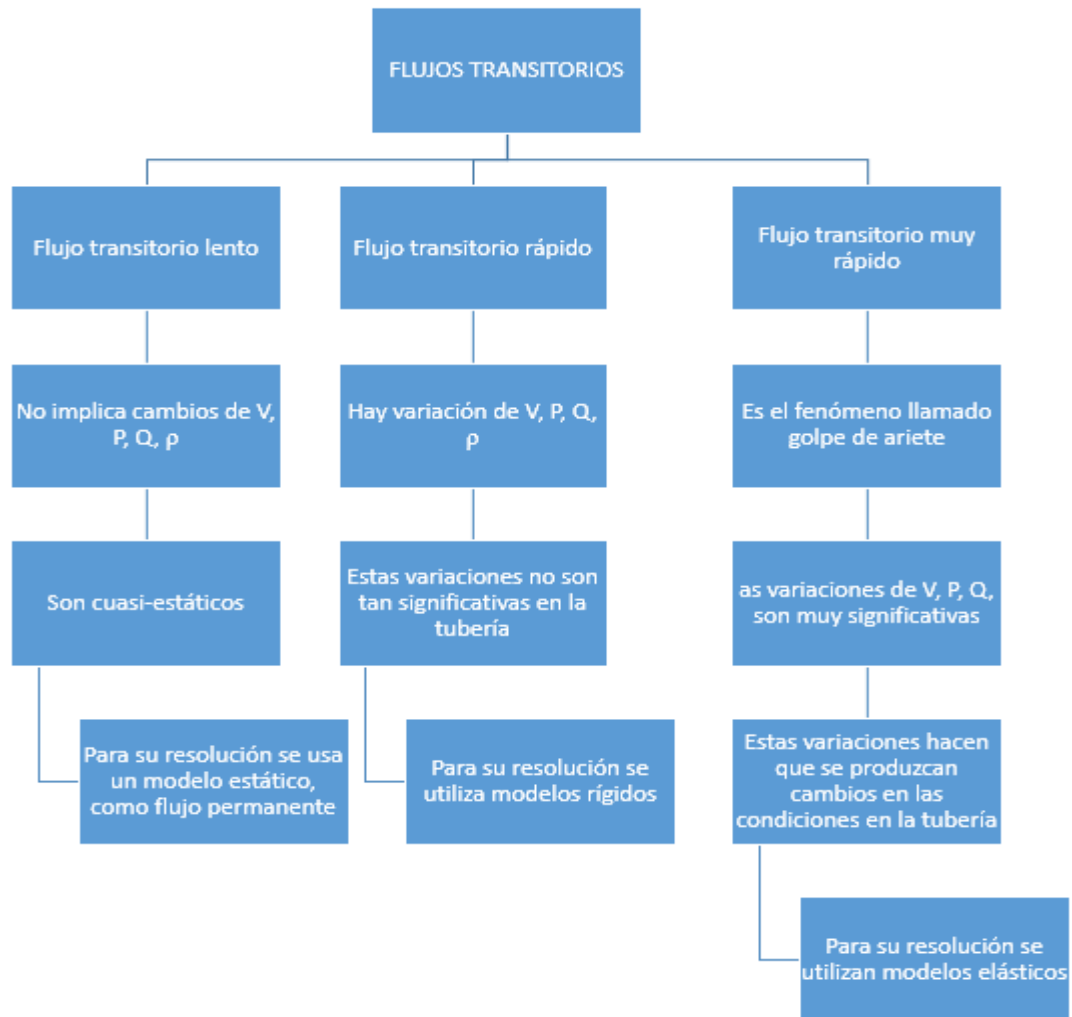


Figura 2. 2 Clasificación de los flujos Transitorios. [7]

Para el presente estudio se tomara como flujo transitorio muy rápido ya que se desea estudiar el fenómeno del golpe de ariete.

Flujo Incompresible

Se le conoce como flujo incompresible a todo flujo que mantiene su densidad relativamente constante en el tiempo, mientras se mueve en un cierto campo de flujo.

Tanto los flujos líquidos como los gases son considerados como flujos incompresibles.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Ecuación 2-16

Flujo Compresible

Es todo flujo que varía su densidad en el tiempo, en un cierto campo de flujo. Siendo estas variaciones considerables tanto en gases como en líquidos produciendo variaciones de presión a lo largo de la tubería conociéndole a este fenómeno como Golpe de Ariete. [8]

2.1.2 Golpe de Ariete

El golpe de ariete o martillo de ariete es el fenómeno de estado estable que se encarga del cambio de energía cinética y de presión que se producen en la tubería debido al incremento y decremento de la velocidad del flujo el cual puede ser positivo o negativo.

Algunas de las causas del golpe de ariete son:

- Cambios en la abertura de la válvula, accidental o planeado.
- Arranque o interrupción de bombas.
- Cambios en la demanda de potencia de turbinas.
- Cambios de elevación del embalse.
- Vibración de impulsores en bombas, ventiladores o turbinas.

El fenómeno consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, y se puede producir tanto por impulsiones como por abastecimientos por gravedad.

Pero no obstante si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al llegar la fase de sobrepresión estas tuberías se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso que el valor de sobrepresión producida rebase a la del cálculo.

Para el presente estudio se tomará en cuenta el momento cuando se realiza súbitamente el cierre de una válvula, presentado por un golpe de ariete positivo o sobrepresión.

Para el estudio de este fenómeno se tendrá que abandonar las dos hipótesis normalmente utilizadas en la mecánica de fluidos: fluido incompresible y flujo permanente. Debido a que el golpe de ariete es un fenómeno transitorio y por lo tanto de régimen variable, con tubería elástica y fluido compresible.

La figura 2.3 representa una tubería con una cierta longitud L , espesor b y diámetro interior D , por la cual circula agua proveniente de un embalse terminando en su extremo derecho con una válvula. Al cerrar dicha válvula rápidamente la energía cinética se va transformando en trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y en el trabajo necesario para dilatar dicha tubería; se ha producido el golpe de ariete o sobrepresión. [9]

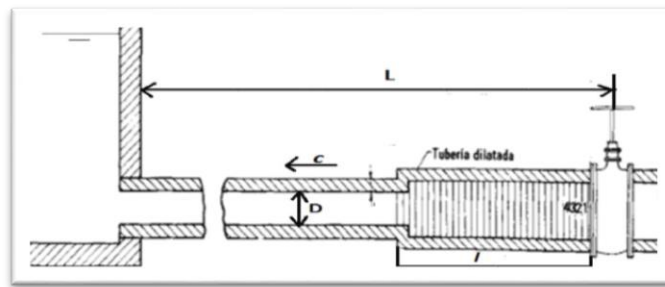


Figura 2. 3 Onda de presión en cierre instantáneo de una válvula. [9]

2.1.2.1 Descripción del fenómeno del Golpe de Ariete

Con el objetivo de analizar el fenómeno físicamente se estudiará el caso del cierre instantáneo de una válvula que en este presente proyecto será una válvula solenoide, el que a pesar de ser una abstracción teórica, posibilita una mayor y fácil comprensión del problema.

Se dice que el cierre instantáneo es una abstracción debido a que por más rápido que sea el órgano de cierre siempre demandará un tiempo para la obturación del caudal.

En la figura 2.4 se presenta una serie de secuencias de dibujos en los cuales se podrá entender de mejor manera el fenómeno del golpe de ariete.

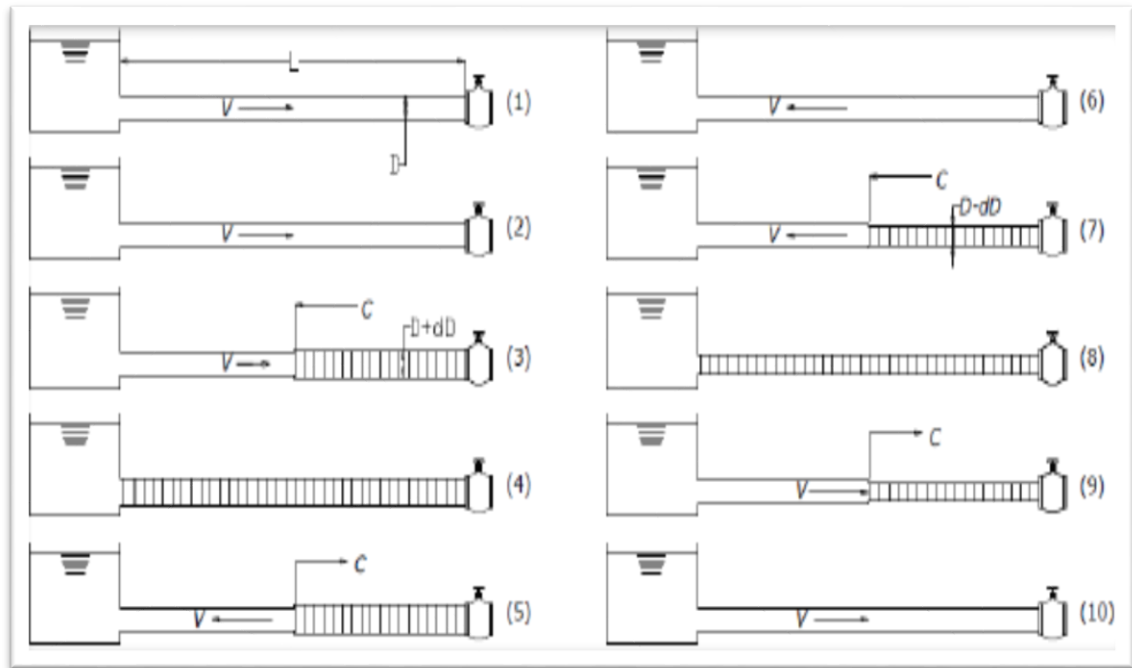


Figura 2. 4 Mecanismo del Fenómeno. [8]

La figura está delimitada por un diámetro D y longitud L el cual se encuentra conectado a un embalse de capacidad infinita.

1. No hay perturbación: el régimen es permanente ya que el fluido dentro de la tubería se transporta con normalidad con velocidad “ V ” del embalse hacia la válvula.
2. Tiempo 0: la válvula se cierra instantáneamente y por lo tanto la velocidad “ V ” del líquido se anula, no instantáneamente a partir de la válvula, en toda la tubería.
3. Tiempo $\frac{t_0}{2} = \frac{1}{2} \frac{L}{C}$: La onda de presión se ha propagado hacia el embalse con celeridad “ C ” y el frente de onda ha llegado a la mitad de la tubería, mitad derecha de la tubería dilatada por la sobrepresión “ $V=0$ ”, mitad izquierda diámetro normal, el fluido se encuentra circulando con velocidad “ V ” hacia la válvula.
4. Tiempo $t_0 = \frac{L}{C}$: La onda de presión ha llegado a todo el embalse. En toda la tubería se encuentra el líquido en reposo, “ $V=0$ ” pero no en equilibrio con toda la tubería dilatada. Como un resorte que cumple su proceso de expansión el agua dentro de la

tubería empieza a moverse con velocidad “V” con dirección contraria al de la figura 2.3 (1). El líquido empieza a ponerse en movimiento empezando por decirlo así, desde las rodajas contiguas al estanque.

5. Tiempo $\frac{3}{2}t_0 = \frac{3L}{2C}$: La mitad izquierda de la tubería se ha contraído a su diámetro normal. La onda de celeridad sigue propagándose hacia la derecha con velocidad “C”. en la mitad izquierda de la tubería el fluido sigue circulando con velocidad “V”.
6. Tiempo $2t_0 = 2\frac{L}{C}$: El diámetro de toda la tubería se encuentra normal y todo el fluido se encuentra en movimiento desde la válvula hacia el embalse con velocidad “V” o sea en sentido contrario al de las figuras 2.3 (1,2 y 3). No hay sobrepresión en ningún punto de la tubería pero por la inercia, la presión aun continua disminuyendo y por tanto la onda elástica se sigue propagando con velocidad “C” y por ende el diámetro de la tubería ira disminuyendo por debajo de su diámetro normal.
7. Tiempo $\frac{5}{2}t_0 = \frac{5L}{2C}$: La depresión ha alcanzado la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo a presión más baja que lo normal. El diámetro en esta sección de la tubería es mucho menor que el normal.
8. Tiempo $3t_0 = 3\frac{L}{C}$: El agua en toda la tubería se encuentra en reposo pero no en equilibrio; realizando su movimiento con velocidad “V” desde el embalse hacia la válvula. Siendo el diámetro de toda la tubería inferior al normal y reinando la depresión en toda la tubería.
9. Tiempo $\frac{7}{2}t_0 = \frac{7L}{2C}$: En la mitad izquierda de la tubería se encuentra en movimiento el fluido con velocidad “V” hacia la válvula mientras que en la mitad derecha el líquido continúa en reposo y en depresión. La velocidad “V” y “C” tienen el mismo sentido.
10. Tiempo $4t_0 = 4\frac{L}{C}$: El diámetro de la tubería se encuentra normal y el fluido se encuentra dirigido hacia la válvula con velocidad “V”, como se pudo observar en el tiempo 0.

Luego el periodo de este movimiento es:

$$T = 4t_0 = 4\frac{L}{c} \qquad \text{Ecuación 2-17}$$

Se puede decir que teóricamente este movimiento oscilatorio continuará indefinidamente.

Pero prácticamente la deformación de la tubería y la viscosidad del fluido disipan la energía y por ende las oscilaciones se amortiguan. [8]

2.1.2.2 Ecuaciones Básicas

2.1.2.2.1 Celeridad de la onda de presión

La celeridad de la onda de sobrepresión es la velocidad con la que alcanza en trasladarse de un punto hacia a otro dentro de la tubería, dependiendo de la geometría y el material de la tubería, así como de las propiedades elásticas del fluido es decir la viscosidad.

Es decir los parámetros influyentes son:

- Geometría. Circular, rectangular, etc.
- Condiciones de borde: extremos anclados, enterrados, anclados con juntas de dilatación.
- Materiales: PVC, hierro dúctil, hierro fundido, acero, hormigón, roca.

Para nuestro estudio se tendrá presente los siguientes parámetros:

- Geometría: Circular.
- Condiciones de borde Extremos anclados.
- Material: PVC.

Por lo tanto tomando en cuenta los parámetros antes mencionados se considerarán las siguientes ecuaciones.

La celeridad de la onda de sobrepresión para tuberías de pared delgada se la puede calcular por medio de la siguiente fórmula. [9]

$$C = \sqrt{\frac{E_v/\rho}{1 + \left(\frac{E_v}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)}} \quad \text{Ecuación 2-18}$$

C: Velocidad de onda de presión. [m/s]

E_v : Modulo de elasticidad volumétrico del agua. [Pa ó KPa]

ρ : Densidad del flujo. [Kg/m³]

E: Modulo de elasticidad de Young de la tubería. [Pa ó KPa]

D: Diámetro exterior de la tubería. [mm]

e: espesor de la pared del tubo. [mm]

Una expresión para una evaluación rápida propuesta por Allievi para el cálculo de celeridad sabiendo que el fluido circulante es agua, es la siguiente:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k \frac{D}{e}}} \quad \text{Ecuación 2-19}$$

Donde:

k: coeficiente en función del módulo de elasticidad (ϵ) del material del que está constituido la tubería.

D: Diámetro interior de la tubería.

e. espesor de la pared del tubo

$$k = \frac{10^{10}}{\epsilon} \quad \text{Ecuación 2-20}$$

Tabla 2. 1 Valores de K según el tipo de material. [10]

Material de la tubería	ϵ [Kg/m ²]	k
Palastros de hierro y acero	2×10^{10}	0,5
Fundición	1×10^{10}	1
Hormigón (sin armar)	2×10^9	5
Fibrocemento	$1,85 \times 10^9$	5,5
PVC	3×10^8	33,33
PE baja densidad	2×10^7	500
PE alta densidad	9×10^7	111,11

2.1.2.2.1.1 Periodo de la tubería

El periodo o fase de la tubería, es el tiempo que tarda en ir y volver la onda de sobrepresión de una extremidad a otra, generalmente entre una válvula de cierre y el tanque de carga.

Para este estudio se utilizará la siguiente fórmula ya que en el presente proyecto no se encuentran instaladas chimeneas de equilibrio.

$$T = \frac{2L}{c} \quad \text{Ecuación 2-21}$$

T: Periodo de la tubería, tiempo máximo de reflexión de la onda de sobrepresión.

L: Longitud de la tubería.

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

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{A_{ch}L}{gA_c}} \quad \text{Ecuación 2-22}$$

A_c = Área transversal de la conducción

A_{ch} = Área transversal de la chimenea

g = Aceleración de la gravedad

El objetivo de la chimenea de equilibrio o almanera, es recibir la sobrepresión causada por el cierre (o apertura) de las válvulas o compuertas instaladas en una conducción. La onda penetra en ella elevando el nivel de agua hasta una sobre – elevación de la estática.

2.1.2.2 Tiempo de apertura y cierre de la válvula

Es un factor muy importante de determinar ya que mediante este se puede saber si la apertura (o cierre) es rápido o lento. Si el cierre es muy rápido, la válvula quedará completamente cerrada antes de actuar la onda de sobrepresión, en caso contrario si el cierre fuese demasiado lento la onda tendrá tiempo para desplazarse de un extremo hacia el otro, antes del cierre total de la válvula.

De lo cual se pueden tener dos tipos de cierres:

- Cierre Rápido

$$t_c < T \quad \text{Ecuación 2-23}$$

t_c : tiempo de cierre de la válvula [s]

- Cierre Lento

$$t_c > T \quad \text{Ecuación 2-24}$$

Si el tiempo que demora una onda de presión en realizar la respectiva maniobra es mayor a $\frac{2L}{c}$ entonces se puede llegar a la conclusión que la onda ha llegado nuevamente a la válvula y sin embargo la maniobra en la válvula aún no ha concluido su operación.

Tiempo de maniobra rápida

$$T \leq \frac{2L}{c} \quad \text{Ecuación 2-25}$$

Tiempo de maniobra lenta

$$T \geq \frac{2L}{c} \quad \text{Ecuación 2-26}$$

2.1.2.2.3 Sobrepresión Máxima

La sobrepresión máxima es aquella que se produce cuando la maniobra del cierre de la válvula es rápida, es decir cuando no se da tiempo para que la onda de sobrepresión se desplace desde la válvula hasta el depósito y regrese.

- **Cierre rápido**

La sobrepresión máxima en la válvula se puede calcular mediante la siguiente ecuación de Allievi.

$$h'_{max} = \Delta h = \frac{cV}{g} \quad \text{Ecuación 2-27}$$

h'_{max} : sobrepresión máxima o aumento de presión para cierre rápido

V: Velocidad del flujo en la conducción.

A lo largo de la tubería la sobrepresión se distribuye conforme se observa en la figura 2.5.

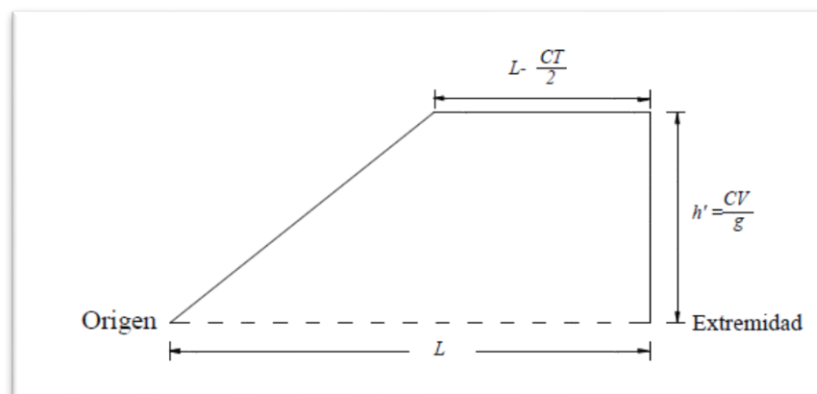


Figura 2. 5 Distribución de la sobrepresión máxima en cierre rápido. [11]

- **Cierre Lento**

La sobrepresión máxima en la válvula se puede calcular mediante la siguiente ecuación de Michaud que considera la proporción de la velocidad con T/t_c .

$$h'_{max} = \Delta h = \frac{CVT}{gt_c} \quad \text{Ecuación 2-28}$$

Remplazando la ecuación 2-10 en la ecuación 2-17 se obtiene lo siguiente.

$$h'_{max} = \Delta h = \frac{CV \frac{2L}{C}}{gt_c}$$

$$h'_{max} = \Delta h = \frac{2LV}{gt_c} \quad \text{Ecuación 2-29}$$

h'_{max} : sobrepresión máxima o aumento de presión para cierre rápido

V: Velocidad del flujo en la conducción.

A lo largo de la tubería la sobrepresión se distribuye conforme se observa en la figura 2.6.

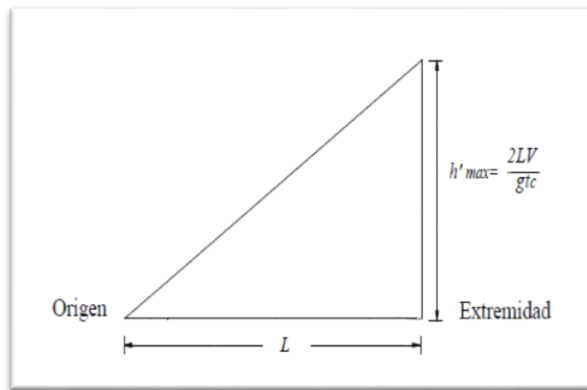


Figura 2. 6 Distribución de la sobrepresión máxima en cierre lento. [11]

La ecuación de Michaud también puede ser aplicada para la determinación del cierre a ser adoptado para que no se sobrepase un valor de sobrepresión límite establecido.

Esta fórmula arroja valores superiores obtenidos experimentalmente pero sin embargo se sigue usando por su sencillez y por resultar segura en el diseño.

2.1.3 Válvula Solenoide o Electroválvula

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el paso del flujo (ON-OFF). Están diseñadas para ser utilizadas con diferentes tipos de fluidos como agua, gas, gas combustible, vapor entre otros.

Son fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC, dependiendo del flujo que se vaya a utilizar.

Dependiendo del trabajo que vayan a realizar pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada pudiendo ser además cada una de estas categorías normalmente abiertas (NA), normalmente cerradas (NC).

Acción Directa

Es cuando el comando eléctrico acciona directamente la apertura o cierre de una válvula.

La diferencia entre la válvula NA y NC es que cuando la válvula NC no está energizada el embolo está en una posición que bloquea el orificio de tal manera que impide el flujo del fluido y cuando se energiza la bobina el embolo es magnetizada de tal manera que se desbloquea el orificio y de esta manera fluye el fluido mientras que la NA cuando la bobina no está energizada mediante la acción de un resorte el embolo se mantiene en tal posición que siempre está abierta y cuando se energiza la bobina la acción es hacia abajo empujando el resorte haciendo que cierre el orificio e impida que fluya el fluido.

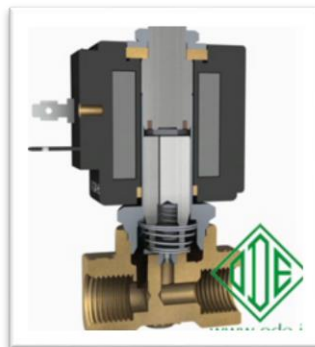


Figura 2. 7 Válvula solenoide de Acción Directa (NC). [12]

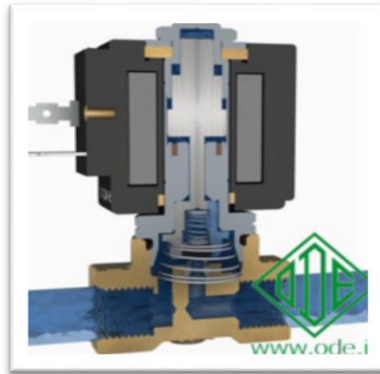


Figura 2. 8 Válvula solenoide de Acción Directa (NA). [12]

Acción Indirecta

Es cuando se acciona el embolo el cual permite a su vez como segunda acción o acción indirecta que el diafragma principal se abra o se cierre, en una acción indirecta. Esta serie de válvulas necesita una presión mínima para poder funcionar correctamente en estas de igual manera se tiene válvulas NA Y NC.

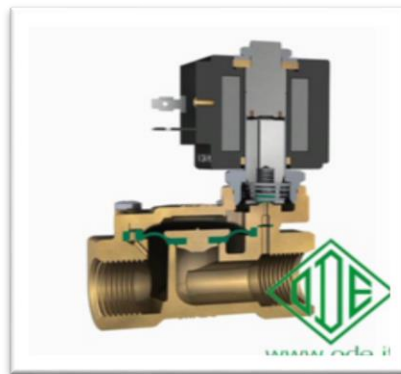


Figura 2. 9 Válvula solenoide de Acción Indirecta (NC). [12]

Acción Mixta

En las válvulas de Acción Mixta o Combinada una característica es que no requieren una presión mínima como las de acción indirecta. Estas válvulas al igual que las de acción indirecta el comando de abertura se hace en 2 tiempos, primero se vacía la presión superior del diafragma grande y después, segunda acción, la presión de abajo del diafragma lo empuja para que se abra. Además el embolo está sujetado por medio de un resorte al

diafragma grande y este resorte acelera la acción de la presión de abajo hacia arriba para abrir el mismo diafragma, esta es la segunda etapa de apertura. [12]

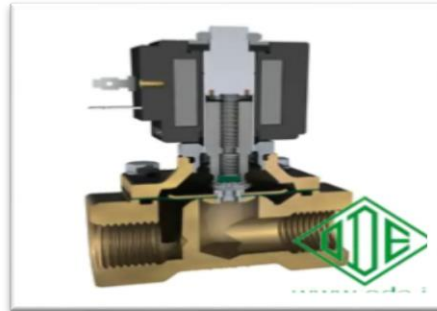


Figura 2. 10 Válvula solenoide de Acción Mixta (NC). [12]

Tiempos de apertura o cierre de una válvula solenoide

Según el catálogo de electroválvulas de Danfoos, se debe tener en cuenta el tipo de ranura y la dimensión del orificio en la entrada de la válvula para disminuir el golpe de ariete, para lo cual recomienda utilizar una con orificio de compensación más pequeño.

En la presente tabla se muestra una serie de tiempos de apertura y cierre de una válvula solenoide con servo y según el tipo de orificio de compensación, para tener una orientación básica de tiempos. [13]

Tabla 2. 2 Valores de tiempos de apertura y cierre según el orificio. [13]

Orifice mm	grooves	EV220B 15		EV220B 20		EV220B 25		EV220B 32		EV220B 40		EV220B 50	
		Open	Close	Open	Close	Open	Close	Open	Close	Open	Close	Open	Close
[s]													
0.5	1	0.04	0.35	0.04	1.0	0.11	3.0	1.6	6.0	1.3	8.0	3.4	40.0
0.8	2	0.04	0.3	0.04	0.5	0.3	1.0	1.0	2.5	1.5	4.0	3.6	11.0
1.2	3	0.04	0.12	0.04	0.25	0.30	0.5	1.2	1.0	1.5	2.0	5.0	10.0
1.4	4	0.04	0.1	0.06	0.18	0.30	0.4	1.0	0.8	2.0	1.5	5.2	6.5

2.1.4 Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)

Según el catálogo de Plásticos Rival los tubos de PVC para presión tipo roscable son los más aplicados para transportar agua potable a grandes presiones y utilizada dentro de las edificaciones de todo tipo, la tubería de presión roscable por su gran resistencia mecánica ha resuelto óptimamente, ente algunas aplicaciones las acometidas domiciliare en consideración a la factibilidad de instalación y durabilidad.

Ventajas

- Resistencia a altas presiones.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia a la corrosión.
- No transmite olor ni sabor.

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros de presión para diferentes diámetros de tubería.

Tabla 2. 3 Presión de trabajo para diferentes diámetros de tubería [14]

DN (mm)	Denominación de la rosca	Espesor Min(mm)	Presión de Trabajo	
			(MPa)	(PSI)
21,34	½	3,73	2,90	420
26,67	¾	3,91	2,34	340
33,40	1	4,55	2,21	320
48,26	1 1/2	5,08	1,65	239
60,32	2	5,54	1,38	200

2.1.5 Bombas Centrifugas

Las Bombas centrífugas también conocidas como Rotodinámicas, son rotativas y de un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía eléctrica en mecánica de un impulsor. Una bomba centrífuga es una máquina que consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza.

Se denominan así porque la cota de presión que se crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Por ende tiene un uso muy extenso en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier servicio. [15]

2.1.6 Instrumentos de Medición

Sensor de Presión

Según el catálogo de SENSING los sensores de presión o transductores de presión son muy habituales en cualquier proceso industrial o en un sistema de ensayo. Siendo el objetivo de estos el transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transformar una fuerza por unidad de superficie en un voltaje a esa presión ejercida.

Los formatos varían según su necesidad y el trabajo que se desee realizar variando su robustez según el tipo de fluido que se utilice en el sistema. Existiendo así sensores de presión para agua, sensores de presión para aceite, líquido de frenos, etc. [16]

Sensor de nivel

Según el catálogo de OMEGA el sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque o un recipiente.

Esos sensores se dividen en dos: en sensores de nivel de punto que se utiliza para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel establecido. Generalmente este sensor funciona como una alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido o lo contrario un nivel bajo. Los sensores de nivel continuo son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema. Estos miden el

nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel del recipiente.

2.2 Hipótesis

Mediante la construcción de un banco de pruebas hidráulico, se podrá replicar el fenómeno del golpe de ariete por apertura y cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC).

2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis

2.3.1 Variable Independiente

Golpe de ariete producido por la apertura y cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC).

2.3.2 Variable Dependiente

Construcción de un banco de pruebas hidráulico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 EXPLORATORIA

Se realizó una minuciosa investigación de todos y cada uno de los detalles para la elaboración del presente proyecto. Para ello se investigó el tipo de fluido a utilizar (compresible e incompresible), longitud de la tubería con el material adecuado que en este caso es policloruro de vinilo (PVC), y el efecto que en si el fenómeno produce en la tubería y mediante ello se pudo determinar las variables de interés investigativo.

3.1.2 DESCRIPTIVA

Describe todos y cada uno de los pasos realizados para el estudio del golpe de ariete para así tener un respaldo de cada uno de los factores que influyen para la producción del fenómeno y así mediante los resultados obtenidos poder comparar con lo experimentado.

3.1.3 CORRELACIONAL

Es aquella que nos permite determinar la relación entre el golpe de ariete producido por la apertura y cierre de una válvula solenoide y la variación de presión en la tubería.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población en el presente proyecto de investigación se la tomará como una población infinita, debido a cada uno de los factores hidráulicos como son el caudal, la presión, el tiempo y las pérdidas que influyen, y podrían variar dentro de la investigación.

El objeto específico de estudio en este proyecto de investigación es el golpe de ariete el cual será limitado por la válvula solenoide para determinar la variación de presión en la tubería de policloruro de vinilo (PVC).

3.2.2 Muestra

Debido a que la población es infinita en el presente proyecto de investigación, se puede decir que la muestra en este caso serán los tres puntos tomados como principales en la tubería de conducción donde se podrá apreciar el fenómeno de la variación de presión a la apertura y cierre de la válvula solenoide.

Se planteó que para cada punto ubicado en la tubería se tendrá un cierto tiempo de toma de datos, con un cierto tiempo de celeridad de onda de sobrepresión por apertura y cierre de la válvula solenoide.

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable independiente

Golpe de ariete producido por la apertura y cierre de una válvula solenoide.

Tabla 3. 1 Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es el efecto que se origina debido a que el flujo no permanente cambia sus condiciones iniciales de equilibrio producidas por la apertura y cierre rápido de una válvula, en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento.	Condiciones de equilibrio de un flujo no permanente.	¿Cuáles son las condiciones de equilibrio de un fluido no permanente?	Caudal (Q) Presión (P) Velocidad (V) Densidad (ρ)	Observación Directa Cuaderno de notas Ficha de campo
		¿Cuándo se le puede considerar a un fluido como no permanente?	$\frac{dQ}{dt} \neq 0$; $\frac{dP}{dt} \neq 0$; $\frac{dV}{dt} \neq 0$; $\frac{d\rho}{dt} \neq 0$	Observación Directa Cuaderno de notas Ficha de campo
	Cierre brusco de una válvula.	¿Cuándo se considera un cierre rápido de una válvula?	$T = \frac{L}{2c}$ $T \leq \frac{L}{2c}$	Observación Directa Cuaderno de notas Ficha de campo

Elaborado por: Edison Bombón

3.3.2 Variable dependiente

Variación de presión en la tubería.

Tabla 3. 2 Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
La variación de presión el tiempo aquel que se demora en reflejar una onda de presión desde que se cierra la válvula, llega al embalse y vuelve de nuevo a la válvula, es decir al completarse el ciclo donde se observa como en un punto dentro de la tubería se produce el cambio de presión.	Tiempo de reflexión de la onda de sobrepresión. Variación de presión	¿Cuál es el tiempo máximo de reflexión de la onda? ¿Cuál es la celeridad de la onda de presión? ¿Cuál es la sobrepresión máxima?	$T = \frac{2L}{c}$ $c = \sqrt{\frac{Ev/\rho}{1 + \left(\frac{Ev}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)}}$ $h'_{max} = \Delta h = \frac{CV}{g}$ $h'_{max} = \Delta h = \frac{2LV}{gt_c}$	Observación Directa Cuaderno de notas Ficha de campo Observación Directa Cuaderno de notas Ficha de campo Observación Directa Cuaderno de notas Ficha de campo

Elaborado por: Edison Bombón

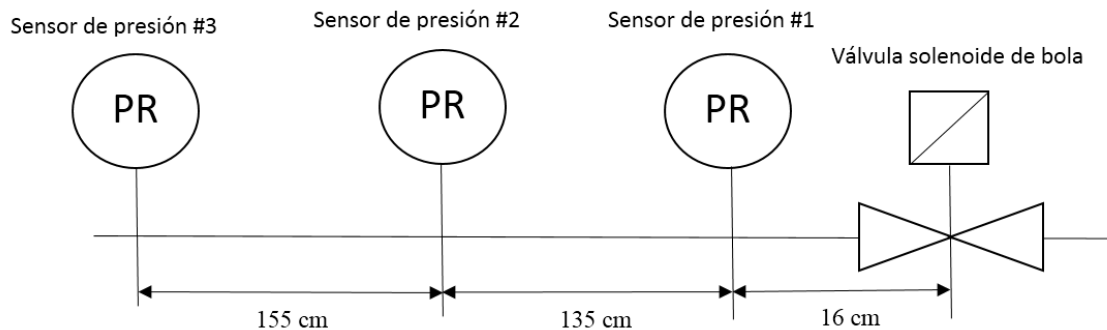
3.4 Plan de recolección de información

En el proyecto de investigación se realizó un estudio previo para determinar cada uno de los parámetros previos al estudio del golpe de ariete tales como Caudal, longitud de tubería de conducción, altura, propiedades de la tubería, tipo de válvula, el tipo de fluido y después

de haber realizado ese estudio previo se pudo deducir los siguientes instrumentos de medición que serían sensores de presión, sensor de nivel, sensor de flujo y mediante aquellos instrumentos mencionados anteriormente se transmitió toda la información recolectada, a una tarjeta DAQ en la cual por medio de un software previamente elaborado y exclusivo para el estudio se depuro lo necesario para facilidad del autor y por medio de la observación directa, determinar cada uno de los parámetros que influyen en la producción del fenómeno en el sistema, de lo cual se obtuvo un reporte de presiones máximas y mínimas en cada uno de los puntos de la tubería y demostrando cada una de las variables del proyecto de investigación.

Mediante el siguiente esquema están determinados las longitudes en las que están ubicadas cada uno de los sensores para capturar la información obtenida mediante el ensayo.

Esquema 3.1 Distribución de puntos de medición de presión.



Fuente: El Autor

3.5 Plan Procesamiento y análisis

3.6 Estudio teórico golpe ariete

Cuando se estudia un fenómeno que se presenta en un sistema hidráulico como lo es el golpe de ariete antes de realizar el banco de pruebas hidráulico se debe tener muy en claro cada uno de los factores que influyen en la producción de este fenómeno como son: Tipo de fluido que se utilizará, dimensionamiento de la tubería tanto su diámetro como su longitud en la tubería de conducción y tipo de válvula a usar. Con la manipulación de cada

uno de los factores antes mencionados se podrá obtener la correcta reproducción del fenómeno del golpe de ariete y así poder evaluar cada uno de los factores que serán encontrados en el sistema mediante sensores electrónicos que enviaran la información a una tarjeta para mediante esta, ser procesada y debidamente evaluada.

El tipo de fluido que se va a utilizar es agua y el material de la tubería es de policloruro de vinilo (PVC), estos dos parámetros fueron previamente establecidos para el estudio y elaboración del banco de pruebas hidráulico.

Para lo cual se realizó las siguientes tablas variando cada uno de los parámetros explicados anteriormente y poder llegar a tomar la decisión más adecuada para el dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico.

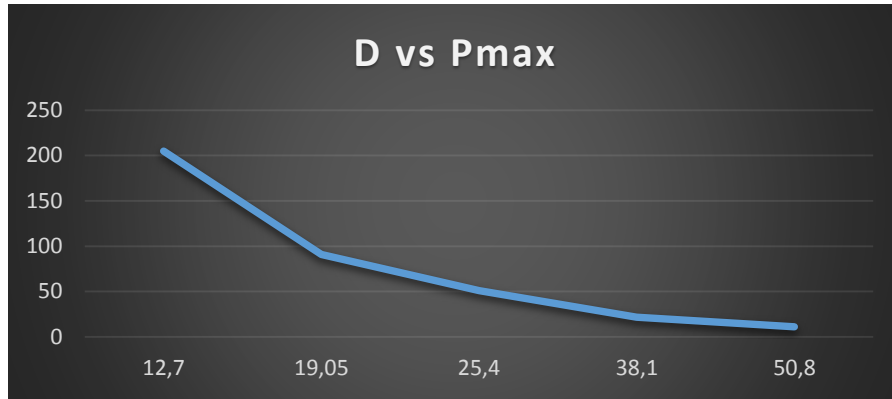
En la presente tabla se podrá observar el estudio teórico previo para obtener los parámetros generales para poder realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 6m y con un caudal de 0,3 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada a 2 pulgadas.

Tabla 3. 3 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,023	0,148	7,892	11,23
38,1	5,08	573,227	0,021	0,263	15,282	21,74
25,4	4,55	646,683	0,019	0,592	35,991	51,19
19,05	3,91	682,049	0,018	1,053	63,984	91
12,7	3,73	778,339	0,015	2,368	143,965	204,77

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 1 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q=0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L=6$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.



Fuente: El Autor

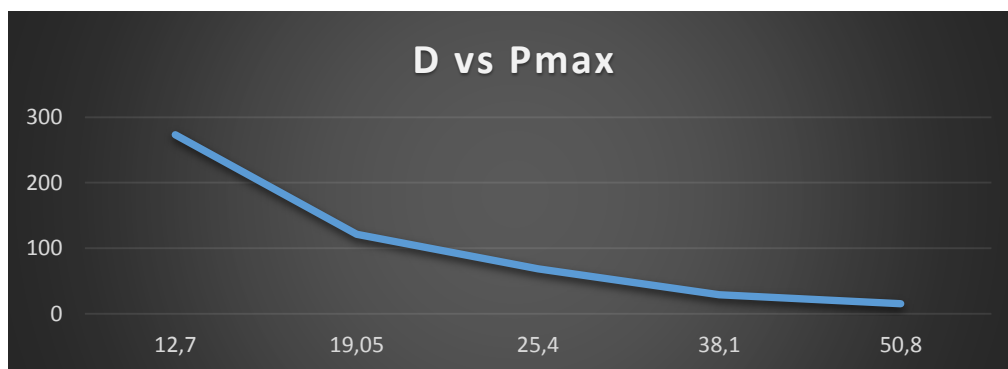
En la Tabla 3.4 se podrá observar el estudio teórico previo para obtener los parámetros generales para poder realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 6m y con un caudal de 0,4 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 4 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q=0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L=6$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,023	0,197	10,522	14,97
38,1	5,08	573,227	0,021	0,351	20,376	28,98
25,4	4,55	646,683	0,019	0,789	47,988	68,25
19,05	3,91	682,049	0,018	1,403	85,313	121,34
12,7	3,73	778,339	0,015	3,158	191,953	273,02

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 2 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q=0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L=6$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.



Fuente: El Autor

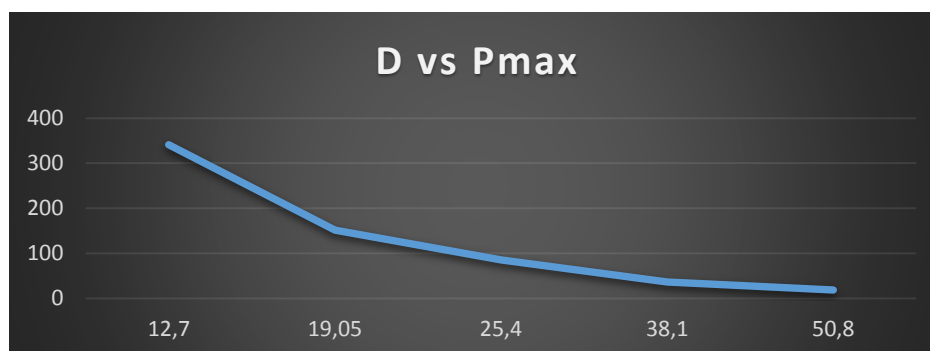
En la Tabla 3.5 se podrá observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para poder realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 6m y con un caudal de 0,5 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 5 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q=0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L=6$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,023	0,247	13,153	18,71
38,1	5,08	573,227	0,021	0,439	25,471	36,23
25,4	4,55	646,683	0,019	0,987	59,985	85,32
19,05	3,91	682,049	0,018	1,754	106,641	151,68
12,7	3,73	778,339	0,015	3,947	239,942	341,28

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 3 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L= 6m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02s$.



Fuente: El Autor

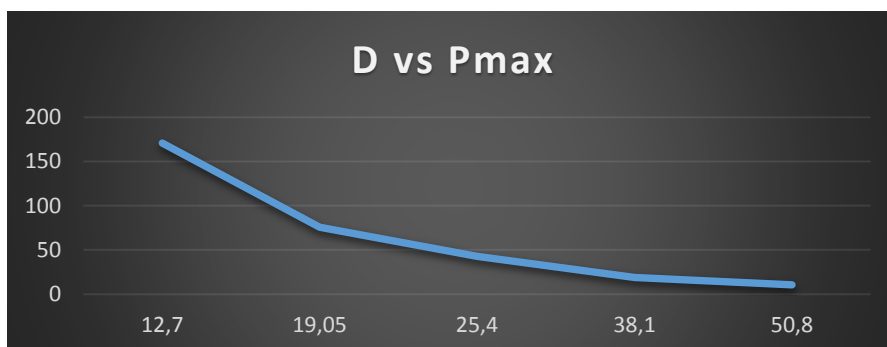
En la Tabla 3.6 se podrá observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 5m y con un caudal de 0,3 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 6 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5m$, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,019	0,148	7,498	10,66
38,1	5,08	573,227	0,017	0,263	13,330	18,96
25,4	4,55	646,683	0,015	0,592	29,993	42,66
19,05	3,91	682,049	0,015	1,053	53,320	75,84
12,7	3,73	778,339	0,013	2,368	119,971	170,64

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 4 Gráfica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q=0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L=5$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.



Fuente: El Autor

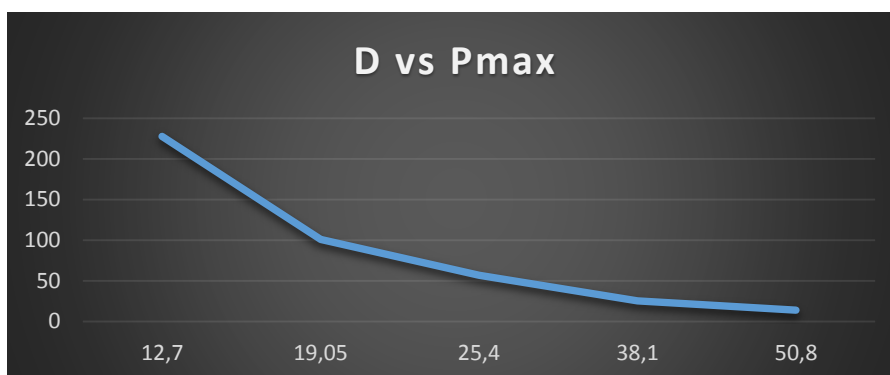
En la Tabla 3.7 se podrá observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 5m y con un caudal de 0,4 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 7 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q=0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L=5$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,019	0,197	9,998	14,22
38,1	5,08	573,227	0,017	0,351	17,773	25,28
25,4	4,55	646,683	0,015	0,789	39,990	56,88
19,05	3,91	682,049	0,015	1,403	71,094	101,12
12,7	3,73	778,339	0,013	3,158	159,961	227,52

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 5 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5$ m, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.



Fuente: El Autor

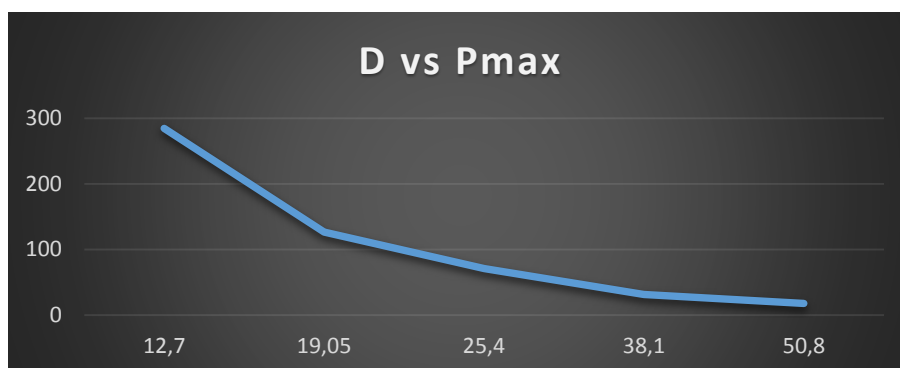
En la Tabla 3.8 se podrá observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para poder realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 5m y con un caudal de 0,5 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 8 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q= 0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5$ m, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,019	0,247	12,497	17,77
38,1	5,08	573,227	0,017	0,439	22,217	31,6
25,4	4,55	646,683	0,015	0,987	49,988	71,09
19,05	3,91	682,049	0,015	1,754	88,867	126,39
12,7	3,73	778,339	0,013	3,947	199,951	284,39

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 6 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q= 0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L= 5$ m, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.



Fuente: El Autor

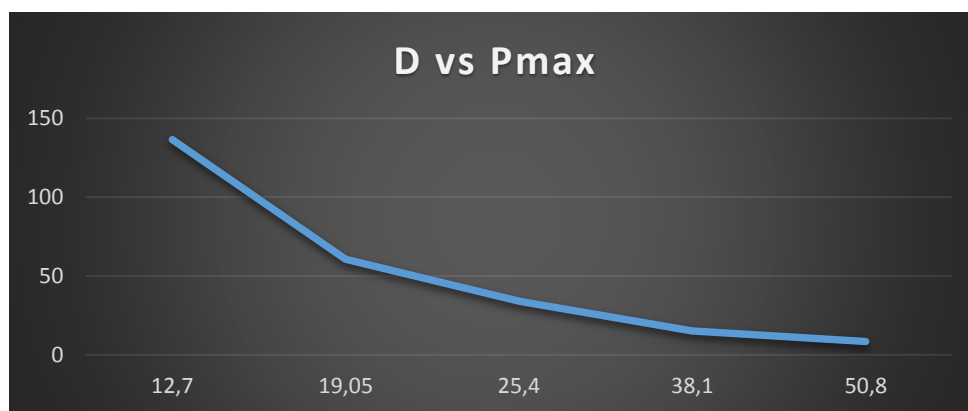
En la Tabla 3.9 se podrá observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 4m y con un caudal de 0,3 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 9 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q= 0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L= 4$ m, $k = 33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t = 0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,015	0,148	5,999	8,526
38,1	5,08	573,227	0,014	0,263	10,664	15,158
25,4	4,55	646,683	0,012	0,592	23,994	34,140
19,05	3,91	682,049	0,012	1,053	42,656	60,630
12,7	3,73	778,339	0,010	2,368	95,977	136,419

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 7 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q=0,3$ lt/s, longitud de tubería de $L=4$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.



Fuente: El Autor

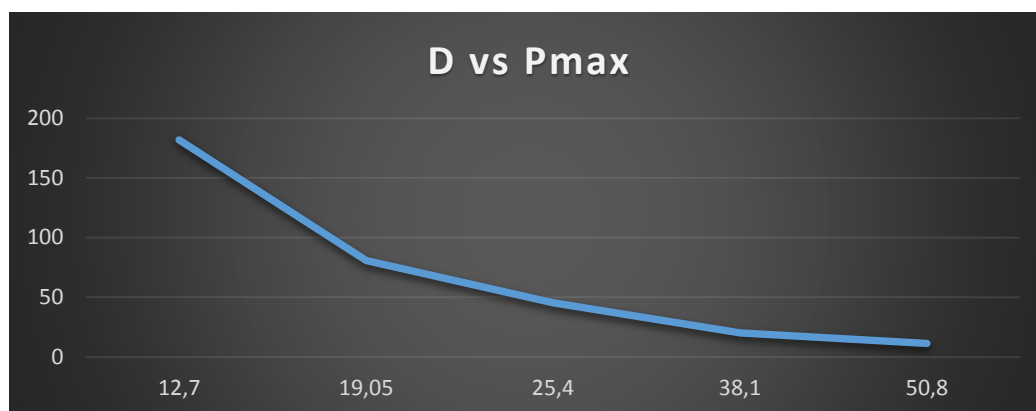
En la Tabla 3.10 se puede observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de conducción de 4m y con un caudal de 0,4 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 10 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q=0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L=4$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,015	0,19	7,998	11,368
38,1	5,08	573,227	0,014	0,351	14,219	20,210
25,4	4,55	646,683	0,012	0,789	31,992	45,473
19,05	3,91	682,049	0,012	1,403	56,875	80,841
12,7	3,73	778,339	0,010	3,158	127,969	181,891

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 8 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q=0,4$ lt/s, longitud de tubería de $L=4$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.



Fuente: El Autor

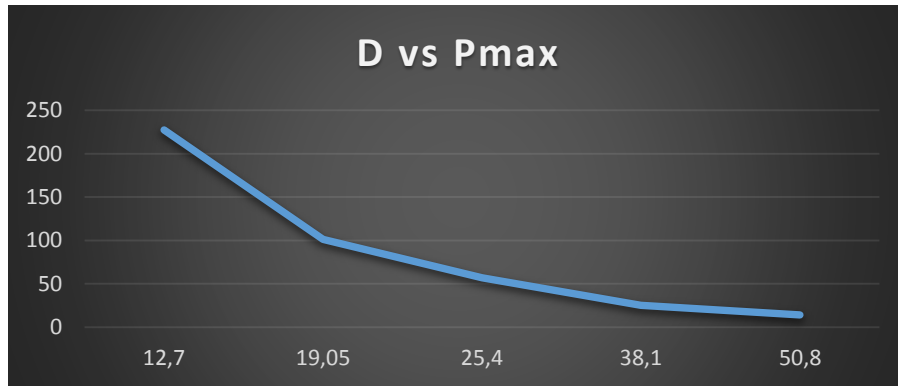
En la Tabla 311 se podrá observar el estudio teórico previo, para obtener los parámetros generales para realizar una estimación y dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico, dando un parámetro establecido por el autor de longitud de 4m y con un caudal de 0,5 lt/s para diferentes diámetros de tubería desde ½ pulgada hasta 2 pulgadas.

Tabla 3. 11 Valores de sobrepresión máxima para diferentes diámetros con caudal de $Q=0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L=4$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.

Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]	T [s]	V [m/s]	Sobrepresión máxima [m]	Sobrepresión máxima [Psi]
50,8	5,54	526,235	0,015	0,247	9,998	14,210
38,1	5,08	573,227	0,014	0,439	17,773	25,263
25,4	4,55	646,683	0,012	0,987	39,990	56,841
19,05	3,91	682,049	0,012	1,754	71,094	101,051
12,7	3,73	778,339	0,010	3,947	159,961	227,364

Fuente: El Autor

Gráfico 3. 9 Grafica del diámetro vs Sobrepresión máxima con caudal de $Q=0,5$ lt/s, longitud de tubería de $L=4$ m, $k=33,33$ y un tiempo de cierre de válvula de $t=0,02$ s.

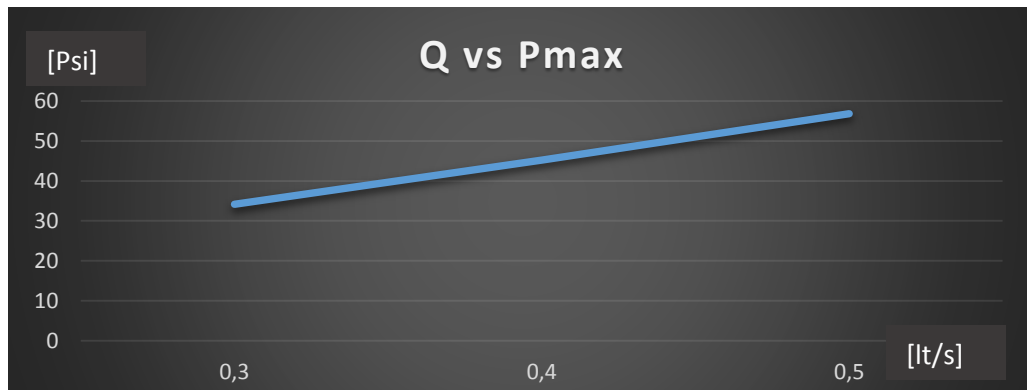


Fuente: El Autor

Según los datos obtenidos en las tablas de la 3.3 a la tabla 3.11 se pudo llegar a la conclusión de que a medida que disminuye el diámetro la presión aumenta para cada uno de los diferentes caudales y longitudes.

En el presente grafico se puede observar cómo influye el caudal con la presión máxima tomando como referencia solo los valores para tubería de 1pulg y de 4m de longitud que son los parámetros de estudio del presente proyecto de investigación.

Gráfico 3. 10 Grafica del Caudal vs Sobrepresión máxima con longitud de tubería de $L=4$ m, $d=1$ pulg.



Fuente: El Autor

Para la toma de datos de cada una de las tablas 3.3 a la 3.11 se utilizó las siguientes ecuaciones:

- Para el k de la tubería se utilizó la tabla 2.1

- Para el cálculo de celeridad [C] se utilizó la Ec. 2 - 19
- Para el cálculo del periodo [T] de la tubería la Ec. 2 -21
- Para el cálculo de la sobrepresión máxima [Pmax], la Ec. 2 – 27 para cierre rápido y la Ec. 2 - 29 para cierre lento

Después de observar los datos obtenidos anteriormente tanto en tablas como en los gráficos y analizar la información detallada en el marco teórico, se pudo llegar a la conclusión que se tomara como referencia los siguientes factores para la construcción del banco de pruebas hidráulico.

Tabla 3. 12 Valores para el dimensionamiento del banco de pruebas hidráulico

Diámetro de la tubería 1 pulg.	
Longitud de tubería	4 m
Caudal	0,3-0,4-05 lt/s

Fuente: El Autor

La longitud de la tubería de conducción que se decidió estudiar fue de 4m ya que al momento de encontrar la altura se considera el ángulo de inclinación de la tubería, y para ello solo se empleó un codo a 45°.

Sabiendo que:

$$H = \sin(45) * 4$$

Se pudo determinar que 2.8 m era la altura necesaria que debería estar elevado el recipiente para obtener la longitud de conducción de 4 m.

Obteniendo como resultado un gran espacio físico y como estar era proporcional a la longitud de tubería se optó por realizar el estudio en la de 4m de longitud.

El diámetro de la tubería fue determinado mediante la apreciación de las diferentes gráficas y sus presiones máximas, y para disminuir gastos en equipos de medición, razón por la cual se decidió optar por la de una pulgada.

El caudal fue delimitado de igual manera por el espacio físico y por su influencia en la variación de las presiones máximas como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 3. 13 Valores de Pmax para diferentes caudales con longitud de tubería de 4m.

Q [lt/s]	Pmax [Psi]	Pmax [Bar]
0,3	34,14	2,351
0,4	45,173	3,135
0,5	56,841	3,919

Fuente: El Autor

3.6.1 Selección sensor de presión

Como se puede observar en la Tabla 3.13, el rango máximo de presión será casi de 4 [Bar], entonces se deberá utilizar sensores que tengan una apreciación de 0 – 5 Bar.

Tabla 3. 14 Características del sensor de presión.

Parámetros Sensor	Voltaje de Alimentación	Señal de Salida	Rango de Presión	Rosca	Precisión
SEN 004	5V	0,5-4,5V	0 – 5 BAR	¼ “	+/- 1%FC

Fuente: El Autor

Como se puede ver en la tabla 3.14. Se decidió utilizar este tipo de sensor por su costo y su alta precisión en la adquisición de datos, y por cada uno de sus características, ya que según con la norma ISO 9906, literal 8.4.1. La longitud del orificio de precisión no debe de ser menor que dos veces y media su diámetro. Cumpliendo con ella ya que el diámetro de la tubería en la que se encuentra ubicado es de 1pulg.

3.6.2 Selección sensor de flujo

Para el sensor de flujo solo se tomó como parámetros la mayor y la menor cantidad de flujo que se necesita en el sistema que sería de 0,3 a 0,5 lt/s.

Tabla 3. 15 Características del sensor de flujo

Parámetros Sensor	Voltaje de Alimentación	Señal de Salida	Rango de Presión	Rosca	Precisión
FS400A G1”	5V	0,5-4,5V	1-60 L/MIN	1 “	+/- 3%EC

Fuente: El Autor

Como se puede ver en la tabla 3.15. Se decidió utilizar este tipo de sensor por su costo y su alta precisión en la adquisición de datos de 1 a 60 lt/min, para el estudio es suficiente y su precisión hace que sea un poco más fina la adquisición.

3.6.3 SELECCIÓN SENSOR DE NIVEL

Para el sensor de nivel se realizó la medición previa del recipiente el cual iba a ser controlado su nivel de columna de agua. Teniendo como resultado los siguientes dimensiones del recipiente.

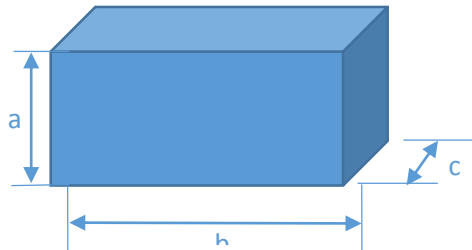


Figura 3. 1 Dimensiones Embalse

Fuente: El Autor

a = 40 cm

b = 57 cm

c = 30 cm

Por ende se debería utilizar un sensor de nivel por ultra sónico y que su onda se encuentre dentro de este rango de dimensiones.

Tabla 3. 16 Características del sensor de nivel

Parámetros	Voltaje de Alimentación	Señal de Medición	Longitud máxima de medición	Señal de Salida	Rango de Frecuencia
Sensor					
LV-MAX Sonar - EZ	5V	50ms,(20Hz -tasa)	0-250 pulg	2,5-4,5V	1,5 Hz a 40Hz

Fuente: El Autor

Como se puede observar en la tabla 3.16. Se decidió utilizar este tipo de sensor nivel primero por su bajo costo y por sus propiedades de funcionamiento semejantes a los anteriores además que este consta con una señal análoga y otra por impulsos facilitando su manejo, como puede ser con o sin necesidad de otro dispositivo. Y además su rango de medición cumplía con las necesidades según las dimensiones del recipiente y para que no se produzca ninguna interferencia en la onda ultrasónica.

3.6.4 Selección de válvula solenoide

Para la selección de la válvula solenoide se tuvo en cuenta el primer parámetro que para inicio del sistema debería de ser una normalmente y el segundo de igual o mayor importancia para su correcto funcionamiento, la presión inicial de apertura, debido a que en el mercado industrial no se utilizan válvulas solenoides con presiones bajas de apertura por seguridad, solo se pudo optar por la siguiente válvula solenoide que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3. 17 Características de la Válvula Solenoide.

Válvula	Parámetros				
	Fluido	Presión mínima de trabajo	Tipo de válvula	Señal de Salida	Rango de Frecuencia
LV-MAXSonar - EZ	Agua, vapor y aceites ligeros. (hasta 2°E)	0,5 BAR	2-2 NC	2,5- 4,5V	1,5 Hz a 40Hz

Fuente: El Autor

Como se pudo observar en la tabla 3.17 esta válvula solenoide si es la adecuada para este ensayo.

3.6.5 Selección del dispositivo de adquisición de datos.

Debido a la factibilidad de adquisición de datos, ya que todos los dispositivos anteriores emiten una señal analógica y por su facilidad de programación, se optó por una tarjeta DAG, ya que una de sus ventajas es que tiene ocho entradas analógicas y cuatro con acoples rápidos, con un contador de 32 bits y lo más importante que su Software de estudio son Labview y Visual Studio.

3.6.6 Parámetros del sistema de bombeo y su fluido.

La tubería y accesorios son de poli cloruro de vinilo (PVC) de ½ pulg. (0,0127m), el fluido es agua a 20°C.

En la siguiente tabla se podrá observar las propiedades del agua tomadas del Anexo A.

Tabla 3. 18 Propiedades del agua. [6]

Temperatura Ambienté	T _{ambiente}	20°C
Peso Especifico	γ	9,97 KN/m ³
Densidad	P	998 Kg/m ³
Viscosidad Dinámica	η	1,02x10 ⁻³ Pa*s

Fuente: El Autor

3.6.6.1 Cálculo de potencia de la bomba.

Para el sistema de recirculación del banco de pruebas hidráulico se realizó el cálculo de la potencia de la bomba requerida para obtener un caudal de 0,75 lt/s este caudal se lo obtuvo sacando un 25% más que el caudal máximo que requerimos tener que en este caso fue 0,5lt/s.

Para ello primero vamos identificar los dos puntos a estudiar punto A estará ubicado en la columna de agua del embalse de succión y el punto B a la salida de la tubería de descarga.

Por consiguiente remplazaremos nuestros datos en la *Ecuación 2.5*.

$$\frac{P_A}{\gamma} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A - h_f = \frac{P_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Debido a las condiciones mencionadas anteriormente $P_A = 0$, $V_A = 0$ y $P_B = 0$ por ende nuestra ecuación quedaría delimitada de la siguiente manera.

$$z_A + h_A - h_L = z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

De esta fórmula despejaremos h_A a que es el término que debemos encontrar para determinar la potencia de la bomba P_A .

$$h_A = (z_B - z_A) + h_L + \frac{V_B^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Para determinar la velocidad del punto B tomamos en consideración que el caudal que queremos que llegue a ese punto es de $0,00075\text{m}^3/\text{s}$.

Utilizamos la Ecuación 2.1

$$Q = V_B * A_B$$

$$V_B = \frac{Q}{A_B}$$

$$V_B = \frac{0,00075}{\frac{\pi(0,0127)^2}{4}}$$

$$V_B = 5,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Una vez que encontramos la velocidad del punto B, procedemos a determinar el Número de Reynolds con la Ecuación 2.4

$$NR = \frac{V_B * D_B * \rho}{\eta}$$

$$NR = \frac{5,92 * 0,0127 * 998}{0,000104011}$$

$$NR = 721400,9287$$

Como se puede observar el $NR > 4000$ por ende es flujo turbulento y para el cálculo de fricción f se va utilizar la Ecuación 2.8.

Para el cálculo se debe tomar en cuenta la rugosidad del materia (ϵ), para el cálculo se utilizó el ϵ de $3,0 \times 10^{-7}$ que es la rugosidad del policloruro de vinilo (PVC)

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{0,0127}{3,0 \times 10^{-7}} \right)} + \frac{5,74}{(721400,9287)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,012$$

Una vez encontrado f procedemos a delimitar las pérdidas primarias y secundarias del sistema.

h_{Lp} = Pérdidas primarias por fricción en la tubería.

h_{Ls} = Pérdidas secundarias por accesorios.

Para determinar las pérdidas primarias por fricción en la tubería (h_{Lp}) se procede a utilizar la Ecuación 2.6.

Longitud total de tubería = 8,415m

$$h_{Lp} = 0,012 * \frac{8,415}{0,0127} * \frac{(3,947)^2}{(2 * 9,8)}$$

$$h_{Lp} = 14,21 \frac{Nm}{N}$$

Para poder determinar las pérdidas secundarias primero delimitaremos el número de accesorios, válvulas y acoplamientos.

En todo el sistema encontramos:

13 Codos de 90° estándar.

1 codo de 90° roscado

2 codos de 45° estándar

1 tubería que se proyecta hacia dentro (embalse de succión).

Para determinar el valor de $\frac{L_e}{D}$ para cada uno de los accesorios se utilizó la tabla del Anexo C.

Para el valor de f_t en la tabla del Anexo D.

Para el valor de K de la tubería que se proyecta hacia dentro en el Anexo B.

Para determinar las pérdidas secundarias por accesorios, válvulas y componentes (h_{Ls}) se procede a utilizar la Ecuación 2.9

$$h_{Ls} = K \frac{V_B^2}{2g}$$

Pero para poder resolver la ecuación primero debemos encontrar el valor de K mediante la Ecuación 2.10.

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_t$$

Calculo de K para codo de 90° estándar lo delimitaremos como K₁.

Del Anexo C. Obtenemos que $\frac{L_e}{D}$ para codo de 90° estándar es 30.

Del Anexo D. Obtenemos que f_t para tubería de ½ pulgada es 0,027

$$K_1 = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_t$$

$$K_1 = 30 * 0,027$$

$$K_1 = 0,81$$

Calculo de K para codo de 90° roscado lo delimitaremos como K₂.

Del Anexo C. Obtenemos que $\frac{L_e}{D}$ para codo de 90° roscado es 50.

Del Anexo D. Obtenemos que f_t para tubería de ½ pulgada es 0,027

$$K_2 = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_t$$

$$K_2 = 50 * 0,027$$

$$K_2 = 1,35$$

Calculo de K para codo de 45° estándar lo delimitaremos como K₂.

Del Anexo C. Obtenemos que $\frac{L_e}{D}$ para codo de 90° roscado es 16.

Del Anexo D. Obtenemos que f_t para tubería de ½ pulgada es 0,027

$$K_3 = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_t$$

$$K_3 = 16 * 0,027$$

$$K_3 = 0,432$$

Calculo de K para 1 tubería que se proyecta hacia dentro, lo delimitaremos como K_4

Del Anexo B. Obtenemos que el valor de K_4 es igual a 1,0.

Una vez determinado todos los valores de K obtenemos una ecuación general para todas basándonos en la Ecuación 2.9.

$$h_{Ls} = K \frac{V_B^2}{2g}$$

$$h_{Ls} = K_1 \frac{V_B^2}{2g} + K_2 \frac{V_B^2}{2g} + K_3 \frac{V_B^2}{2g} + K_4 \frac{V_B^2}{2g}$$

$$h_{Ls} = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \frac{V_B^2}{2g}$$

$$h_{Ls} = (0,81 + 1,35 + 0,432 + 1,0) \frac{(5,92)^2}{2(9,8)}$$

$$h_{Ls} = 38,785 \frac{Nm}{N}$$

Una vez encontrado las pérdidas primarias y secundarias encontramos la pérdida total del sistema h_f por medio de la siguiente ecuación.

$$h_f = h_{Lp} + h_{Ls} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$h_f = 14,21 + 24,575$$

$$h_f = 38,875 \frac{Nm}{N}$$

Una vez que ya tenemos todos los datos para remplazar en la ecuación 3.1 procedemos a realizar el cálculo de h_A .

$$h_A = (z_B - z_A) + h_f + \frac{v_B^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$h_A = 3,2 + 38,875 + \frac{(5,92)^2}{2(9,8)}$$

$$h_A = 43,863 \frac{Nm}{N}$$

Una vez encontrado el h_A procedemos a encontrar el valor de potencia del fluido P_A mediante la Ecuación 2.11.

$$P_A = h_A * \gamma * Q \quad \text{Ecuación 2.11}$$

De la tabla 3.14 tenemos que $\gamma = 9,79 \frac{KN}{m^3}$

Remplazamos datos en Ecuación 2.11.

$$P_A = 43,863 * 9,79 * 0,00075$$

$$P_A = 0,3220 \frac{KN * m}{s}$$

$$P_A = 0,4318 Hp$$

Por lo tanto se necesita una bomba de 0,5 [Hp] para la recirculación del sistema ya que la potencia del fluido es de 0,4318.

3.6.7 Adquisición de datos.

3.6.7.1 Manual del Usuario

Antes de realizar un ensayo de control de ariete se debe ubicar la carpeta con el programa de control.

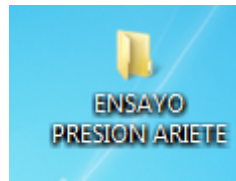


Figura 3. 2 Identificación Carpeta del Ensayo
Fuente: El Autor

Ya ubicado el archivo es necesario seleccionar la carpeta con el nombre “ENSAYO PRESIÓN ARIETE” y abrimos la carpeta.

Dentro de ella elegimos el archivo con nombre “PRESION_ARIETE.lvproj ” y ejecutamos haciendo doble Clic.

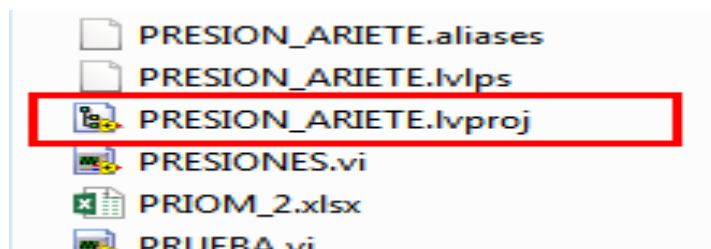


Figura 3. 3 Selección Archivo
Fuente: El Autor

Una vez ejecuta el proyecto se abrirá el explorador de Labview en el cual se debe seleccionar y ejecutar haciendo doble clic en el archivo “EJECUTAR”.



Figura 3. 4 Selección de Archivo
Fuente: El Autor

La siguiente pantalla que muestra es la ventana inicial de logo en el cual se tiene tres botones de opciones, con el primer botón se ejecuta el programa de ensayo, con el segundo botón se despliega la ayuda del sistema y con el tercero simplemente se detiene el programa.



Figura 3. 5 Pantalla Inicio del Ensayo
Fuente: El Autor

Si seleccionamos la opción “EJECUTAR”, se desplegará la pantalla del programa de control, en ella se tiene tres graficas en las cuales se visualizará la presión presente en cada uno de los sensores al momento de realizar el ensayo de ariete.

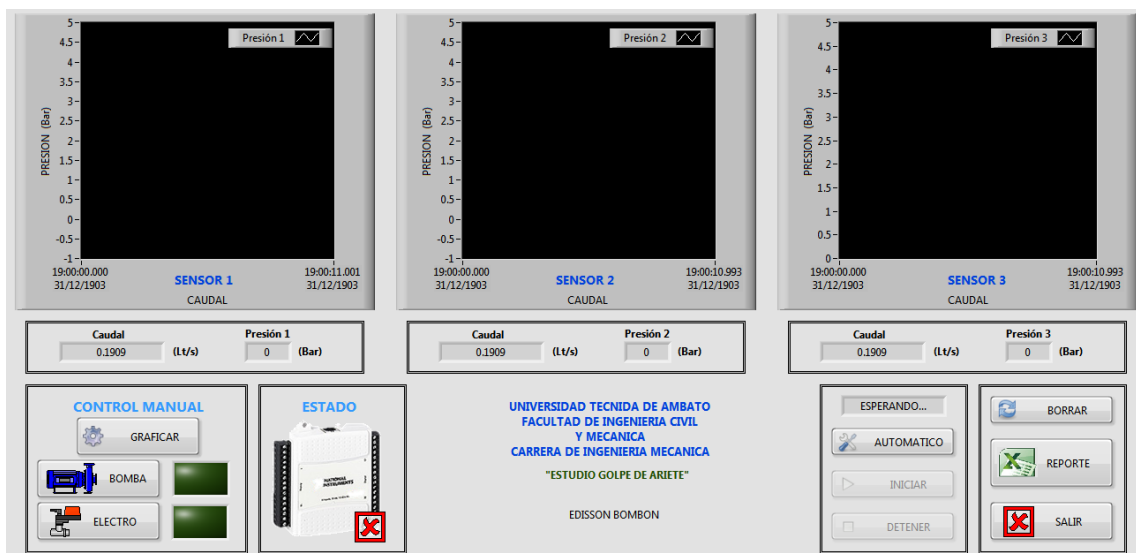


Figura 3. 6 Pantalla Programa Control
Fuente: El Autor

El ensayo se puede realizar de dos formas, la primera de forma manual en el cual el ensayo se realiza siguiendo los siguientes pasos:



Figura 3. 7 Control Manual

Fuente: El Autor

- a) Debemos presionar el botón graficar, con esta acción el programa empezara a graficar los eventos que suceden en cada uno de los sensores.
- b) Con este botón se podrá encender o apagar la bomba hidráulica según él caso.
- c) Con el botón “ELECTRO”, podremos activar o desactivar la bomba la electroválvula. Una vez activada el modo de gráfica continua “GRAFICAR”, se debe activar el electro por al menos 3 a 5 segundos para que el agua circule de forma constante por la tubería.
- d) Ya que sea prudente se procederá a desactivar ala electroválvula con lo que se obtendrá un cierre abrupto del sistema repercutiendo en forma de onda la presión dentro de la tubería, todo este evento de apertura y cierre del sistema se evidenciará en la gráfica del sistema de las tres presiones.
- e) Ya realizado y obtenido la gráfica del sistema se procederá a detener la recolección de datos por parte del sistema haciendo clic nuevamente en el botón “GRAFICAR”.

La segunda forma de operar el sistema es de forma automática, al presionar el botón “AUTOMATICO”, realizará el ensayo de forma totalmente automática, realizando una serie de pasos.

Al presionar el botón “AUTOMÁTICO”, se activarán los botones “INICIAR” Y “DETENER”.

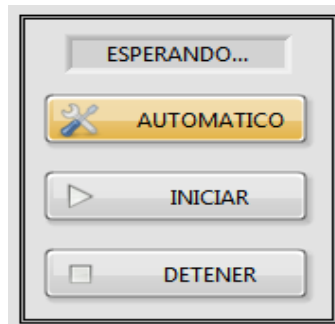


Figura 3. 8 Función Automático.

Fuente: El Autor

Si se presiona “INICIAR”, se podrá iniciar el siguiente evento caso contrario con el botón “DETENER” se podrá detener el ciclo automático.

Continuando con el proceso la siguiente ventana que se desplegará es la configuración de la altura, recordemos que dependiendo de la altura se obtendrá un determinado caudal, la altura del sistema se tiene en (mm).

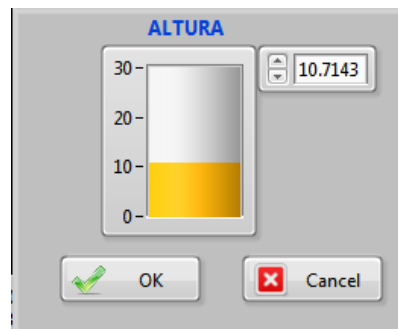


Figura 3. 9 Representación Caudal

Fuente: El Autor

Presionando el botón “OK”, se procederá a iniciar el ensayo de forma automática. Realizando el ciclo, encender la bomba para mantener el caudal y la altura de líquido constante, activar por un tiempo prudencial la electroválvula y apagar para cerrar y producir el golpe de ariete, en todo este ciclo se procederá a guardar los datos y visualizar en la gráfica.

En todo momento se podrá visualizar el estado de las presiones de los tres sensores y del sensor de flujo el cual nos ayuda como medida referencial a determinar el caudal presente en la tubería.

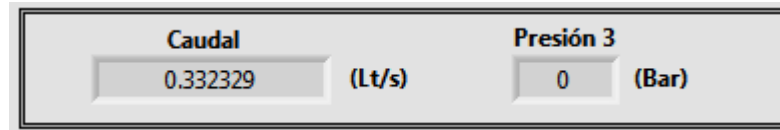


Figura 3. 10 Visualizador Caudal y Presión

Fuente: El Autor

Los siguientes botones ayudan de forma independiente a controlar las acciones del programa. El botón “BORRAR”, permite restaurar los valores nuevamente a cero como para iniciar un nuevo evento; El botón “REPORTE”, permite generar un reporte en base a las acciones del ensayo; Y finalmente el botón “SALIR”, con el cual podremos detener toda las acciones y abandonar el programa.



Figura 3. 11 Funciones Borrar, Reporte y Salir.

Fuente: El Autor

El siguiente icono permite identificar si existe o no comunicación entre la PC de control y la máquina.



Figura 3. 12 Identificación de comunicación o no con el PC.

Fuente: El Autor

3.6.7.2 Programación Interna

Para realizar un ensayo de golpe de ariete se necesita obtener un monitoreo continuo de los sensores, el siguiente código permite por medio de la configuración de la tarjeta DAQ de National Instrument adquirir señales análogas de los tres sensores de presión, el sensor de flujo, y el sensor de nivel, esta adquisición de señales se realiza a una velocidad 1500 Hz de ciclos repetitivos analizándolas cada 10 muestras.

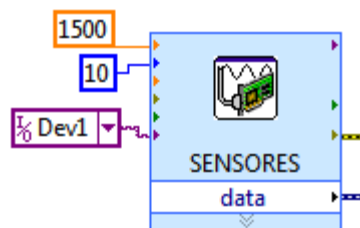


Figura 3. 13 Control Sensores

Fuente: El Autor

Para configurar los sensores análogos se debe utilizar el DAQ-Express el cual permite configurar de manera rápida y simple una adquisición de datos, como son 5 sensores análogos los utilizados en la máquina, se utilizaran 5 entradas de voltaje y a cada una de ellas se las denominará con su correspondiente variable.

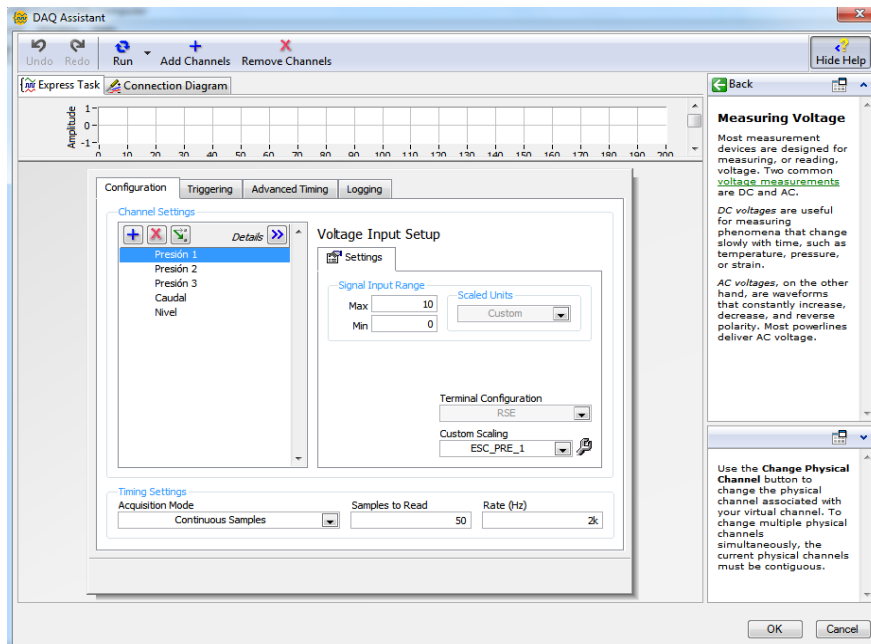


Figura 3. 14 Identificación de variables a los sensores

Fuente: El Autor

La configuración de la adquisición de datos presentes tendrá los siguientes parámetros configurados como son:

- Modo de adquisición= muestras continuas
- Muestras a leer=50 muestras
- Frecuencia= 2 KHz

Internamente la configuración de la DAQ permite adquirir señales de voltaje análogo que quiere decir que son variables, es decir que a cada voltaje le corresponderá una magnitud física por ejemplo a 0V le corresponderá 0 Bar de presión y 2,5V le corresponderá 2,5 Bares y 5V le corresponderá 5 Bares de presión, cada sensor tiene su correspondiente formula de conversión que entrega cada fabricante en su catálogo, ésta ecuación se la debe programar en la configuración de escalas.

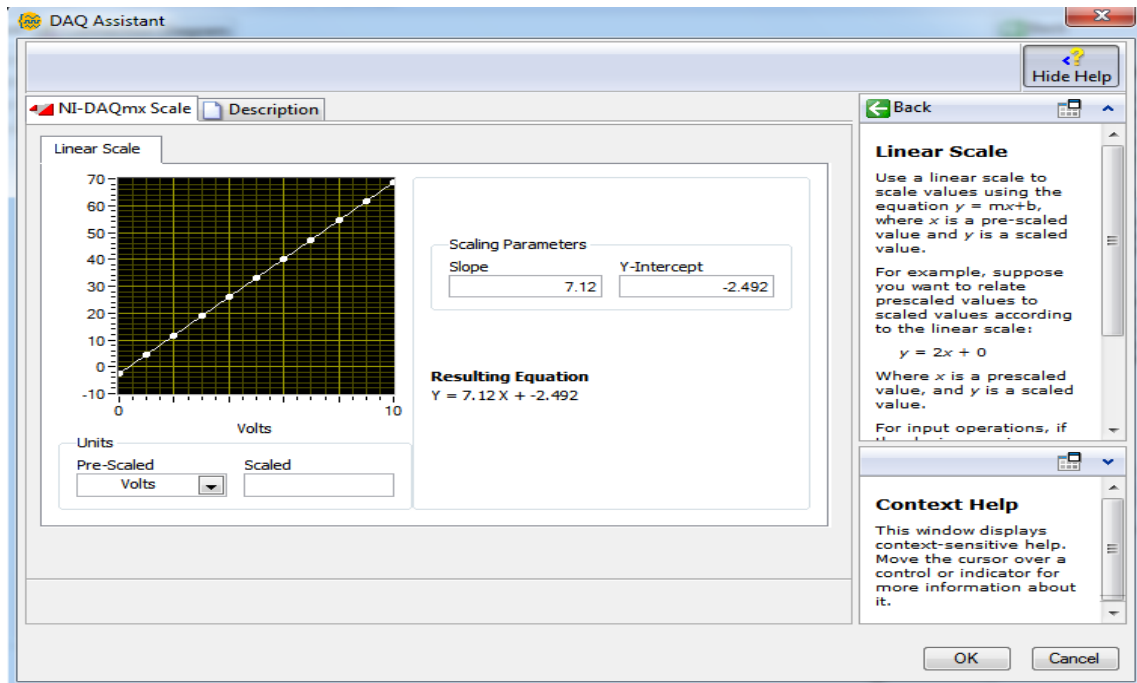


Figura 3. 15 Identificación de escala para vectores, determinando pendiente de la recta.

Fuente: El Autor.

La ecuación que se observa en la Figura 3,15 representa un 90% la respuesta del sensor ya que utilizara esta ecuación programada para transformar de voltaje a la magnitud física deseada.

De manera similar se configura las salidas digitales de la tarjeta DAQ, con ellas se controlara la apertura y cierre de la electroválvula y el activado y desactivado de la bomba de agua.

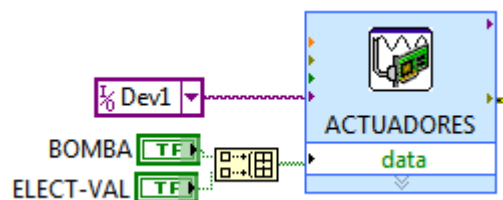


Figura 3. 16 Actuadores para control de funcionamiento de la bomba y Válvula Solenoide.

Fuente: El Autor

Internamente la configuración de la DAQ permite generar señales de voltaje digital ON/OFF que quiere decir que son variables discretas, es decir que a un voltaje de cero le corresponderá a un OFF y a 5V le corresponderá un estado ON, la configuración necesaria es generar un acción bajo demanda.

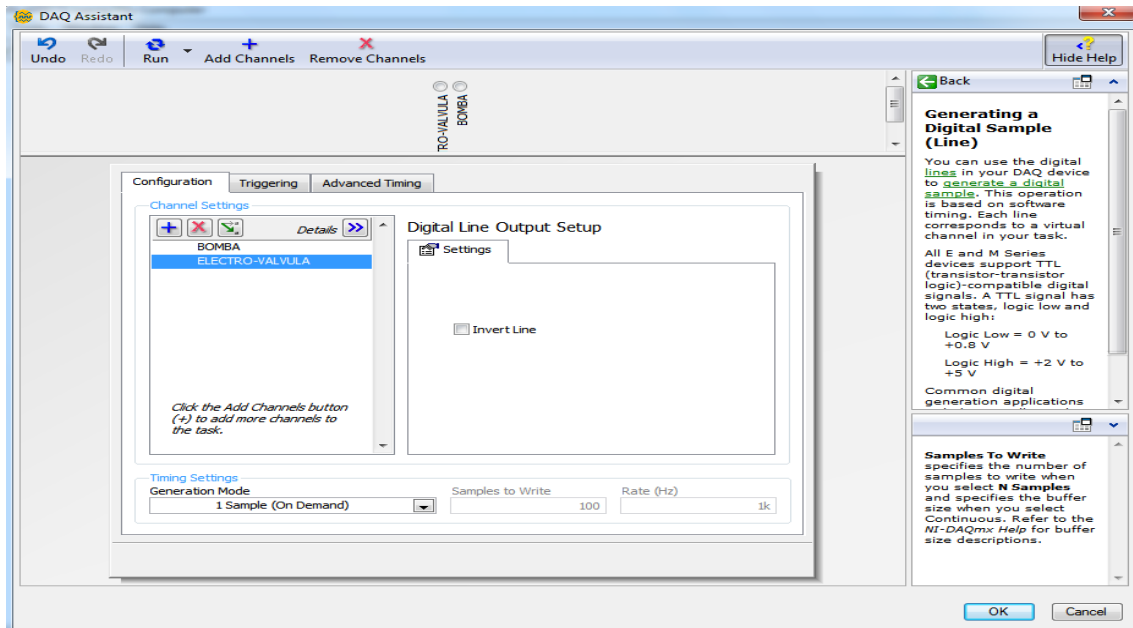


Figura 3. 17 Identificación de Variable discretas para voltajes.

Fuente: El Autor

El siguiente código permite gestionar y determinar el estado en el que se encuentra el funcionamiento de la DAQ, permitiendo gestionar los posibles errores o alertas que se presentaran en la comunicación entre el software de control y la máquina.

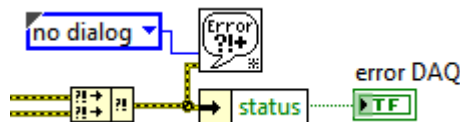


Figura 3. 18 Código para identificar y gestionar el estado y funcionamiento de la DAQ.

Fuente: El Autor

Las señales adquiridas analógicamente son procesadas internamente en la DAQ por medio del uso de las escalas, esto permite transformar el voltaje obtenido de los sensores y escalarlos a su forma física como son presión, caudal, y distancia, lo que permite tener presente esta información para visualizarla.

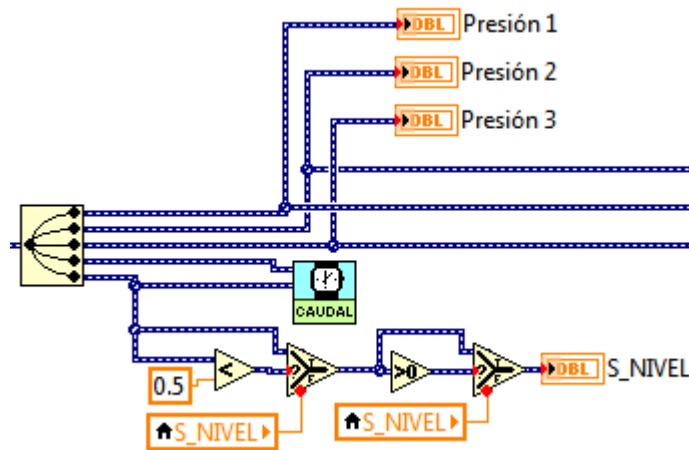


Figura 3. 19 Codificación para transformar el voltaje en información física.

Fuente: El Autor

Para poder almacenar los datos obtenidos del ensayo se utilizan los registros de almacenamiento, como son tres gráficas de presión se utilizan tres registros como se indica en la siguiente grafica de programación.

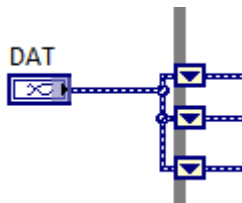


Figura 3. 20 Registro de Almacenamiento de datos.

Fuente: El Autor

Los datos se almacenarán cuando se encuentre operando en modo manual o automático, cuando se encuentre en el ciclo de almacenamiento de datos por medio del siguiente código.

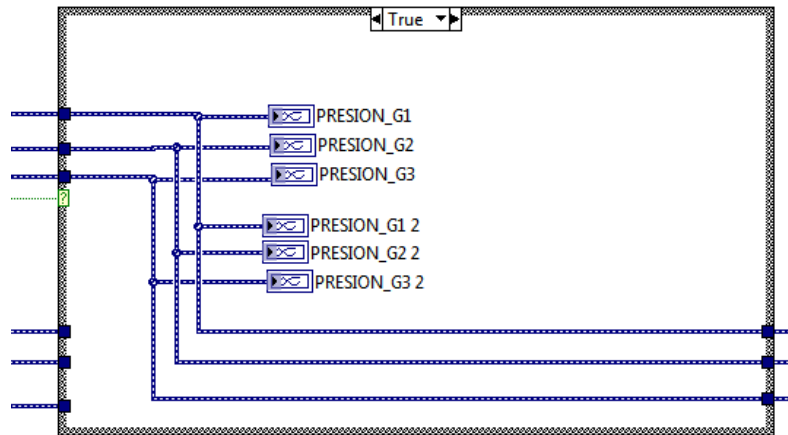


Figura 3. 21 Ciclo verdadero para almacenamiento de datos.

Fuente: El Autor

Si se llegara a necesitar un reset del sistema y borrar nuevamente los datos para un nuevo ensayo el siguiente código permite realizar un reinicio del sistema.

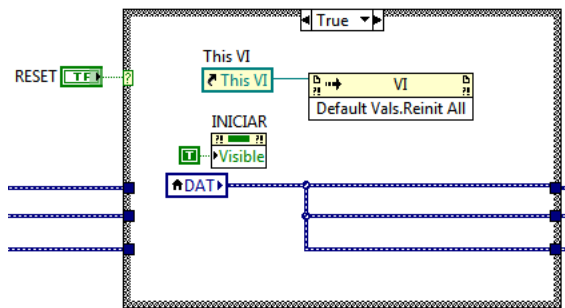


Figura 3. 22 Ciclo verdadero para reinicio del sistema.

Fuente: El Autor

Los reportes son esenciales permitiendo almacenar y guardar la información después de haber realizado un ensayo, en el reporte guardo datos de presión inicial, presión cuando hay flujo de agua y presión cuando se cierra la electroválvula, así como de presiones máximas y mínimas encontradas y las tres gráficas del ensayo, todo este reporte se lo realiza en formato Excel de office.

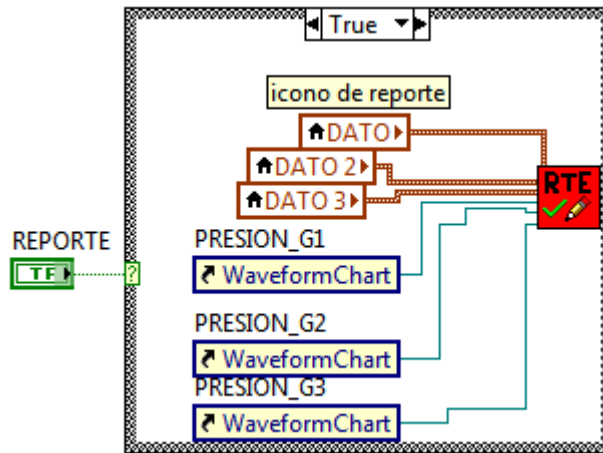


Figura 3. 23 Ciclo Verdadero para elaboración de Reportes.

Fuente: El Autor

El icono del reporte se describe en la siguiente gráfica, en ella se puede evidenciar que necesita datos de caudal, el análisis estadístico de los tres sensores de presión, y la referencia de las gráficas que se desea en el reporte.

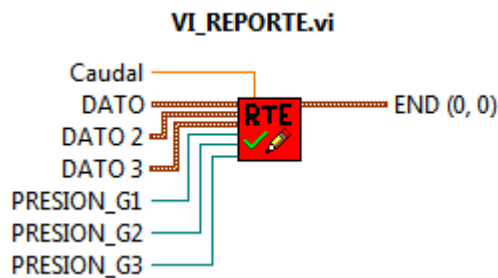


Figura 3. 24 Análisis Estadístico de los tres sensores para elaboración de reporte.

Fuente: El Autor

Internamente el subvi “REPORTE”, cuenta con programación de bajo nivel con el cual se determina que se va a insertar en el reporte, con la siguiente línea de código se inserta un encabezado en una hoja de Excel.

Par crear un archivo de Excel se debe configurar el siguiente icono.



Figura 3. 25 Icono para CREAR archivo en Excel.

Fuente: El Autor

Como siguiente paso en el reporte se insertará un encabezado general con el LOGO de la empresa involucrada o la institución en la que se va a utilizar la aplicación, se indica en la siguiente figura se utiliza texto línea por línea y se concatena es decir se une todo el texto.

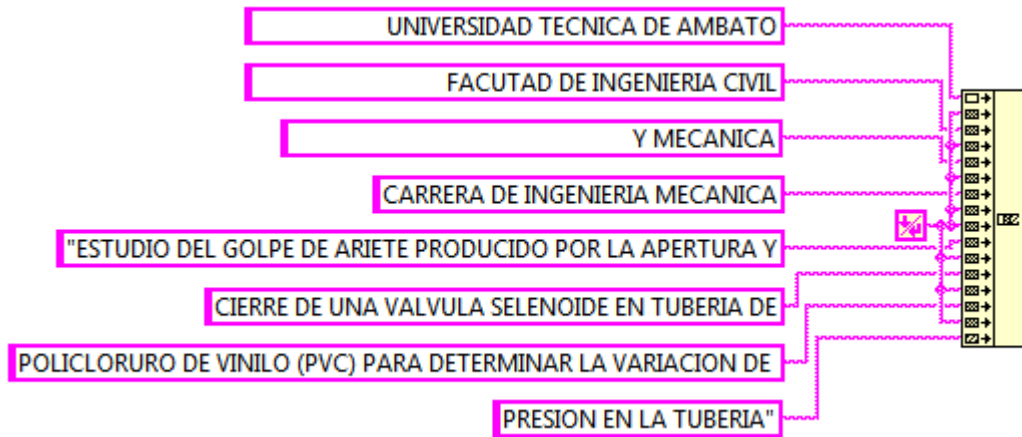


Figura 3. 26 Encabezado Reporte.

Fuente: El Autor

Con la siguiente línea de programación se escribe sobre el documento de Excel y se configura parámetros como tamaño de letra, centrado y en negrita.

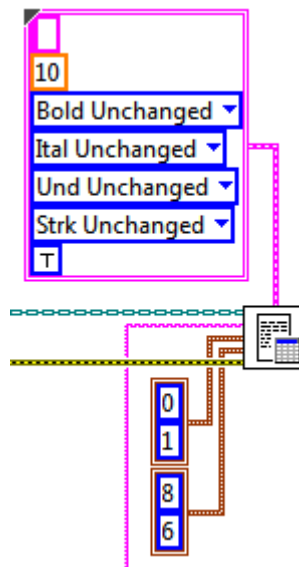


Figura 3. 27 Configuración de parámetros de estilo en Excel.

Fuente: El Autor

Para insertar un título general se utiliza la siguiente programación, y se configura la localización en el documento, las coordenadas (x,y) indican que el texto se ubicara en la coordenada (3,9).

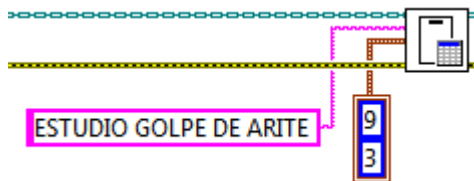


Figura 3. 28 Coordenadas para ubicación del título en el reporte de Excel.

Fuente: El Autor

En la siguiente programación se describirá la hora y la fecha que se realizó el estudio, y el usuario o autor del mismo concatenándolo en un solo texto.

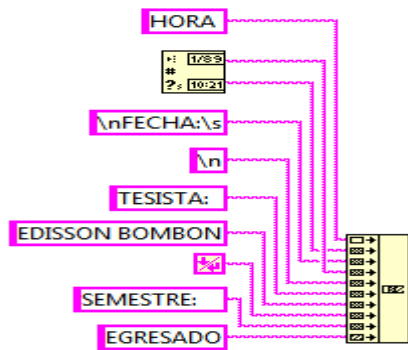


Figura 3. 29 Configuración de fecha y hora de ejecución del ensayo; y quien lo ejecuto.

Fuente: El Autor

La siguiente configuración permite insertar un encabezado con datos escritos anteriormente con la hora y la fecha cuando se realizó el estudio y el usuario o autor del mismo, en las coordenadas (1,11), hasta (3,14).

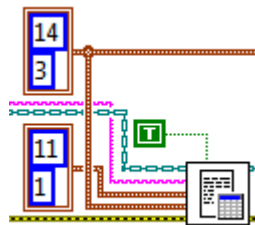


Figura 3. 30 Configuración de datos escritos con la hora y fecha de estudio.

Fuente: El Autor.

Luego se debe insertar los datos que se desea vincular en el reporte, este paso se lo reanaliza tres veces por cada uno de los sensores de presión.

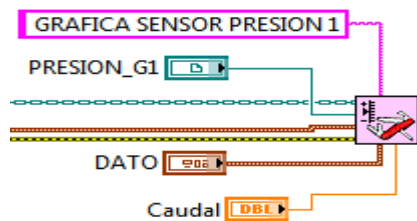


Figura 3. 31 Vinculación de reporte para cada sensor.

Fuente: El Autor

El siguiente subvi describe los parámetros que necesita para insertar un reporte del evento, los principales parámetros configurados son la referencia de la gráfica a presentar, los datos con el estudio estadístico de cada uno de las gráficas, el nombre del ensayo y el caudal con el que se realizó el estudio.

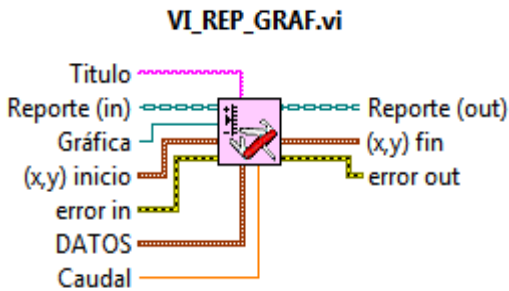


Figura 3. 32 Configuración de datos de referencia en la gráfica.

Fuente: El Autor

El subvi requiere el parámetro “DATO”, este valor tiene internamente otros valores los cuales se describen en la siguiente línea de programación.

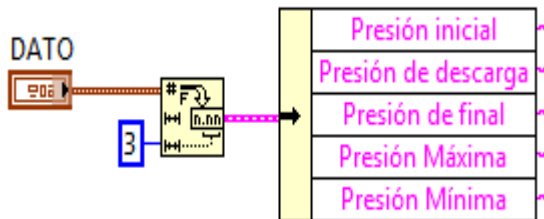


Figura 3. 33 Programación de variantes de presión.

Fuente: El Autor

Estos valores ya son transformados a texto y son concatenados en una sola variable con la siguiente nomenclatura: “PRESIÓN INICIAL= xxx (Bar)”, “PRESIÓN DESCARGA= xxx (Bar)”, “PRESIÓN FINAL= xxx (Bar)”, “PRESIÓN ARIETE= xxx (Bar)”, “PRESIÓN MÍNIMA= xxx (Bar)”, “CAUDAL= xxx (lt/s)”, respectivamente.

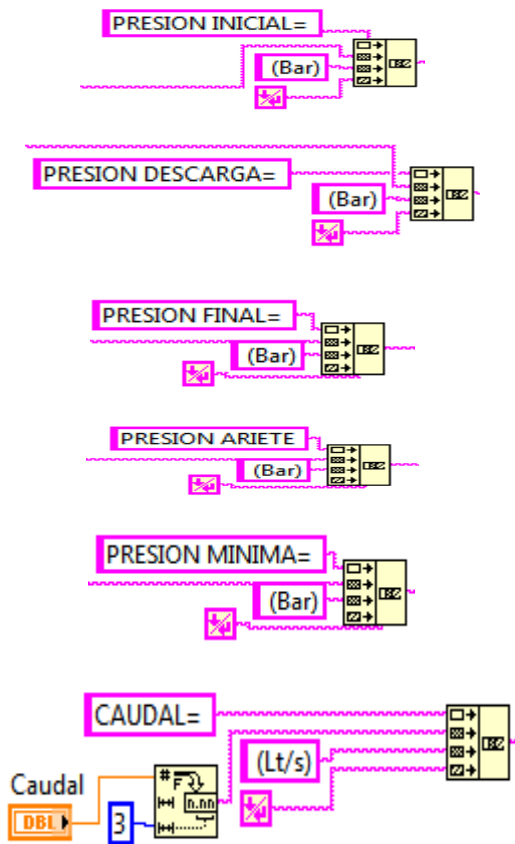


Figura 3. 34 Valores de presiones y caudal transformadas en texto.

Fuente: El Autor

Ya insertado toda la información en el reporte, la siguiente programación permite controlar el explorador de documento de Windows, con el cual podemos determinar una ubicación para guardar el reporte del ensayo.

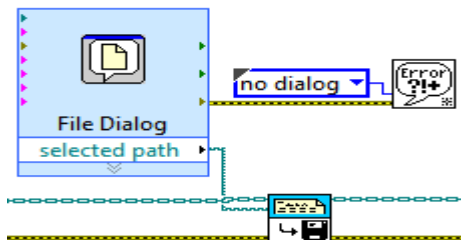


Figura 3. 35 Explorador de documento de Windows.

Fuente: El Autor

Ya que se guarde el documento internamente el software cierra el documento generado y cierra también el enlace con el documento de Excel.

El siguiente código permite gestionar los posibles errores o alertas que se presentaran en la comunicación entre el LabVIEW y Excel.

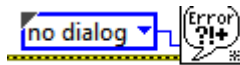


Figura 3. 36 Código para gestionar errores entre LabVIEW y Excel.

Fuente: El Autor.

En algunas ocasiones la transformación física de unidades no es posible dentro de la configuración DAQ por lo que hay que utilizar una formula obtenida ya sea por ensayo o calculo que permita transformar unidades, como lo indica la siguiente programación.

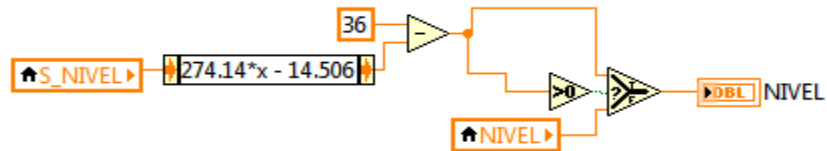


Figura 3. 37 Formula para transformar unidades.

Fuente: El Autor

Con la siguiente programación se crea un registro de almacenamiento con parámetros de inicio en cero.

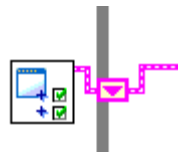


Figura 3. 38 Registro de Parámetros con inicio cero.

Fuente: El Autor

La configuración del subvi indica que hay un dato de salida con el nombre “DATOS OUT”.

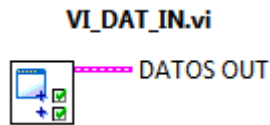


Figura 3. 39 Dato de Salida.

Fuente: El Autor

Internamente ese dato es una unión de cuatro vectores con valor cero.

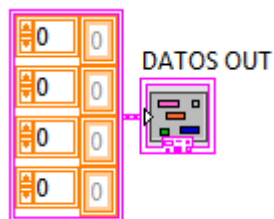


Figura 3. 40 Enlace de vectores con valor cero.

Fuente: El Autor

Cada vez que se ejecuta un ciclo de ensayo se guardan datos por separado tanto de la presión de inicio de ensayo la de presión de válvula libre y presión de válvula cuando se cierra, como se indica en la siguiente programación se está guardando datos de la presión de inicio de ensayo para un posterior estudio estadístico.

Luego de adquirir los valores de los sensores con el siguiente icono podemos separar las 5 señales de los sensores utilizados.

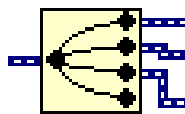


Figura 3. 41 Separador de señales de los sensores.

Fuente: El Autor.

La siguiente programación se la debe realizar tres veces una por cada sensor de presión utilizado.

La señal de presión es guardada en dos vectores la una para el análisis de la “PRESIÓN INICIAL”, y la otra para el análisis de la presión total en la que se determinara la máxima y mínima presión presente en el estudio.

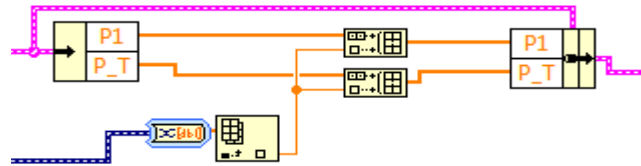


Figura 3. 42 Análisis de presión inicial.

Fuente: El Autor

En la segunda fase del ciclo de ensayo se guarda los datos de la presión en dos vectores una para el análisis de la “PRESIÓN DESCARGA”, y la otra para el análisis de la presión total en la que se determinara la máxima y mínima presión presente en el estudio.

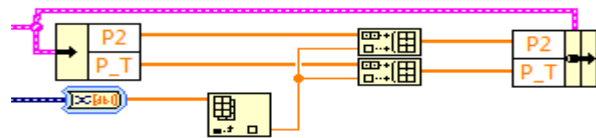


Figura 3. 43 Análisis de presión de Descarga

Fuente: El Autor

En la tercera fase del ciclo de ensayo se guarda los datos de la presión en dos vectores una para el análisis de la “PRESIÓN FINAL”, y la otra para el análisis de la presión total en la que se determinara la máxima y mínima presión presente en el estudio.

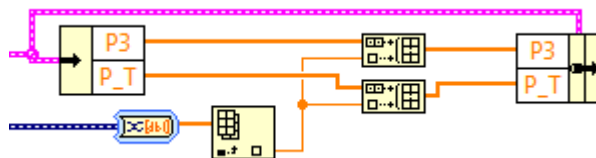


Figura 3. 44 Análisis de presión de Final

Fuente: El Autor

Una vez recolectado los datos del estudio la siguiente línea de programación realiza un estudio estadístico de los valores obtenidos obteniendo los siguientes datos.



Figura 3. 45 Estudio Estadístico de los valores obtenidos.
Fuente: El Autor

El subvi realiza un análisis estadístico y se obtiene los siguientes datos que se describen a continuación.

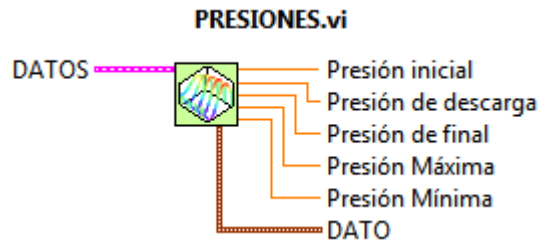


Figura 3. 46 Obtención de Datos.
Fuente: El Autor

El análisis estadístico lo realiza con la siguiente programación, en ella se determina la media aritmética de cada una de las tres fases del ensayo de presión.

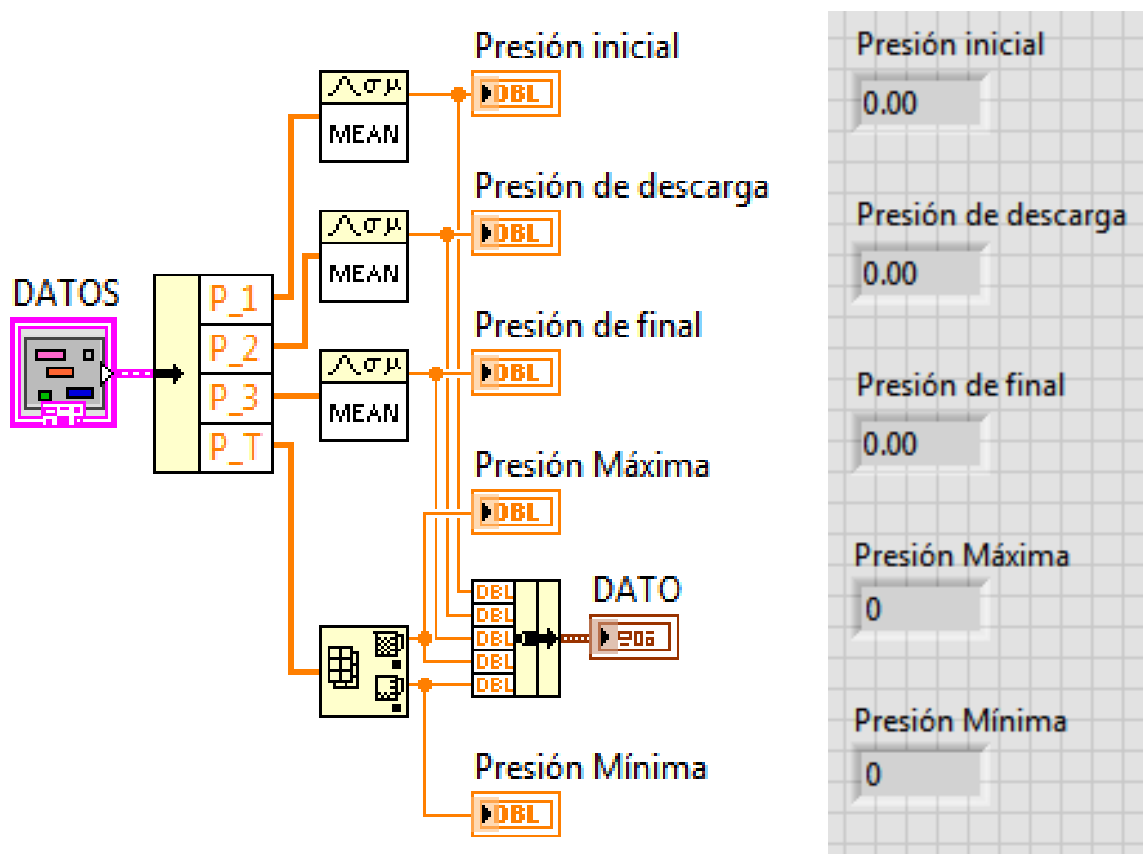


Figura 3. 47 Media aritmética de cada una de las tres fases.

Fuente: El Autor

Antes de iniciar el modo automático el sistema configura todas las variables a cero, utilizando el siguiente código cabe decir que las acciones están realizadas tres veces ya que se tienen tres presiones.

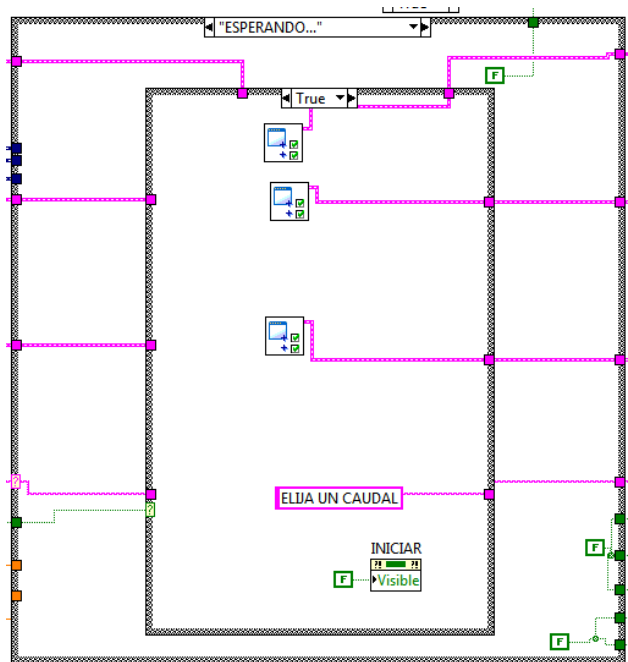


Figura 3. 48 Configuración de variables a cero previo al inicio Automático.

Fuente: El Autor

Cuando se inicia un análisis automático el primer parámetro que se configura es el caudal para ello elegimos una altura de nivel de líquido, recordemos que la altura es proporcional al caudal que circula por el sistema.

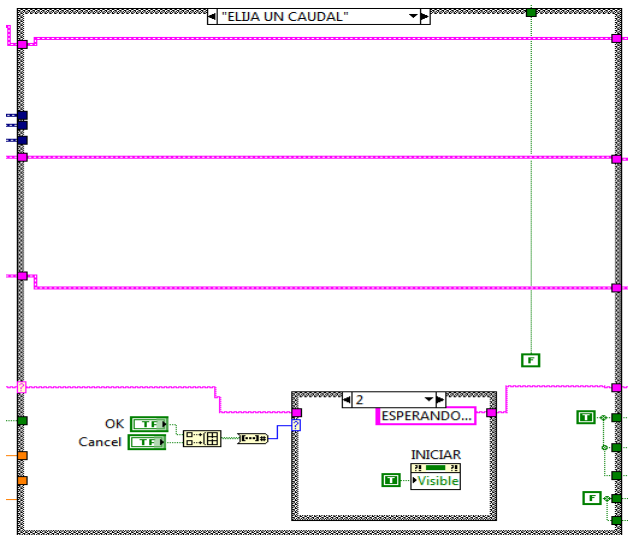


Figura 3. 49 Selección de Caudal.

Fuente: El Autor

Una vez elegido la altura de líquido requerido el sistema elige que acción realizar, para compensar o no el nivel de líquido, con el siguiente código.

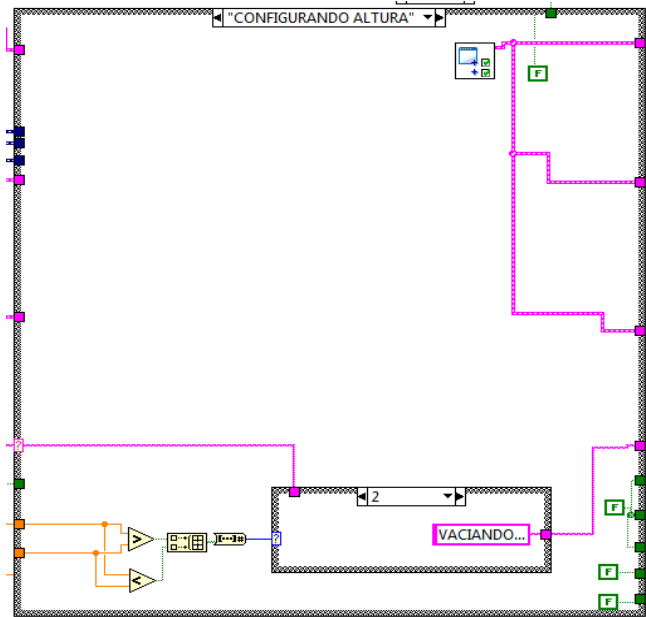


Figura 3. 50 Análisis de columna de agua.

Fuente: El Autor

Si el nivel de líquido es bajo al nivel deseado. El programa compensará lo que falta de líquido activando la bomba hasta que el nivel de líquido requerido con el actual sea igual.

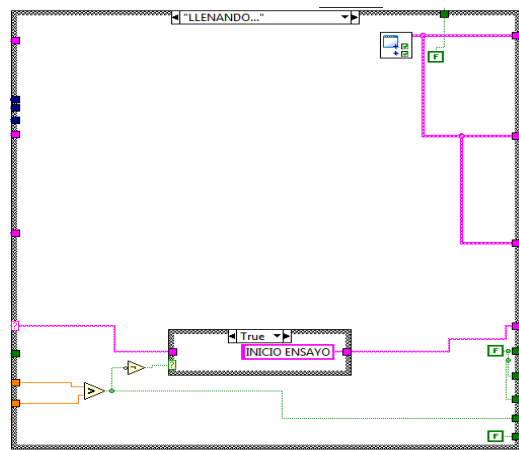


Figura 3. 51 Verificación de columna de agua parte verdadera.

Fuente: El Autor

Caso contrario si el líquido deseado se encuentra por debajo de la cota de líquido, el programa compensara las alturas activando la electroválvula.

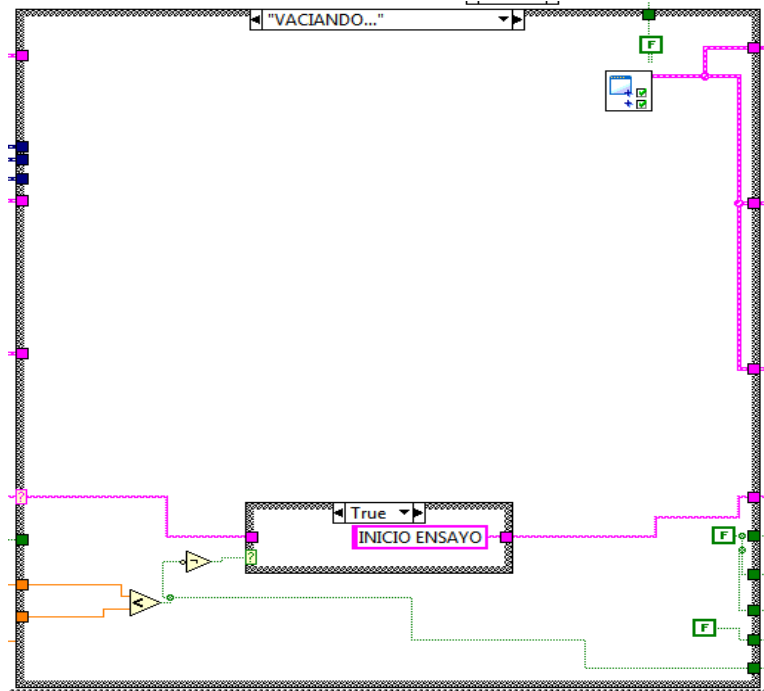


Figura 3. 52 Verificación de columna de agua parte Falsa.

Fuente: El Autor

Cuando el líquido se encuentre en condiciones apropiadas el sistema empezará a adquirir datos antes, durante y después de controlar la electroválvula.

El sistema adquiere datos de presiones y caudales presentes para el ciclo antes de activar la electroválvula.

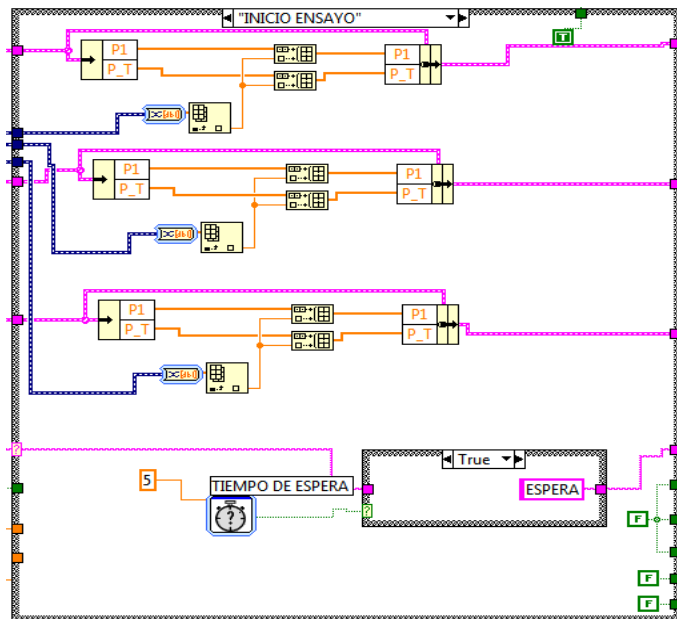


Figura 3. 53 Adquisición de datos previos a la apertura de la válvula solenoide.

Fuente: El Autor

El sistema adquiere datos durante el evento cuando la electroválvula se activa dejando pasar el flujo de líquido.

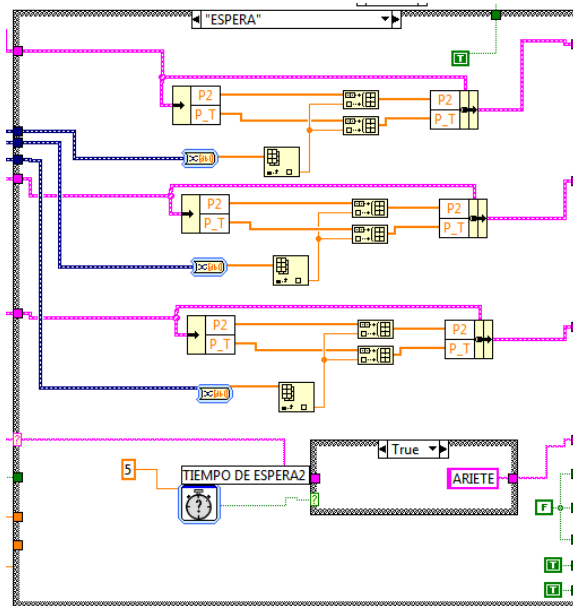


Figura 3. 54 Adquisición de datos en apertura de válvula solenoide.

Fuente: El Autor

El programa adquiere datos cuando la electroválvula se cierra y es en este momento se obtiene la presión de ariete.

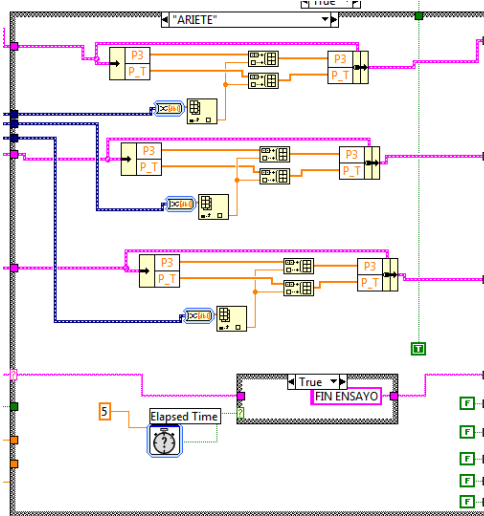


Figura 3. 55 Adquisición de datos en cierre de válvula solenoide.

Fuente: El Autor

Una vez que se realiza el ensayo se procede a realizar el reporte con toda la información del ensayo.

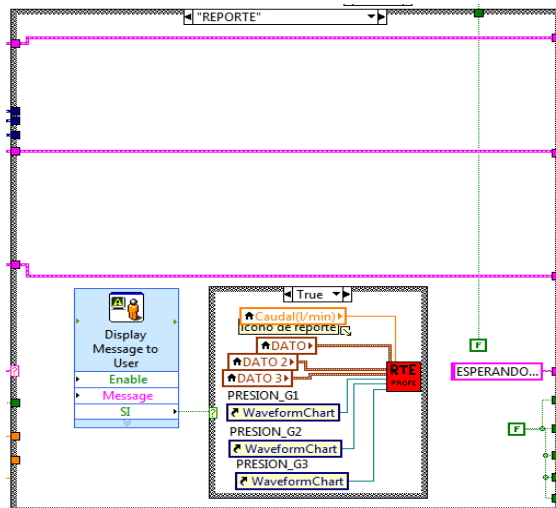


Figura 3. 56 Ejecución de reporte en modo automático.

Fuente: El Autor

Tabla de componentes

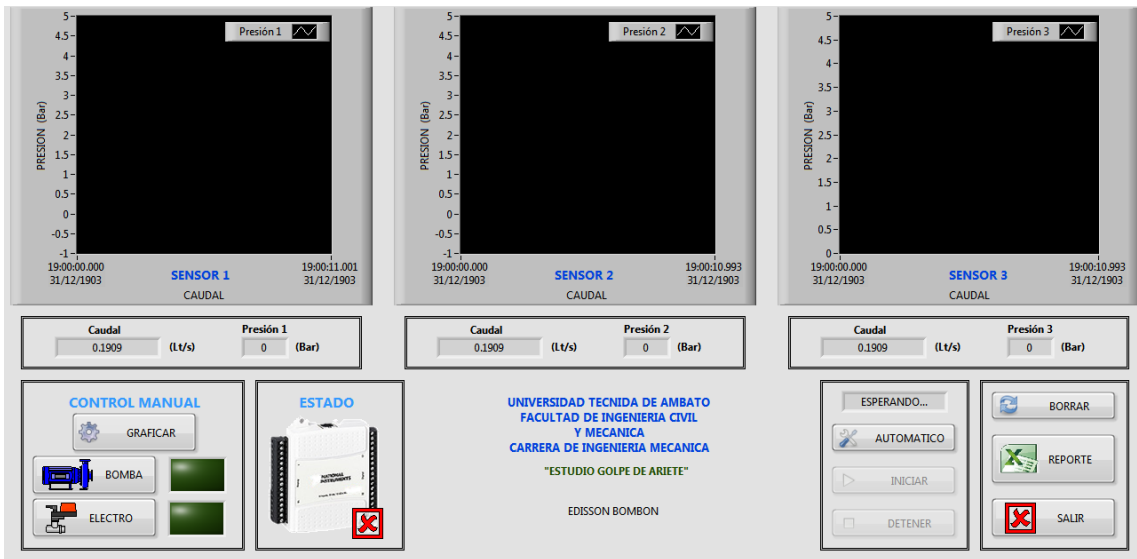






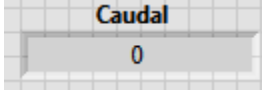
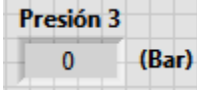
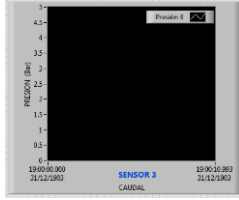

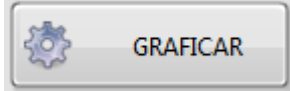





Figura 3. 57 Ventana de componentes del Software.

Fuente: El Autor

Tabla 3.19 Componentes de la venta del software para inicio del ensayo.

ELEMENTO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
 AUTOMATICO	Automático	Este botón permite activar o desactivar la función de automático o manual
 INICIAR	Iniciar	Es el botón de acción para iniciar un nuevo ensayo.
 DETENER	Detener	Permite detener el ensayo en cualquier instante de tiempo.
 BORRAR	Borrar	Si se desea crear un nuevo ensayo con datos nuevos es recomendable presionar este botón.
 REPORTE	Reporte	Con esta función se puede realizar un reporte en excel con los datos presentes en ese momento.

	<p>Salir</p>	<p>Si se presiona este botón permite abandonar el programa de control en cualquier momento.</p>
	<p>Caudal</p>	<p>Este es un indicador en el que se visualiza el caudal que circula en la tubería.</p>
	<p>Presión</p>	<p>Este es un indicador en el que se visualiza la presión que circula en la tubería.</p>
	<p>Grafica de presión</p>	<p>Este es un indicador en el que se visualiza la presión en tiempo real presente en la tubería cuando se realiza un ensayo.</p>
	<p>Estado del ensayo</p>	<p>En este se visualiza el estado en el que se encuentra el ensayo.</p>
	<p>Graficar</p>	<p>Funciona en modo manual y permite iniciar la recolección de datos para graficar.</p>
	<p>Bomba</p>	<p>Funciona en modo manual y permite activar la bomba de agua.</p>
	<p>Electro</p>	<p>Funciona en modo manual y permite activar la electroválvula.</p>
	<p>DAQ</p>	<p>Indica si esta la PC conectada a la máquina por medio del cable USB.</p>

Fuente: El Autor

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



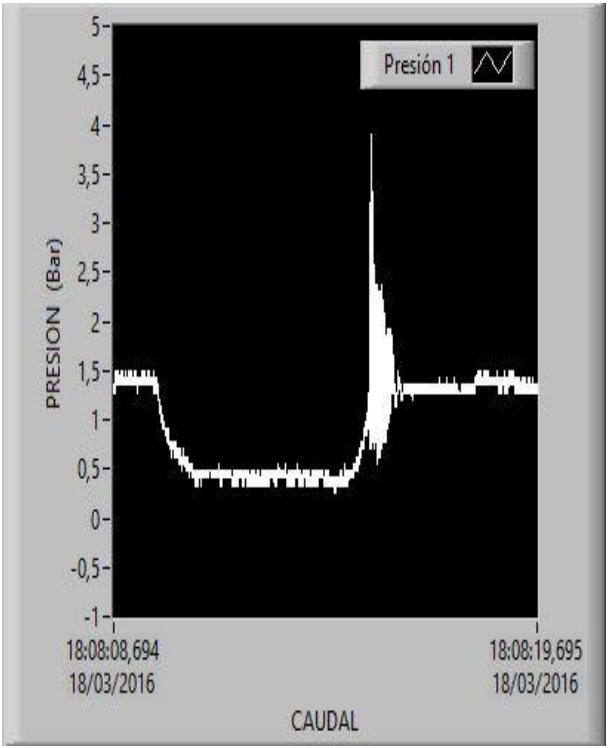
4.1 Recolección de datos

Una vez realizado el ensayo en el banco de pruebas hidráulico, se llegó a obtener los siguientes reportes de las variaciones de presión que se dieron en cada uno de los puntos en que se encuentran ubicados los sensores de presión a caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s, que fueron constantes a lo largo del ensayo.

Para su mejor comprensión y debido a que en LabVIEW no se tiene la facilidad de obtener una buena presentación se procedió a realizar de los reportes originales, estos nuevos reportes con una mejor presentación y por ende obtener un mejor entendimiento del ensayo.



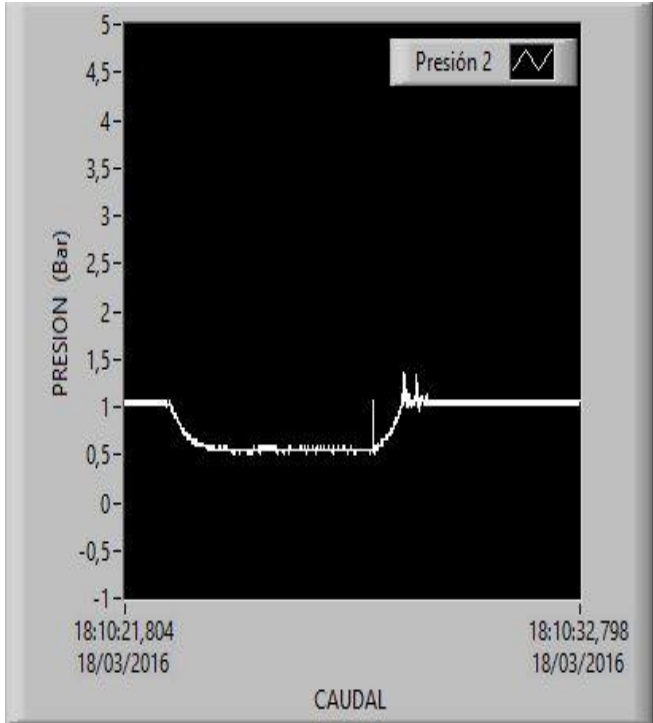
Los reportes originales se los puede apreciar en el Anexo K.

Ficha 4.1 Tabla de reporte de variación de presión del sensor uno con un caudal de 0,3lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio	Experimental	Ítem	R1	
Fecha de Ejecución	18/03/2016			
Lugar de Estudio	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido	Agua (H2O)	Caudal:	0,3 lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:		4,0 m		
SENSOR DE PRESION #1				
PRESIÓN INICIAL (Tubería Llena)	1,319 Bar	<div style="text-align: center;">GRAFICA PICOS DE PRESIÓN</div> 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,505 Bar			
PRESIÓN MÍNIMA (Subpresion)	0,262 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	3,019 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	1,250 Bar			



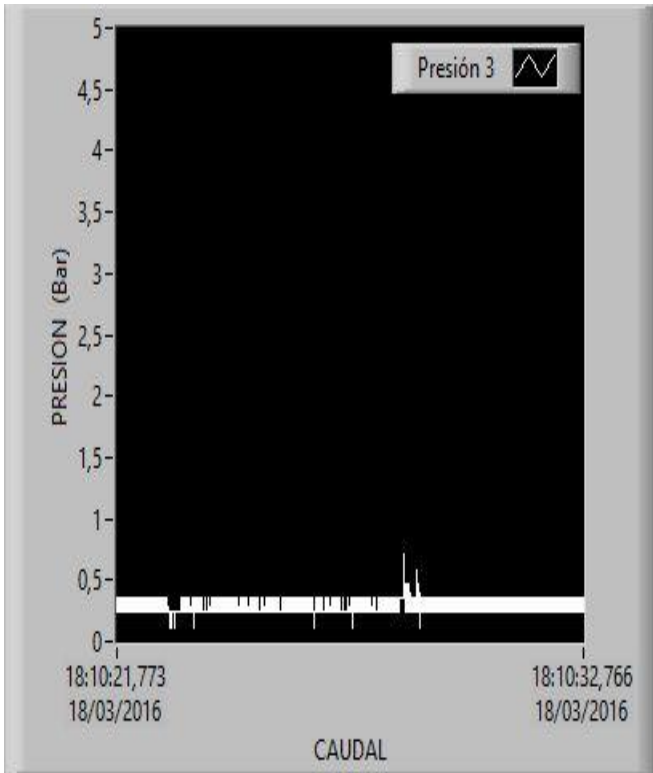
Fuente: El Autor

Ficha 4.2 Tabla de reporte de variación de presión del sensor dos con un caudal de 0,3lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio	Experimental	Ítem	R1.1	
Fecha de Ejecución	18/03/2016			
Lugar de Estudio	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido	Agua (H2O)	Caudal:	0,3 lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #2				
PRESIÓN INICIAL (Tubería Llena)	1,046 Bar	GRAFICA PICOS DE PRESIÓN 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,598 Bar			
PRESIÓN Mínima (Subpresion)	0,516 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	1,329 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	1,013 Bar			



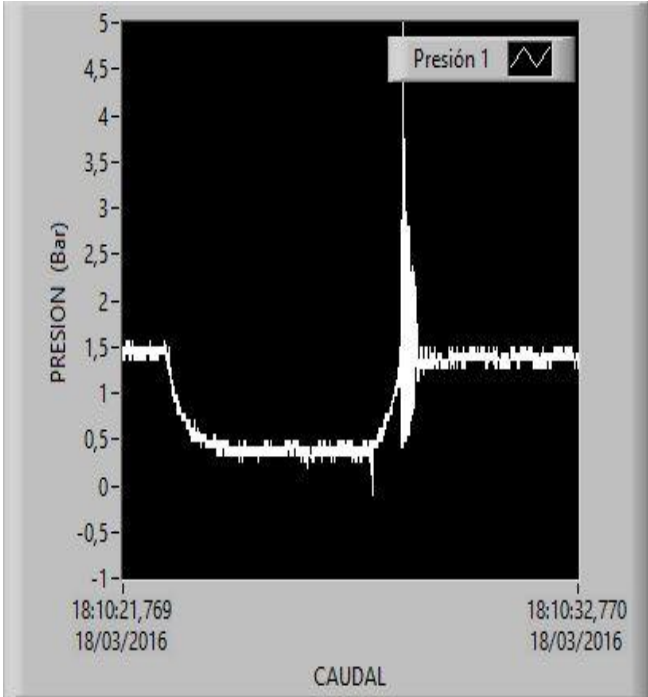
Fuente: El Autor

Ficha 4.3 Tabla de reporte de variación de presión del sensor tres con un caudal de 0,3lt/s.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R1.2	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,3lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #3				
		GRAFICA PICOS DE PRESIÓN		
PRESIÓN INICIAL (Tubería Llena)	0,325 Bar			
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,243 Bar			
Presión Mínima (Subpresion)	0,118 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	0,708			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	0,319			



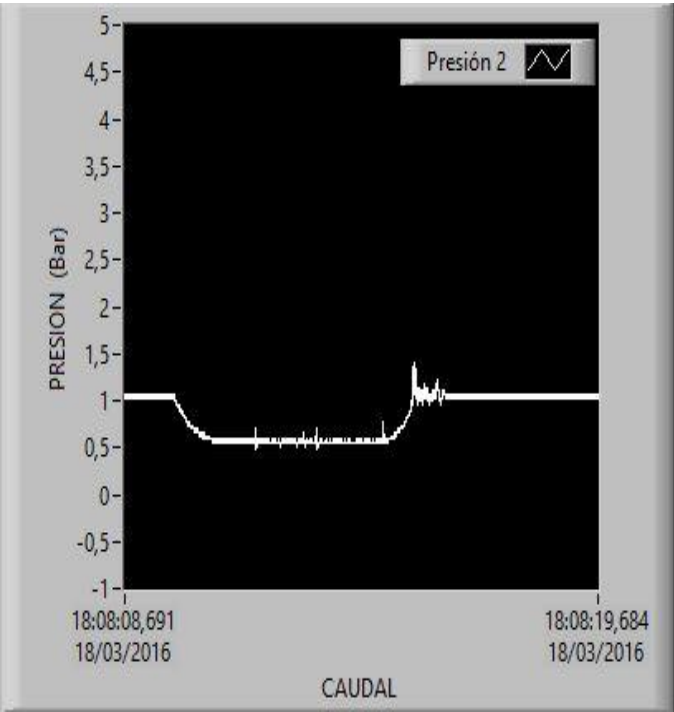
Fuente: El Autor

Ficha 4.4 Tabla de reporte de variación de presión del sensor uno con un caudal de 0,4lt/s.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R2	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,4lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #1				
PRESIÓN INICIAL (Tubería Llena)	1,401 Bar	GRAFICA PICOS DE PRESIÓN 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,465 Bar			
Presión Mínima (Subpresión)	0,262 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	3,672 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	1,292 Bar			



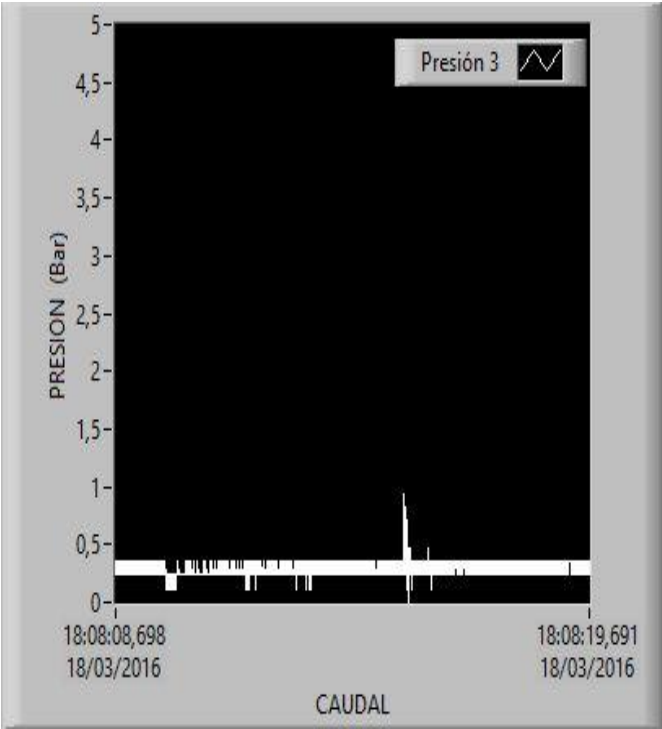
Fuente: El Autor

Ficha 4.5 Tabla de reporte de variación de presión del sensor dos con un caudal de 0,4lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R2.1	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,4lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #2				
PRESIÓN DE INICIAL (Tubería llena)	1,037 Bar	<div style="text-align: center;"> GRAFICA PICOS DE PRESIÓN </div> 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,607 Bar			
Presión Mínima (Supresión)	0,479 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	1,366 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	1,011 Bar			



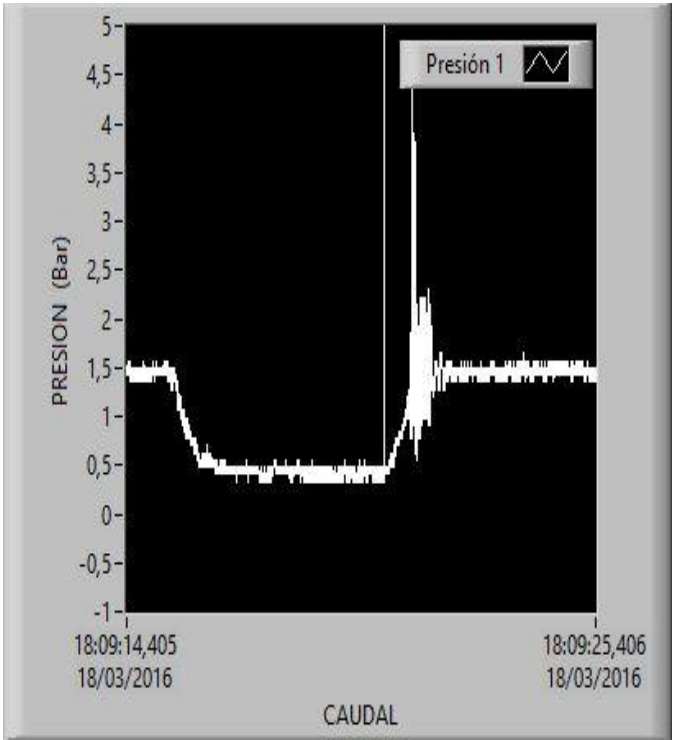
Fuente: El Autor

Ficha 4.6 Tabla de reporte de variación de presión del sensor tres con un caudal de 0,4lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R2.2	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,4lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #3				
PRESIÓN DE INICIAL (Tubería llena)	0,283 Bar	GRAFICA PICOS DE PRESIÓN 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,247 Bar			
Presión Mínima (Subpresión)	0,145 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	0,826 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	0,334 Bar			



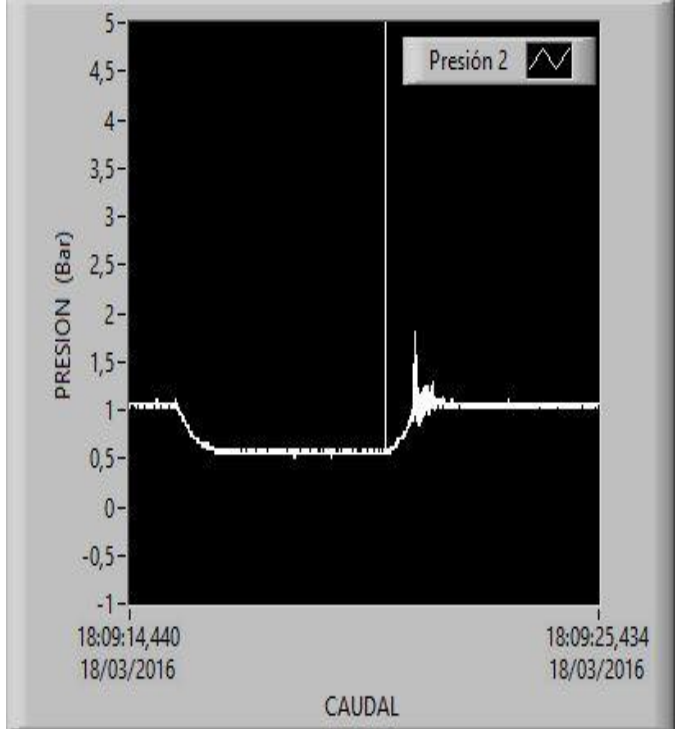
Fuente: El Autor

Ficha 4.7 Tabla de reporte de variación de presión del sensor uno con un caudal de 0,5lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R3	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,5lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #1				
PRESIÓN DE INICIAL (Tubería llena)	1,443 Bar	GRAFICA PICOS DE PRESIÓN 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,513 Bar			
Presión Mínima (Subpresión)	0,334 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	4,470 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	1,374 Bar			



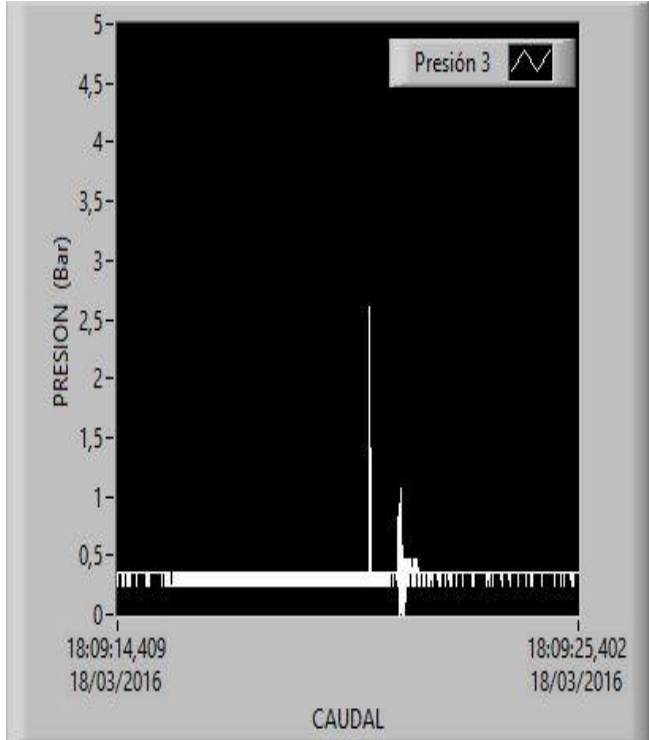
Fuente: El Autor

Ficha 4.8 Tabla de reporte de variación de presión del sensor dos con un caudal de 0,5lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R3.1	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,5lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #2				
PRESIÓN DE INICIAL (Tubería llena)	1,070 Bar	GRAFICA PICOS DE PRESIÓN 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,607 Bar			
Presión Mínima (Subpresión)	0,516 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	1,809 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	1,022 Bar			



Fuente: El Autor

Ficha 4.9 Tabla de reporte de variación de presión del sensor tres con un caudal de 0,5lt/s

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		REPORTE VARIACION DE PRESION		
Tipo de Estudio:	Experimental	Ítem:	R3.2	
Fecha de Ejecución:	18/03/2016			
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)			
Realizado por:	Edisson Bombón	Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga	
Parámetros Constantes del Ensayo				
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)	Caudal:	0,5lt/s	
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)	Diámetro de Tubería	1 pulg	
Longitud de tubería de Impulsión:	4,0 m			
SENSOR DE PRESION #3				
PRESIÓN DE INICIAL (Tubería llena)	0,353 Bar	GRAFICA PICOS DE PRESIÓN 		
PRESIÓN DESCARGA (Apertura de Válvula Solenoide)	0,279Bar			
Presión Mínima (Subpresión)	0,118 Bar			
PRESIÓN MÁXIMA (Cierre de Válvula Solenoide "ARIETE")	0,943 Bar			
PRESIÓN FINAL (Estabiliza)	0,352 Bar			

Fuente: El Autor

Ficha 4.10 Tabla de general de variaciones de presión en cada uno de los tres puntos donde se encuentran ubicados los sensores de presión, con un cierto caudal de experimentación de 0,3 – 0,4 y 0,5 lt/s.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
REPORTE VARIACION DE PRESION						
Tipo de Estudio:	Experimental		Ítem:	RT-4		
Fecha de Ejecución:	23/03/2016					
Lugar de Estudio:	Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)					
Realizado por:	Edisson Bombón		Revisado por:	Ing. Mg. Alex Mayorga		
Parámetros Constantes del Ensayo						
Tipo de Fluido:	Agua (H2O)		Caudal:	-		
Material Tubería:	Policloruro de Vinilo (PVC)		Diámetro de Tubería	1 pulg		
Longitud de tubería de Impulsión:			4,0 m			
CAUDAL	#SENSOR	P. INICIAL [Bar]	P. DESCARGA [Bar]	P. MINIMA [Bar]	P. MAXIMA [Bar]	P. FINAL [Bar]
Q = 0,3 lt/s	1	1,319	0,505	0,262	3,019	1,250
	2	1,046	0,598	0,516	1,329	1,013
	3	0,325	0,243	0,118	0,708	0,319
Q = 0,4 lt/s	1	1,401	0,465	0,262	3,672	1,292
	2	1,037	0,607	0,479	1,366	1,011
	3	0,283	0,247	0,118	0,826	0,334
Q = 0,5 lt/s	1	1,443	0,513	0,334	4,470	1,374
	2	1,070	0,607	0,516	1,809	1,022
	3	0,353	0,279	0,118	0,943	0,352

Fuente: El Autor

4.2 Análisis de Resultados

Para entender y analizar los datos obtenidos del presente proyecto de investigación, primero se procedió a realizar un análisis minucioso del Reporte 4.10, ya que en ella se encuentran todos los datos obtenidos a nivel general con los diferentes caudales que se planteó previo al estudio y obteniendo de ello los siguiente resultados:

Tabla 4. 1 Tabla de valores de presión para caudal de 0,3 lt/s en los tres sensores.

Q=3lt/s					
#Sensor	Presión Inicial[Bar]	Presión Descarga[Bar]	Presión Mínima[Bar]	Presión Máxima[Bar]	Presión Final[Bar]
1	1,319	0,505	0,262	3,019	1,250
2	1,046	0,598	0,516	1,329	1,013
3	0,325	0,243	0,118	0,708	0,319

Fuente: El Autor

De la Tabla anterior se pudo llegar a determinar que al momento de iniciar el ensayo la presión en la que se encuentra cada uno de los puntos oscila entre (0,325 a 1,319) el fenómeno del golpe de ariete produce una subpresión en los tres sensores que oscila de (0,118 a 0,598 Bar) esto entre el momento que se abre y se cierra la electro válvula (P. Descarga-P. Mínima). Y una sobrepresión que oscila entre (0,708 a 3,019 Bar) con lo cual al final de todo el fenómeno llegando a obtener una presión que oscila entre (0,319 a 1,250 Bar) pero de lo que podemos observar y deducir es que mientras sucede el fenómeno del golpe de ariete la presión es mayor en cada uno de los sucesos mientras más cercano se encuentra a la válvula solenoide los puntos de medición (sensores).

Tabla 4. 2 Tabla de valores de presión para caudal de 0,4 lt/s en los tres sensores.

Q=0,4 lt/s					
#Sensor	Presión Inicial[Bar]	Presión Descarga[Bar]	Presión Mínima[Bar]	Presión Máxima[Bar]	Presión Final[Bar]
1	1,401	0,465	0,262	3,672	1,292
2	1,037	0,607	0,479	1,366	1,011
3	0,283	0,247	0,118	0,826	0,334

Fuente: El Autor

En la tabla 4.2 podemos observar que el fenómeno a medida que aumenta el caudal las presiones máximas aumentan, pero si tomamos como relación la Tabla 4.1 y la Tabla 4.2 se pudo observar que obviando la presión máxima, no hubo un aumento en algunos valores en las otras presiones, mejor se pudo observar que decreció en ciertos puntos.

Tabla 4. 3 Tabla de valores de presión para caudal de 0,5 lt/s en los tres sensores.

Q=0,5 lt/s					
#Sensor	Presión Inicial[Bar]	Presión Descarga[Bar]	Presión Mínima[Bar]	Presión Máxima[Bar]	Presión Final[Bar]
1	1,443	0,513	0,334	4,470	1,374
2	1,070	0,607	0,516	1,809	1,022
3	0,353	0,279	0,118	0,943	0,352

Fuente: El Autor

En la Tabla 4.3 podemos observar que el valor de presión máxima a aumentando en gran cantidad en comparación con el fenómeno evaluado en el mismo instante pero en diferentes puntos y con los diferentes caudales.

Comparando los valores obtenidos de la Tabla 4.1 con los valores de la Tabla 4.2 y 4.3 se pudo deducir que en el mismo instante que se produce el fenómeno con diferentes caudales se puede obtener igual, mayor o menor valores de presión.

También se realizó un análisis de los valores de presiones máximas obtenidos teórica y experimentalmente.

Tabla 4. 4 Comparación de valores teóricos y prácticos de presiones máximas.

Caudal Q [lt/s]	P. Máxima Teórica [Bar]	P. Máxima Experimental [Bar]
0,3	2,351	3,019
0,4	3,135	3,672
0,5	3,919	4,470

Fuente: El Autor

Como podemos observar en la Tabla 4.4 tenemos una varianza entre los datos teóricos con los experimentales, tanto para caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.

Por lo tanto se procedió a encontrar el Error Relativo, mediante la siguiente formula.

$$E = \frac{(P_{max_e} - P_{max_t}) * 100}{P_{max_e}} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

E = Error Relativo

P_{max_e} = Presión Máxima Experimental. [Bar o Psi]

P_{max_t} = Presión Máxima Teórica [Bar o Psi]

Por lo tanto reemplazando datos en la Ecuación 4.1 se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 4. 5 Error Relativo de Presión Máxima Teórica con la Experimental a caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.

CAUDAL Q [lt/s]	Error Relativo[%]
0,3	22,13
0,4	14,62
0,5	12,33

Fuente: El Autor

Como podemos observar en la Tabla 4.5 que con un caudal de 0,3 lt/s el Error Relativo es de 22,13 %, para un caudal de 0,4 lt/s el Error Relativo es de 14,62 % y para un caudal de 0,5 lt/s el Error Relativo es de 12,33 %,

4.3 Verificación de la hipótesis

“Mediante la construcción de un banco de pruebas de hidráulico, se podrá replicar el fenómeno del golpe de ariete por apertura y cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC).”

Por medio de la adquisición de datos de variantes de presión en tiempo real, en diferentes puntos de la tubería se pudo tener una mejor apreciación de lo que sucede en la tubería al momento de abrir y cerrar una válvula solenoide. Mediante lo cual se pudo llegar a una relación entre la presión máxima teórica con la presión máxima experimental.

Los factores y parámetros hidráulicos que se tomaron en cuenta para la correcta producción del fenómeno del Golpe de Ariete, en el estudio teórico y práctico de la investigación fue: caudal, dimensiones y propiedades de tubería de impulsión, tipo de fluido y válvula a utilizar para apertura y cierre rápido. Mediante estos parámetros se llegó a construir el banco de pruebas hidráulico automatizado en su totalidad para ser controlado desde el ordenador y poder tomar las muestras de presiones en un tiempo real.

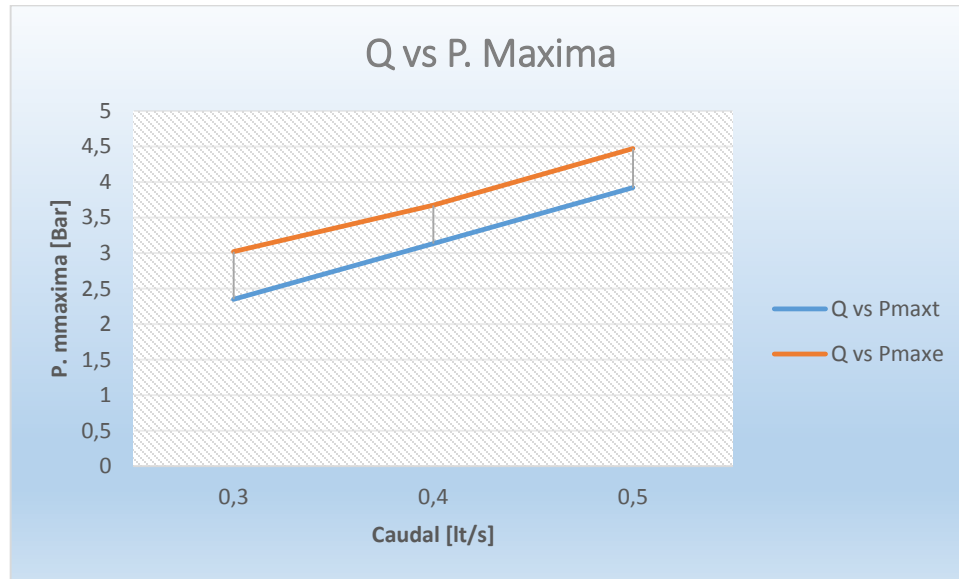
En el reporte 4.10, se puede observar los datos de presión inicial, presión de descarga, presión mínima, presión máxima y presión final, obtenidos experimentalmente mediante el software elaborado en LabVIEW para su adquisición y poderlos comparar con los realizados teóricamente que en si solo es el de presión máxima o sobre presión, pero para una mayor comprensión de lo que sucedía el fenómeno en cada punto se tomó más datos de presión.

Del Reporte 4.14 se pudo observar la comparación de los datos Teóricos y Experimentales de presión máxima o sobrepresión, obteniendo como resultado que el valor Experimental que se lo podría decir real ya que se lo obtuvo con equipo de precisión de $\pm 1\%$, se obtuvo un error relativo de 22,13%, 14,62% y 12,33%, a diferentes valores de caudal de 0,3 – 0,4 y 0,5 lt/s sucesivamente.

Deduciendo que a mayor caudal la precisión del cálculo de presión máxima teórico con el experimental disminuye.

En el Grafico 3.11 podemos observar que la curva obtenida teóricamente y la experimental son las mismas solo que desfasada la una de la otra una variación estimada de 0,585 Bar de Presión en general ya que los valores reales de desfase los podemos encontrar en el Reporte 4.15.

Gráfico 4. 1 Curva de presión máxima Teórica y Experimental a caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.

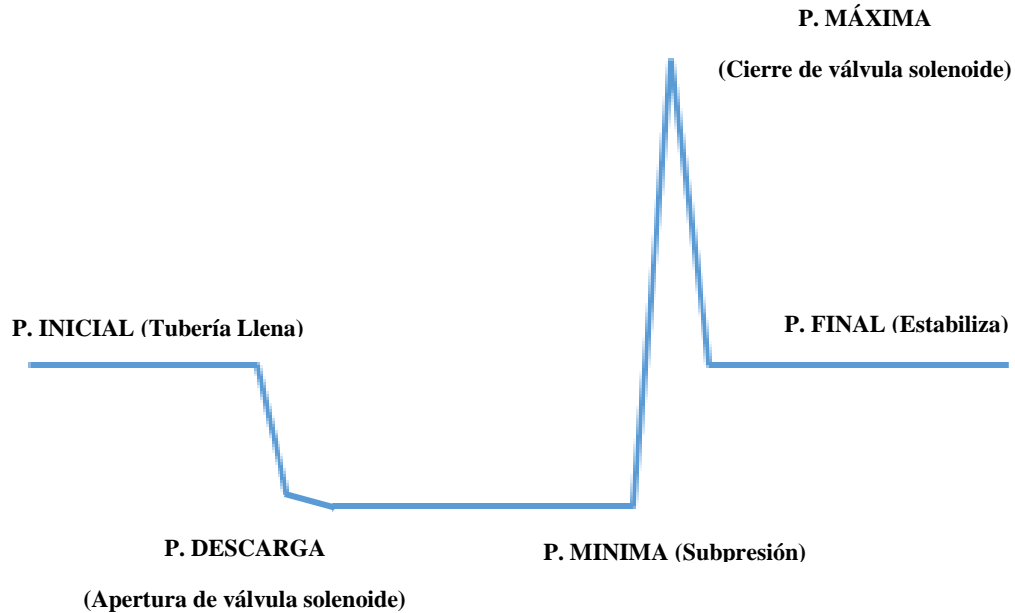


Fuente: El Autor

De lo investigado previo al estudio, se puede decir que la parte teórica que indica Méndez en la figura 2.3 es totalmente cierta ya que se la puede comparar con los datos experimentales de la presión inicial, presión de descarga, presión mínima, presión máxima, presión final todas ellas se producen al cerrar la electro válvula y por ende tiene base en la teoría que al momento de apertura o cierre brusco de una válvula se produce el fenómeno del golpe de ariete en sus diez pasos hasta que llega ser estable la presión que en nuestro caso sería la presión final del sistema y por la ubicación de los sensores podemos observar en la tabla 4.10 el sensor tres que es el que más alejado se encuentra de la electro válvula y más cercano del embalse, es el menos afectado por la onda de celeridad y por ende sufre un cambio menor, casi leve de presión.

De lo descrito anteriormente se pudo deducir el siguiente esquema en el cual se puede apreciar todo el ensayo del golpe de ariete.

Esquema 4.1 Presiones producidas durante el ensayo.



Fuente: El Autor

A continuación se demostrara la hipótesis por el método de T –Student, considerando las siguientes condiciones.

- Muestras de Varianza igual.
- Confiabilidad del 95%
- Hipótesis (H_0) = No existe diferencia significativa entre la P. Máxima Experimental con la P. Máxima Teórica producida por el del Golpe de Ariete en la tubería de policloruro de vinilo (PVC).
- Hipótesis (H_1) = SI existe diferencia significativa entre la P. Máxima Experimental con la P. Máxima Teórica producida por el del Golpe de Ariete en la tubería de policloruro de vinilo (PVC).
- Las variables vienen a ser las Presiones Máxima Experimental (Variable1) y las Presiones Máxima Teórica (Variable2) medidas en los ensayos a los tres diferentes caudales.

Tabla 4. 6 Variable 1 y 2 para el T- Student

Variable1	Variable 2
Presión Máxima_e	Presión Máxima_t
[Bar]	[Bar]
3,019	2,351
3,672	3,135
4,470	3,919

Fuente: El Autor

Mediante Excel y estadística descriptiva obtenemos la siguiente tabla.

Tabla 4. 7 Variable 1 y 2 para el T- Student

	Variable 1	Variable 2
Media	3,72033333333333	3,135
Varianza	0,52810233333333	0,614656
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0,57137916666666	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0,948389387836126	
P(T<=t) una cola	0,19831709820395	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184678632665	
P(T<=t) dos colas	0,3966341964079	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644510519779	

Fuente: El Autor

La teoría dice si Estadístico t es mayor que el Valor crítico de t (dos colas) se rechaza la Hipótesis Nula H_0 y por lo contrario se acepta.

Por lo tanto de la tabla 4,7 se puede observar que:

$$\text{Estadístico } t = 0,948389387836126$$

$$\text{Valor crítico de } t \text{ (dos colas)} = 2,77644510519779$$

Mediante lo cual se acepta la Hipótesis Nula (H_0), lo que quiere decir que si existe diferencia significativa entre la P. Máxima Experimental y la P. Máxima Teórica producida por el del Golpe de Ariete en la tubería de policloruro de vinilo (PVC).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La adquisición de datos de presión en el banco de pruebas hidráulico, es el más adecuado para ello ya que los datos obtenidos son en tiempos reales, con lo cual se puede apreciar con mayor exactitud las gráficas de presión en el momento que ocurre el fenómeno.
- Se pudo obtener datos digitales de presión en cada uno de los puntos ubicados en la tubería de policloruro de vinilo (PVC), obteniendo una presión máxima o sobrepresión de 3,019 [Bar] con un caudal de 0,3 [lt/s], una presión máxima o sobrepresión de 3,672 [Bar] con un caudal de 0,4 [lt/s] y una presión máxima o sobrepresión de 4,470 [Bar] con un caudal de 0,5 [lt/s],
- Uno de los parámetros hidráulicos principales para obtener una correcta producción del fenómeno del golpe de ariete es el Caudal ya que el caudal siempre debe ser constante cuando se abra y se cierre la válvula solenoide (ON-OFF).
- A mayor caudal mayor es el valor de presión máxima o sobrepresión.
- La longitud y diámetro de la tubería de impulsión es muy importante porque de esta depende la velocidad con la que circule el fluido y por ende interviene en el cálculo de la onda de celeridad.
- La variación de presión máxima o sobrepresión es mayor mientras cerca se encuentra a la electroválvula.
- Al momento de la apertura se producen caídas de presión o subpresión entre una Mínima y una de Descarga como se puede observar en la Tabla 4.10.
- Al disiparse la onda por completo, la Presión Final se torna estable y con un valor casi igual que la del Inicio como se puede observar en la Tabla 4.10.

- Los resultados obtenidos de presión máxima (sobrepresión) teóricos con los experimentales se puede deducir que tienen un error relativo de 22,33%, 14,62% y 12,33% para caudales de 0,3-0,4 y 5 lt/s sucesivamente.
- La grafica de Caudal vs Presión máxima o Sobrepresión, teórica comparada con la experimental se podría decir que son semejantes, como se puede observar en la gráfico 3.11.
- La válvula solenoide de bola es muy importante por su funcionamiento (ON-OFF) ya que produce una apertura y cierre muy rápido, y por ende una mejor producción del fenómeno del golpe de ariete.

5.2 RECOMENDACIONES

- Antes de conectar el cable del sistema de corriente eléctrica del banco de pruebas hidráulico, por cualquier eventualidad primero activar el paro de emergencia.
- Percatarse que la tubería de impulsión se encuentre llena de fluido (H₂O).
- En caso de fugas presionar el paro de emergencia y desconectar el cable de la fuente de corriente eléctrica.
- Realizar cambios ocasionales de agua tanto del embalse de impulsión como el de recirculación para evitar que las impurezas ocasionen un mal funcionamiento del sistema.
- Siempre al sensor de nivel ubicarlo por lo menos 15 cm más elevado de la columna de agua que tengamos pensado medir y ubicarlo en el centro para que la onda del sonido no choque en las paredes del embalse y produzca una discontinuidad.
- Si empieza a salir pequeñas cantidades de fluido por la salida de la tubería de impulsión se debe limpiar la válvula solenoide y eliminar las impurezas.
- Tener mucha cautela si se pretende subir donde se encuentra ubicado el embalse de impulsión, y realizarlo mínimo entre tres personas, dos personas haciendo contra peso y una persona más para que realice la acción.
- Al iniciar el ensayo tener mucha cautela y estar pendiente de que todo esté funcionando, de preferencia realizar primero una prueba en modo manual para luego realizarlo en modo automático.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Becerril, «Hidrodinamica,» 2014, pp. 615-629.

- [2] J. A. Soriano, Mecánica de fluidos y Termodinámica, Madrid - España: ISBN, 1996.

- [3] A. P. Lugo, «Golpe de Ariete: Causas, Efectos y Prevención,» UPR, Mayaguez - Puerto Rico, 2014.

- [4] R. F. Galarza, «Golpe de Ariete,» de *The National Environmental Services Center*, Morgantown, 2014.

- [5] E. B. W. V. L. Streeter, Mecanica de Fluidos, Bogota- Colombia: MC Graw - Hill, 2000.

- [6] R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, México: Pearson Educacion, 2006.

- [7] R. G. Abreu J., Transitorios y Oscilaciones en Sistemas Hidráulicos a Presión, 1994.

- [8] M. V. Mendez, Tuberías a Presión en Sistemas de Abastecimiento de agua, Caracas - Venezuela, 1997.

- [9] C. Mataix, Mecánica de Fluidos y Máquina Hidroeléctricas, Madrid España: Ediciones del Castillo S.A., 1986.

- [10] E. U. d. I. T. A. d. C. Real, «Ingenieria Rural,» [En línea]. Available: www.ingenieriarural.com. [Último acceso: 24-28 noviembre 2015].

- [11] N. & A. G. Azevedo, Teoría del Golpe de Ariete y sus Aplicaciones en Ingeniería Hidráulica, 1975.
- [12] Y. Mattarollo, «ALTEC,» 09 Enero 2014. [En línea]. Available: MATTAROLLO, Yamel. (2014,09 de Enero), ¿Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general? ALTEC. Web site: <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>. [Último acceso: 11 12 2015].
- [13] D. I. Automation, «Danfoss Industrial Automation,» May 2007. [En línea]. Available: http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/CDF180FA-4AFE-46AF-99A1-4E20A4FC1418/0/ICPS600A402_1_oms_solenoid_valves_how_to_use.pdf. [Último acceso: 17 Noviembre 2015].
- [14] P. Rival, «Tubería de PVC tipo roscable,» 2007. [En línea]. Available: PLASTICOS RIVAL. (2015). Tubos e PVC para presión tipo roscable. Web site:http://plasticosrival.com/wp-content/uploads/2013/10/PVC-Presion_Tipo_Roscable.pdf . [Último acceso: 18 12 2015].
- [15] M. Gomez, «Academia,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.detalles bombas centrifugas>. [Último acceso: 27 NOVIEMBRE 2015].
- [16] Seensing, «Sensores y ransductores,» 16 Diciembre 2015. [En línea]. Available: SENSING. (2015,16 de Diciembre), Sensores de Presión. Web site: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/. [Último acceso: 22 Diciembre 2015].

ANEXOS

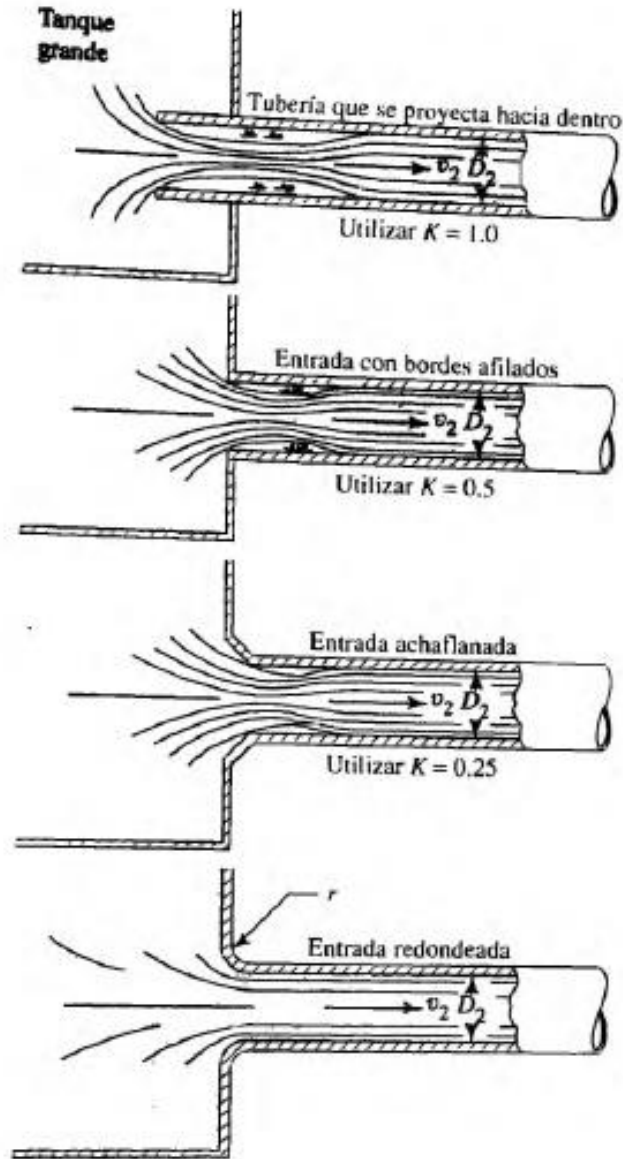
Anexo A.

Propiedades del Agua [6]

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo B.

Coficiente K. [6]



r/D_2	K
0	0.50
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
>0.15	0.04 (Bien redondeada)

Anexo C.

Coeficiente de Resistencia para válvulas y acoplamientos. [6]

a

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: Crane Valves, Signal Hill, CA.

Anexo D.

Factor de fricción en la zona de turbulencia completa. [6]

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Anexo E.

Hoja de datos de la bomba centrífuga.



PERFORMANCE RANGE

- Flow rate up to **40 l/min** (2.4 m³/h)
- Head up to **40 m**

APPLICATION LIMITS

- Manometric suction lift up to **8 m**
- Liquid temperature between **-10 °C** and **+60 °C**
- Ambient temperature up to **+45 °C**
- Max. working pressure: **6.5 bar**
- Continuous service **S1**

CONSTRUCTION AND SAFETY STANDARDS

EN 60335-1 EN 60335-2-41 EN 60034-1
 IEC 60335-1 IEC 60335-2-41 IEC 60034-1
 CEI 61-150 CEI 61-69 CEI 2-3



CERTIFICATIONS



INSTALLATION AND USE

Suitable for use with clean water that does not contain abrasive particles and liquids that are not chemically aggressive towards the materials from which the pump is made. Thanks to their reliability, the fact that they are easy to use and are economical, they are ideal for domestic use and in particular for distributing water in combination with small pressure sets and for the irrigation of gardens and allotments. The pump should be installed in an enclosed environment, or at least sheltered from inclement weather.

PATENTS - TRADE MARKS - MODELS

- Registered trade mark [®]PKm60 n° 009875394
- Patent Pending
- Motor bracket: patent n° IT1243605 (reduces the risk of the impeller locking after long periods of inactivity)
- Registered EC model n° 001894478

OPTIONALS AVAILABLE ON REQUEST

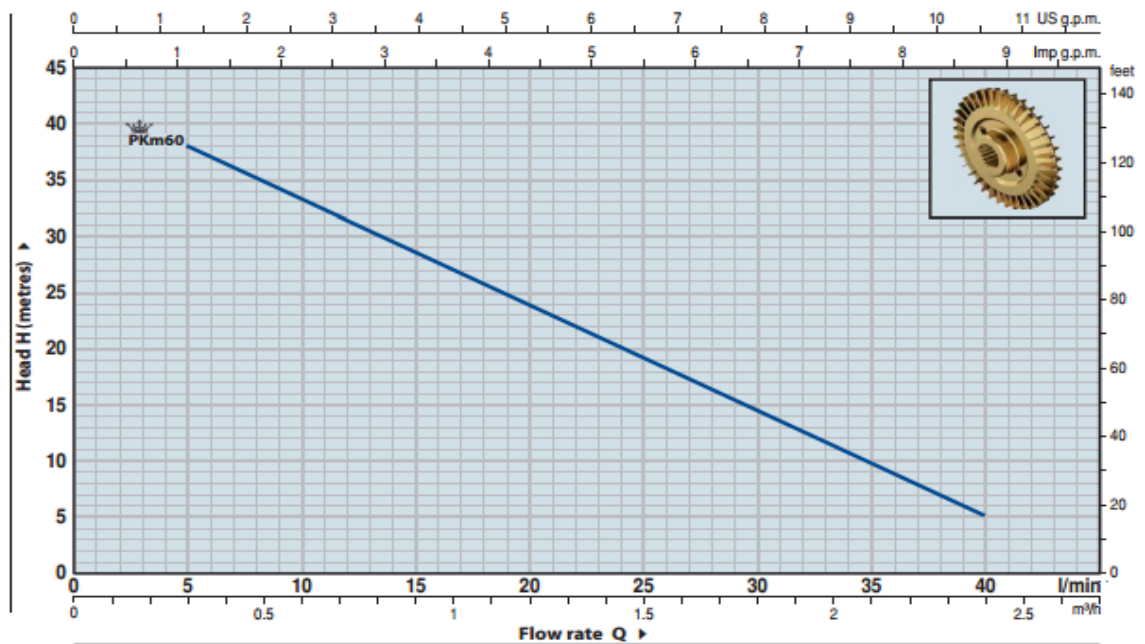
- Special mechanical seal
- Other voltages or 60 Hz frequency

GUARANTEE

2 years subject to our terms and conditions

CHARACTERISTIC CURVES AND PERFORMANCE DATA

50 Hz n= 2900 1/min HS= 0 m



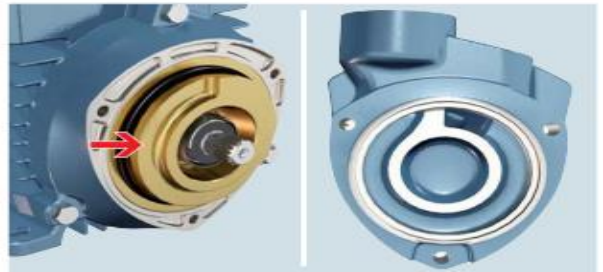
MODEL		POWER		Q	Flow rate											
Single-phase	Three-phase	kW	HP		m ³ /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4		
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40			
[®] PKm 60*	[®] PK 60*	0.37	0.50	H metres	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5			

Q = Flow rate H = Total manometric head HS = Suction height

Tolerance of characteristic curves in compliance with EN ISO 9906 App. A.

POS.	COMPONENT	CONSTRUCTION CHARACTERISTICS									
1	PUMP BODY	Cast iron, complete with threaded ports in compliance with ISO 228/1									
2	MOTOR BRACKET	Aluminium with brass insert (patented), reduces the risk of impeller seizure									
3	IMPELLER	Brass, with peripheral radial vanes									
4	MOTOR SHAFT	Stainless steel EN 10088-3 - 1.4104									
5	MECHANICAL SEAL	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seal</th> <th colspan="2">Shaft</th> </tr> <tr> <th>Model</th> <th colspan="2">Diameter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AR-12</td> <td colspan="2">Ø 12 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Seal	Shaft		Model	Diameter		AR-12	Ø 12 mm	
		Seal	Shaft								
		Model	Diameter								
AR-12	Ø 12 mm										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Materials</th> </tr> <tr> <th>Stationary ring</th> <th>Rotational ring</th> <th>Elastomer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ceramic</td> <td>Graphite</td> <td>NBR</td> </tr> </tbody> </table>		Materials			Stationary ring	Rotational ring	Elastomer	Ceramic	Graphite	NBR
Materials											
Stationary ring	Rotational ring	Elastomer									
Ceramic	Graphite	NBR									
6	BEARINGS	Model: 2 x 6201 ZZ									
7	CAPACITOR	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Capacitance</th> </tr> <tr> <th>(230 V or 240 V)</th> <th>(110 V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 µF 450 VL</td> <td>25 µF 250 VL</td> </tr> </tbody> </table>	Capacitance		(230 V or 240 V)	(110 V)	10 µF 450 VL	25 µF 250 VL			
		Capacitance									
(230 V or 240 V)	(110 V)										
10 µF 450 VL	25 µF 250 VL										
8	ELECTRIC MOTOR	<p>PKm: single-phase 230 V - 50 Hz with thermal overload protector built-in to the winding.</p> <p>PK: three-phase 230/400 V - 50 Hz.</p> <p>– Insulation: F class.</p> <p>– Protection: IPX4.</p>									

INNOVATIONS



IMPROVED ANTI-SEIZURE SYSTEM

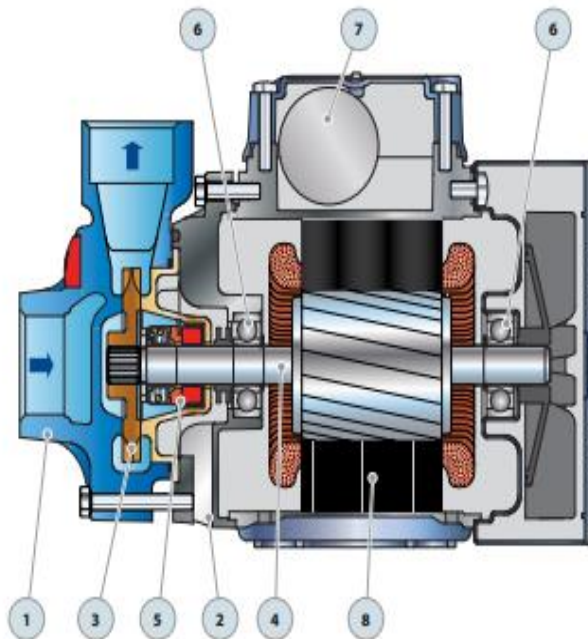
Freedom from seizure is guaranteed by:

- Motor bracket in aluminium incorporating patented brass insert
- Pump body electrostatically powder coated internally and externally with epoxy powder and polymerization at high temperature for increased resistance to rust.



IMPROVED IMPELLER LOCATION

New patented splined coupling system for locating the impeller on the shaft giving quieter operation and improved durability



IMPROVED

EFFICIENCY MOTOR

A new concept in electric motors with reduced operating temperature (-20°C) that improves the operating life, and better efficiency for reduced energy consumption.



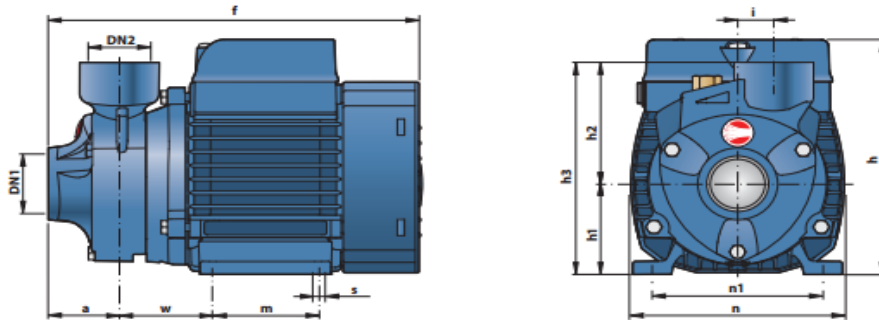
MORE COMPACT DESIGN

- More compact but with the same performance and connections as the previous model
- Allows more pumps to be packed per shipping container

IMPROVED PAINT PROTECTION

New paint process with resistance to aggressive environments four times better than previously

DIMENSIONS AND WEIGHT



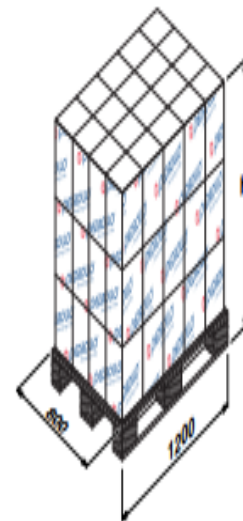
MODEL		PORTS		DIMENSIONS mm													kg	
Single-phase	Three-phase	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~	
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	39	207	145	56	75	131	20	55	118	96	53	7	5.2	5.2	

ABSORPTION

MODEL	VOLTAGE (single-phase)			MODEL	VOLTAGE (three-phase)			
Single-phase	230 V	240 V	110 V	Three-phase	230 V	400 V	240 V	415 V
PKm 60*	2.5 A	2.4 A	5.5 A	PK 60*	2.0 A	1.15 A	1.9 A	1.1 A

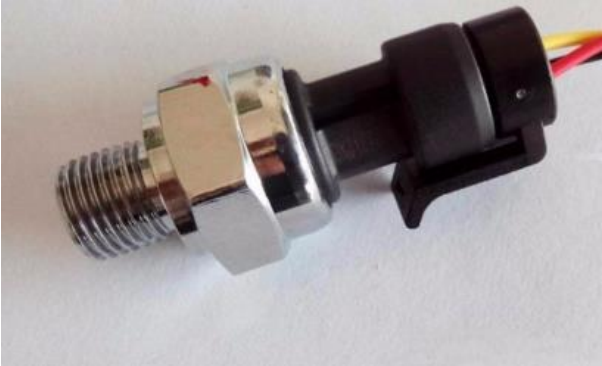
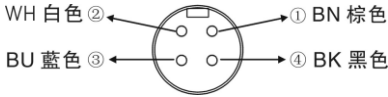
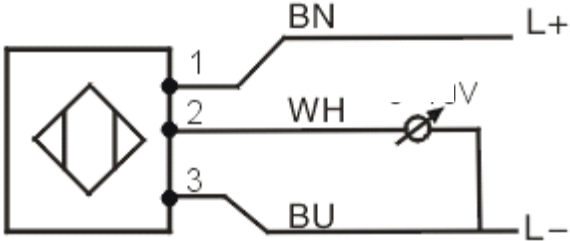
PALLETIZATION

MODEL		GROUPAGE				CONTAINER			
Single-phase	Three-phase	n° pumps	H (mm)	kg		n° pumps	H (mm)	kg	
				1~	3~			1~	3~
PKm 60*	PK 60*	231	1240	1230	1230	363	1870	1905	1905



Anexo F.

Hoja de datos Sensores de Presión.

<p>SEN-004 Instrumento de Presión Adecuado para fuertes interferencias electromagnéticas Conexión de tubo : G ¼ rosca exterior Salida analógica Rango de medición</p> <p>0.... 5bar</p>	
<p>Aplicación</p>	<p>Presión: correspondiente medición continua depresión en líquidos, solidos, gases, aceites, combustibles y químicos no corrosivos.</p>
<p>Diseño eléctrico</p>	<p>DC</p>
<p>Voltaje de alimentación</p>	<p>5V</p>
<p>De salida</p>	<p>0.5 – 4.5 V</p>
<p>Precisión</p>	<p>± 1.0% FS</p>
<p>Temperatura de trabajo</p>	<p>0 a 85°C</p>
<p>Presión atmosférica</p>	<p>Calibra a presión atmosférica</p>
<p>Material</p>	<p>Acero y Plástico</p>
<p>Tamaño</p>	<p>5 x 2.4 cm/ 1.97" x 0.94" (Lx D)</p>
<p>Longitud de cable</p>	<p>Aprox 18 cm</p>
<p>Peso</p>	<p>56 g</p>
<p>Conexión Respectivo color</p> 	


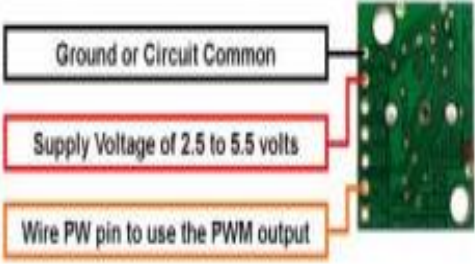
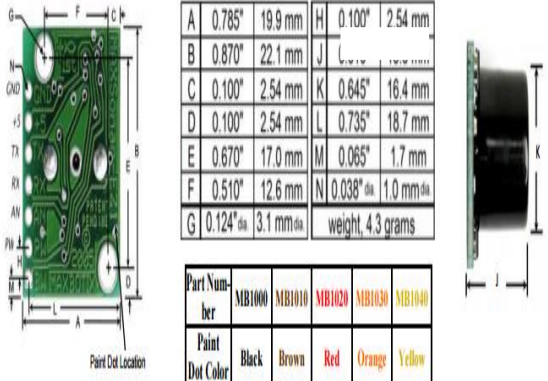
Anexo G.

Hoja de datos sensor de flujo

<p>FS400A Instrumento de flujo</p> <p>Conexión de tubo : G 1" rosca exterior Salida analógica Rango de medición</p> <p>1 ... 60L/min</p>	
<p>Aplicación</p>	<p>Agua</p>
<p>Diseño eléctrico</p>	<p>DC</p>
<p>Presión máxima</p>	<p>1.2 MPa</p>
<p>De salida</p>	<p>Pulso transistor NPN colector abierto</p>
<p>Flujo Característica</p>	<p>$F = (7,5 * Q)$</p>
<p>Rango de frecuencia</p>	<p>1,5 Hz a 40 Hz</p>
<p>Longitud de cable</p>	<p>13cm</p>
<p>Voltaje</p>	<p>4.5 V</p>
<p>Corriente máxima de salida</p>	<p>10 m A</p>
<p>Precisión</p>	<p>± 3% de la escala completa</p>
<p>Conexión</p>	<p>3 cables</p>
<p>Conexión Respectivo color</p> 	
<p>Material</p>	<p>Plastico color negro</p>
<p>Dimensiones</p>	<p>75 x 40 x 40 mm</p>


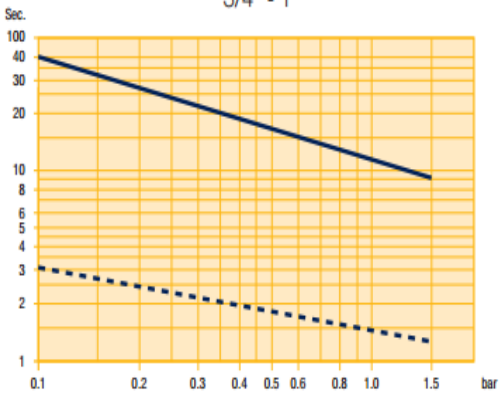
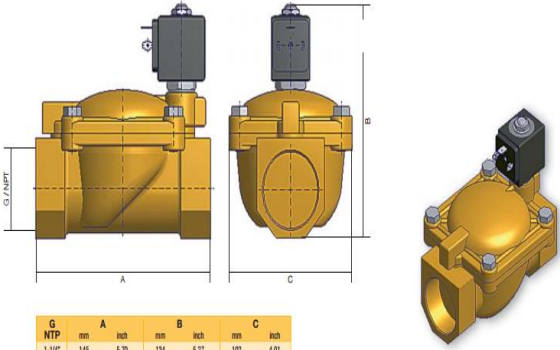
Anexo H.

Hoja de dato sensor de nivel.

<p>LV-MaxSonar - EZ Instrumento de nivel</p> <p>Salida analógica Rango de medición</p> <p>50ms, (20 Hz-tasa)</p>																																																							
<p>Aplicación</p>	<p>Agua</p>																																																						
<p>Diseño eléctrico</p>	<p>DC</p>																																																						
<p>Señal análoga</p>	<p>(Vcc / 512) / pulgada</p>																																																						
<p>Longitud máxima de medición</p>	<p>0 – 250 pulg.</p>																																																						
<p>Resolución</p>	<p>1 pulg</p>																																																						
<p>Rango de frecuencia</p>	<p>1,5 Hz a 40 Hz</p>																																																						
<p>Voltaje</p>	<p>2,5 - 4.5 V</p>																																																						
<p>Formato de salida</p>	<p>Impulsos y análogo</p>																																																						
<p>Pulse Width Output Sensor Operation</p> 	<p>LV-MaxSonar-EZ Mechanical Dimensions</p>  <table border="1" data-bbox="1063 1281 1315 1522"> <tr> <td>A</td> <td>0.785"</td> <td>19.9 mm</td> <td>H</td> <td>0.100"</td> <td>2.54 mm</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.870"</td> <td>22.1 mm</td> <td>J</td> <td>0.100"</td> <td>2.54 mm</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.100"</td> <td>2.54 mm</td> <td>K</td> <td>0.645"</td> <td>16.4 mm</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0.100"</td> <td>2.54 mm</td> <td>L</td> <td>0.735"</td> <td>18.7 mm</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0.670"</td> <td>17.0 mm</td> <td>M</td> <td>0.065"</td> <td>1.7 mm</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0.510"</td> <td>12.6 mm</td> <td>N</td> <td>0.038" dia</td> <td>1.0 mm dia</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>0.124" dia</td> <td>3.1 mm dia</td> <td colspan="3">weight, 4.3 grams</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="1063 1543 1315 1669"> <tr> <td>Part Number</td> <td>MB1000</td> <td>MB1010</td> <td>MB1020</td> <td>MB1030</td> <td>MB1040</td> </tr> <tr> <td>Paint Dot Color</td> <td>Black</td> <td>Brown</td> <td>Red</td> <td>Orange</td> <td>Yellow</td> </tr> </table>	A	0.785"	19.9 mm	H	0.100"	2.54 mm	B	0.870"	22.1 mm	J	0.100"	2.54 mm	C	0.100"	2.54 mm	K	0.645"	16.4 mm	D	0.100"	2.54 mm	L	0.735"	18.7 mm	E	0.670"	17.0 mm	M	0.065"	1.7 mm	F	0.510"	12.6 mm	N	0.038" dia	1.0 mm dia	G	0.124" dia	3.1 mm dia	weight, 4.3 grams			Part Number	MB1000	MB1010	MB1020	MB1030	MB1040	Paint Dot Color	Black	Brown	Red	Orange	Yellow
A	0.785"	19.9 mm	H	0.100"	2.54 mm																																																		
B	0.870"	22.1 mm	J	0.100"	2.54 mm																																																		
C	0.100"	2.54 mm	K	0.645"	16.4 mm																																																		
D	0.100"	2.54 mm	L	0.735"	18.7 mm																																																		
E	0.670"	17.0 mm	M	0.065"	1.7 mm																																																		
F	0.510"	12.6 mm	N	0.038" dia	1.0 mm dia																																																		
G	0.124" dia	3.1 mm dia	weight, 4.3 grams																																																				
Part Number	MB1000	MB1010	MB1020	MB1030	MB1040																																																		
Paint Dot Color	Black	Brown	Red	Orange	Yellow																																																		

Anexo I.

Hoja de datos Válvula Solenoide.

<p>PEC 7321BDN00 Válvula Solenoide</p> <p>Salida analógica 2 - 2NC 0,1 – 20 BAR</p> <p>ITALY</p>																																				
<p>Aplicación</p>	<p>Agua, Vapor y aceites ligeros (hasta 2°E)</p>																																			
<p>Cuerpo de Válvula</p>	<p>Latón Forjado</p>																																			
<p>Tubo de Cobertura</p>	<p>Acero Inoxidable AISI 304</p>																																			
<p>Embolo</p>	<p>Acero Inoxidable AISI 430F St.</p>																																			
<p>Muelle</p>	<p>Acero Inoxidable AISI 302 St.</p>																																			
<p>Aro de Sombra</p>	<p>Cobre</p>																																			
<p>Tipo de Junta</p>	<p>NBR</p>																																			
<p>Temperatura Máxima del medio</p>	<p>90°C</p>																																			
<p>Diagrama de tiempos de cierre</p> <p>3/4" - 1"</p> 	<p>Dimensiones</p>  <table border="1" data-bbox="898 1648 1153 1711"> <thead> <tr> <th>G</th> <th colspan="2">A</th> <th colspan="2">B</th> <th colspan="2">C</th> </tr> <tr> <th>NTP</th> <th>mm</th> <th>inch</th> <th>mm</th> <th>inch</th> <th>mm</th> <th>inch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-1/4"</td> <td>145</td> <td>5.70</td> <td>134</td> <td>5.27</td> <td>182</td> <td>4.01</td> </tr> <tr> <td>1-1/2"</td> <td>145</td> <td>5.70</td> <td>134</td> <td>5.27</td> <td>182</td> <td>4.01</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>173</td> <td>6.81</td> <td>148</td> <td>5.82</td> <td>198</td> <td>4.94</td> </tr> </tbody> </table> <p>Plano de dimensiones Núm. 4</p>	G	A		B		C		NTP	mm	inch	mm	inch	mm	inch	1-1/4"	145	5.70	134	5.27	182	4.01	1-1/2"	145	5.70	134	5.27	182	4.01	2"	173	6.81	148	5.82	198	4.94
G	A		B		C																															
NTP	mm	inch	mm	inch	mm	inch																														
1-1/4"	145	5.70	134	5.27	182	4.01																														
1-1/2"	145	5.70	134	5.27	182	4.01																														
2"	173	6.81	148	5.82	198	4.94																														

Anexo J.

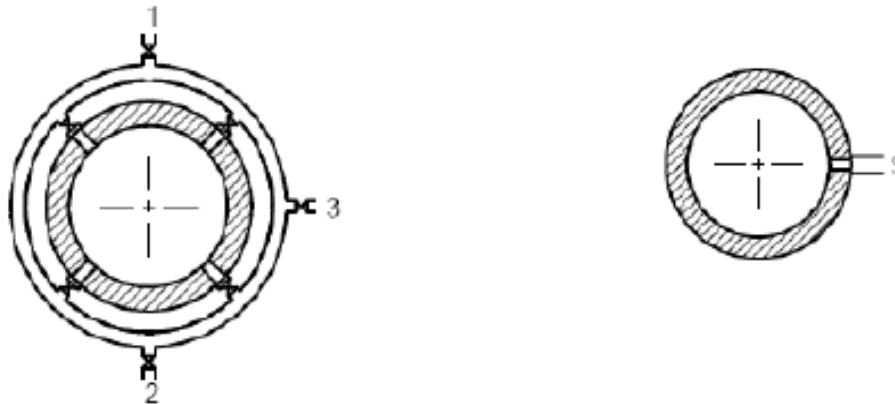
NORMAS ISO 9906

8.4 Mediciones de presión

8.4.1 Conexiones a presión

Para ensayos de Grado 1, debe haber cuatro conexiones a presión estáticas, simétricamente dispuestas alrededor de la circunferencia de cada sección de medición, como se muestra en Figura 8 a).

Para ensayos de Grado 2 normalmente es suficiente contar con una sola toma de presión estática en cada sección de medición, pero cuando el flujo puede verse afectado por un remolino o una asimetría, pueden ser necesarios dos ó más [ver Figura 8 b)].



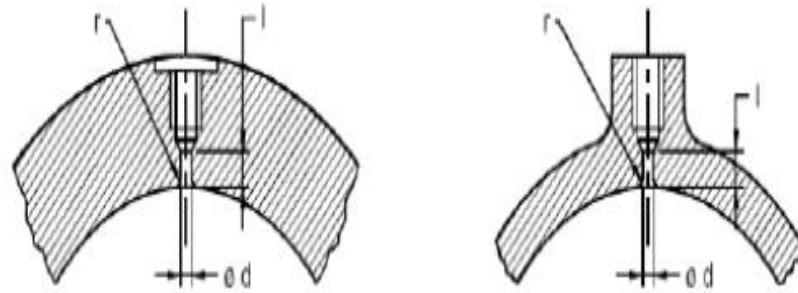
Convenciones

- 1 (Ventilación) respiradero
- 2 Desagüe
- 3 Tubería de conexión con el instrumento de medición de presión

a) Grado 1. Cuatro tomas de presión conectada por un distribuidor de anillo

b) Grado 2. Una toma de presión (o dos en posición opuesta)

Figura 8 - Toma de presión para ensayos de Grados 1 y 2



$$l \geq 2,5 d$$

en que:

$d = 3 \text{ mm}$ a 6 mm ó diámetro de tubería de $1/10$, lo que sea menor.

a) Pared gruesa

b) Pared delgada

Figura 9 - Requisitos para conexiones a presión estáticas

Excepto en el caso particular cuando su posición se determina por la disposición del circuito (ver 8.2.1.1 y 8.2.1.2), la toma (o tomas) de presión no debería localizarse en el punto más alto o más bajo de la sección transversal, o cerca de éste.

Las conexiones a presión estática deben cumplir con los requisitos mostrados en Figura 9 y deben estar libres de protuberancias e irregularidades, su nivel debe ser normal en relación con la pared interior de la tubería.

El diámetro de la toma de presión debe estar entre 3 mm y 6 mm o igual $1/10$ del diámetro de tubería, cualquiera que sea el más pequeño. La longitud de un orificio de toma de presión no debe ser inferior a dos y media veces su diámetro.

Anexo K.

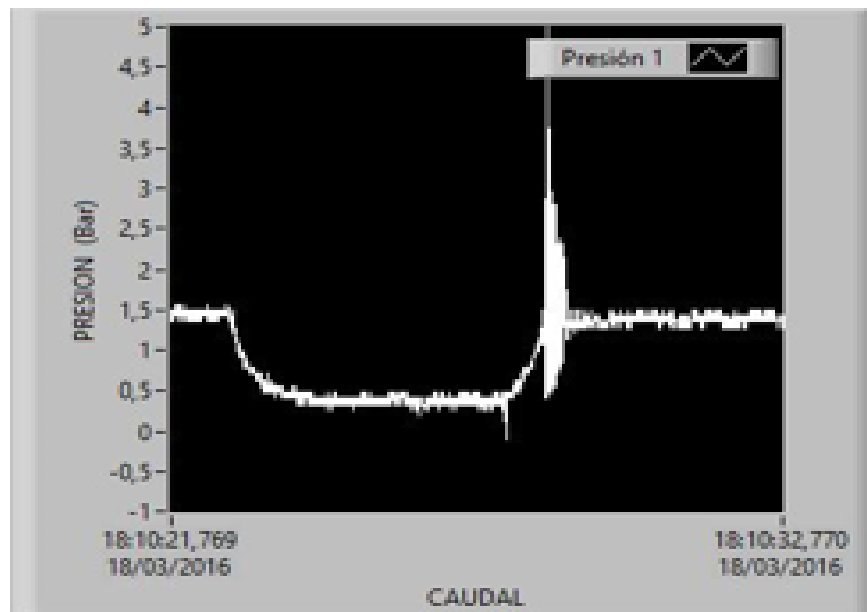
Reportes de Presión LabVIEW

**"ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO
POR LA APERTURA Y
CIERRE DE UNA VALVULA SELENOIDE EN TUBERIA
DE**

ESTUDIO GOLPE DE ARITE

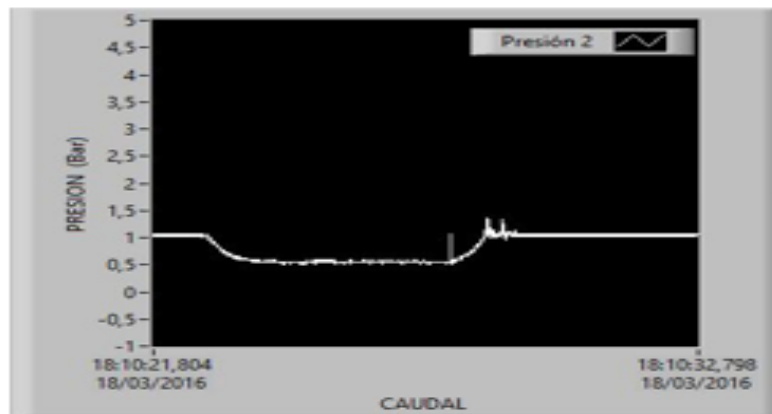
**HORA 18:10
FECHA: 18/03/2016
TESISTA: EDISSON BOMBON
SEMESTRE: EGRESADO**

GRAFICA SENSOR PRESION 1



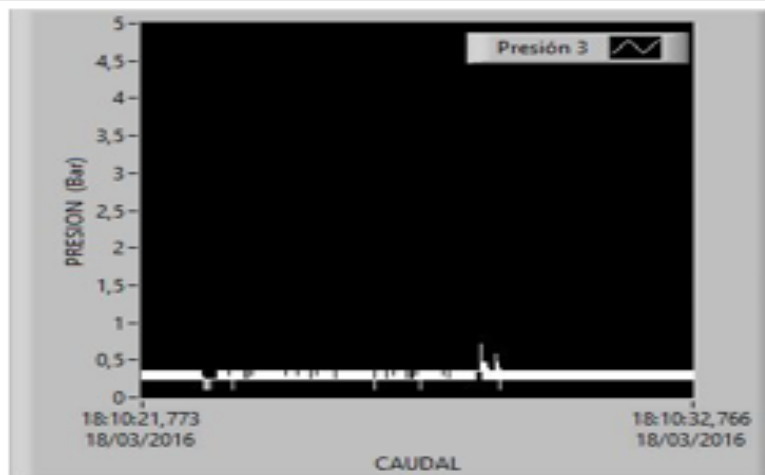
**PRESION INICIAL= 1,401 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,465 (Bar)
PRESION FINAL= 1,292 (Bar)
PRESION ARIETE 3,672 (Bar)
PRESION MINIMA= 0,262 (Bar)**

GRAFICA SENSOR PRESION 2



PRESION INICIAL= 1,046 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,598 (Bar)
PRESION FINAL= 1,013 (Bar)
PRESION ARIETE 1,329 (Bar)
PRESION MINIMA= 0,516 (Bar)

GRAFICA SENSOR PRESION 3



PRESION INICIAL= 0,325 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,243 (Bar)
PRESION FINAL= 0,319 (Bar)
PRESION ARIETE 0,708 (Bar)
PRESION MINIMA= 0,118 (Bar)

B C D E F G

**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA**

**"ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO POR LA
APERTURA Y
CIERRE DE UNA VALVULA SELENOIDE EN TUBERIA DE
POLICLORURO DE VINILO (PVC) PARA DETERMINAR LA
VARIACION DE
PRESION EN LA TUBERIA"**

ESTUDIO GOLPE DE ARIETE

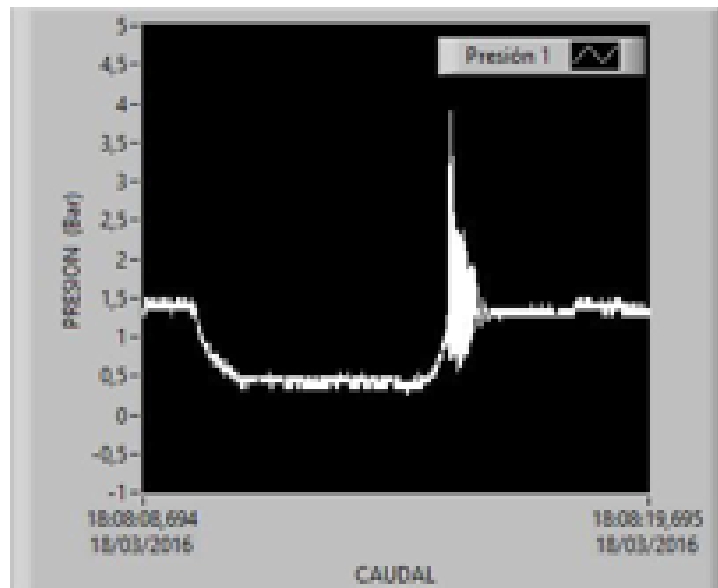
HORA 18:08

FECHA: 18/03/2016

TESISTA: EDISSON BOMBON

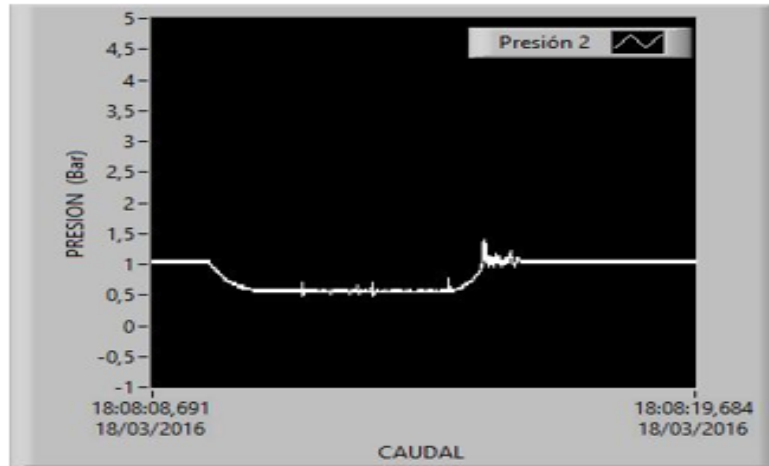
SEMESTRE: EGRESADO

GRAFICA SENSOR PRESION 1



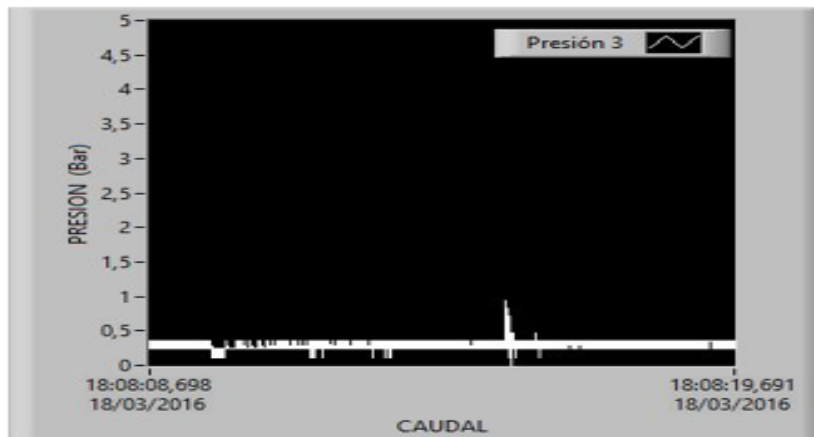
**PRESION INICIAL- 1,319 (Bar)
PRESION DESCARGA- 0,505 (Bar)
PRESION FINAL- 1,250 (Bar)
PRESION ARIETE 3,019 (Bar)
PRESION MINIMA- 0,262 (Bar)**

GRAFICA SENSOR PRESION 2



PRESION INICIAL= 1,037 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,607 (Bar)
PRESION FINAL= 1,011 (Bar)
PRESION ARIETE 1,366 (Bar)
PRESION MINIMA= 0,479 (Bar)

GRAFICA SENSOR PRESION 3



PRESION INICIAL= 0,283 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,247 (Bar)
PRESION FINAL= 0,334 (Bar)
PRESION ARIETE 0,826 (Bar)

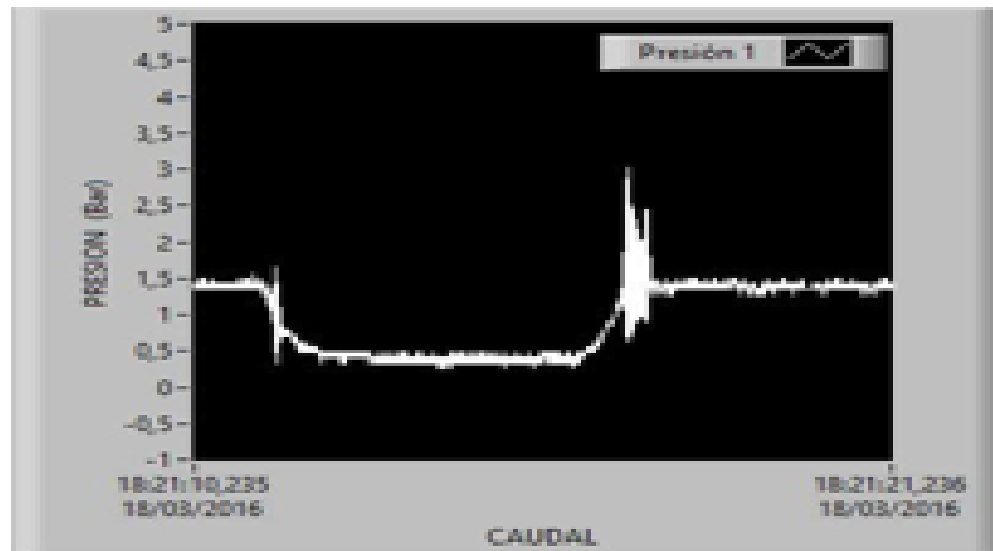
**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACUTAD DE INGENIERIA CIVIL Y
MECANICA
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA**

***ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO
POR LA APERTURA Y
CIERRE DE UNA VALVULA SELENOIDE EN**

ESTUDIO GOLPE DE ARITE

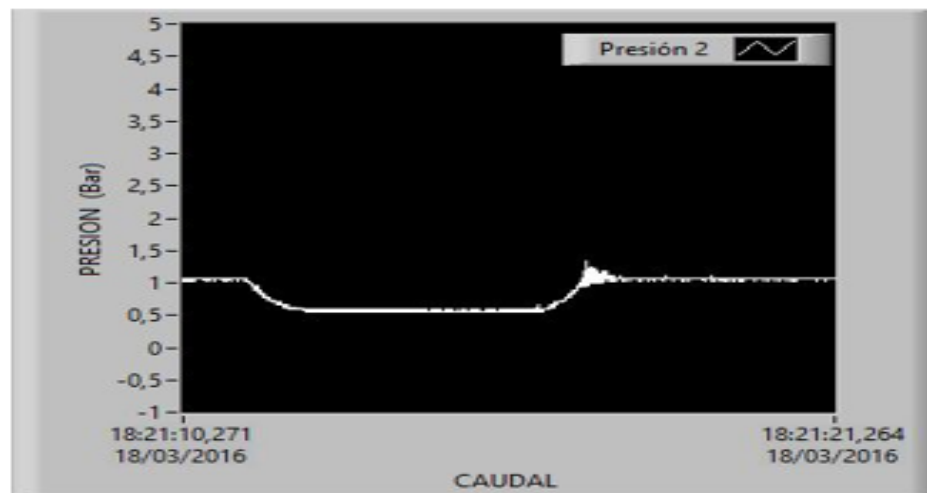
**HORA 18:21
FECHA: 18/03/2016
TESISTA: EDISSON BOMBON
SEMESTRE: EGRESADO**

GRAFICA SENSOR PRESION 1



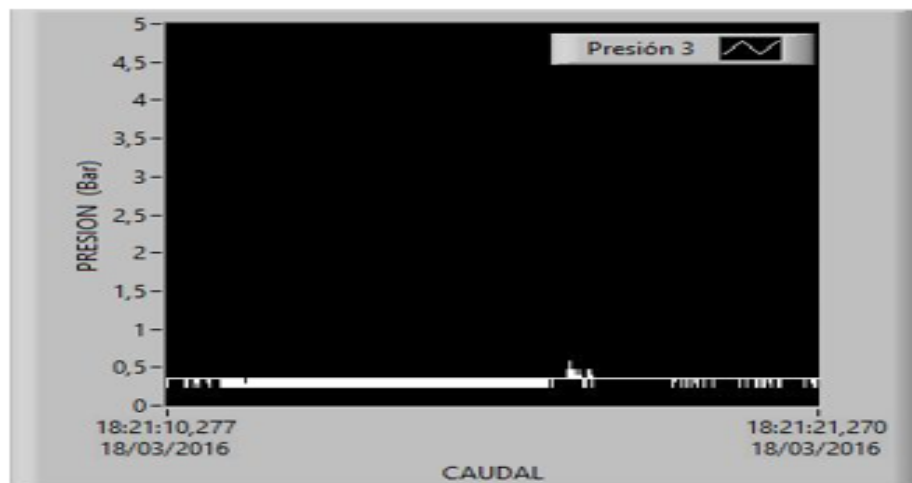
**PRESION INICIAL- 1,374 (Bar)
PRESION DESCARGA- 0,472 (Bar)
PRESION FINAL- 1,279 (Bar)
PRESION ARIETE 2,439 (Bar)
PRESION MINIMA- 0,262 (Bar)**

GRAFICA SENSOR PRESION 2



PRESION INICIAL= 1,070 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,606 (Bar)
PRESION FINAL= 1,019 (Bar)
PRESION ARIETE 1,292 (Bar)
PRESION MINIMA= 0,553 (Bar)

GRAFICA SENSOR PRESION 3



PRESION INICIAL= 0,354 (Bar)
PRESION DESCARGA= 0,290 (Bar)
PRESION FINAL= 0,353 (Bar)
PRESION ARIETE 0,590 (Bar)
PRESION MINIMA= 0,236 (Bar)

c. Sistema de descarga.



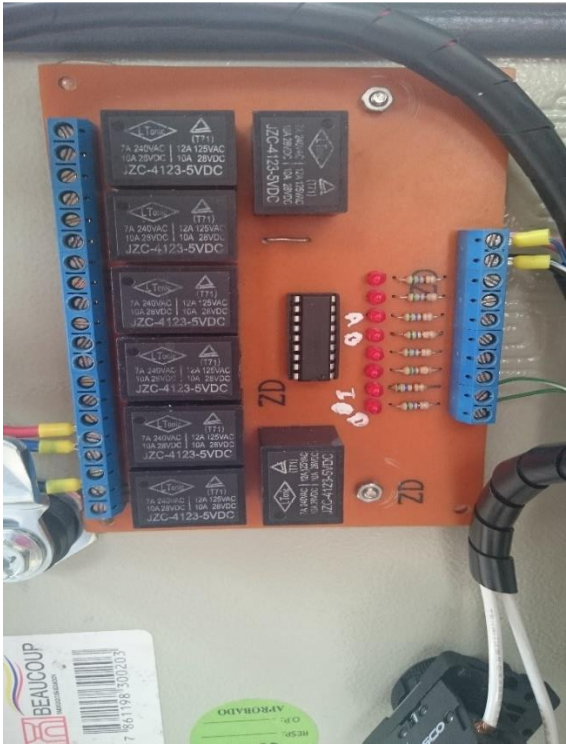
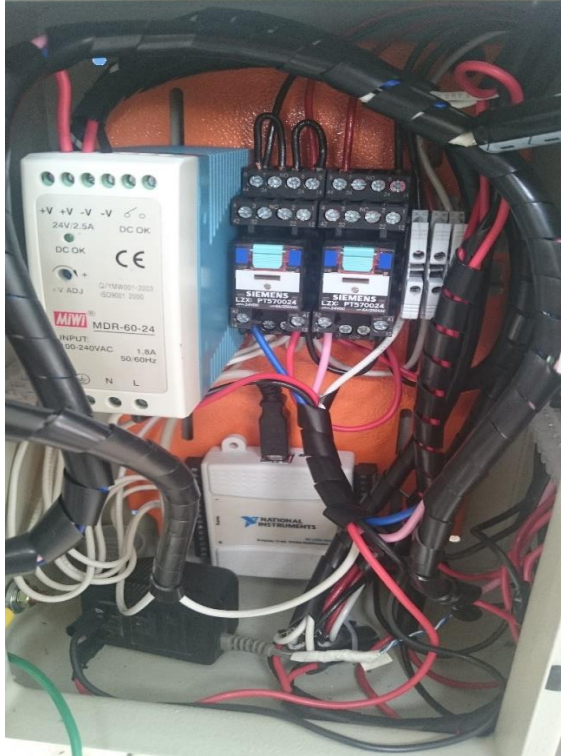
d. Sensor de Nivel



e. Sistema de succión.

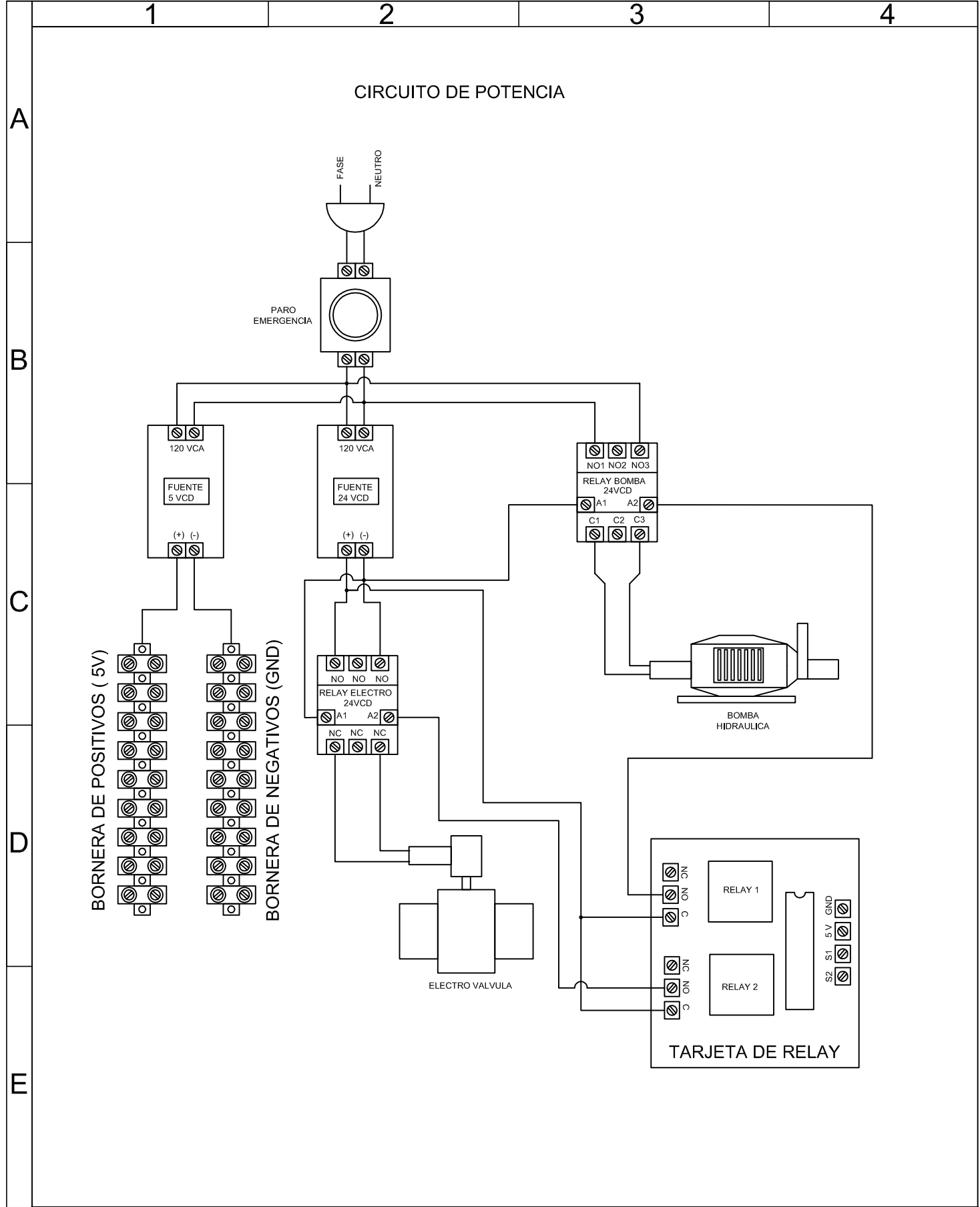


f. Sistema de Control.

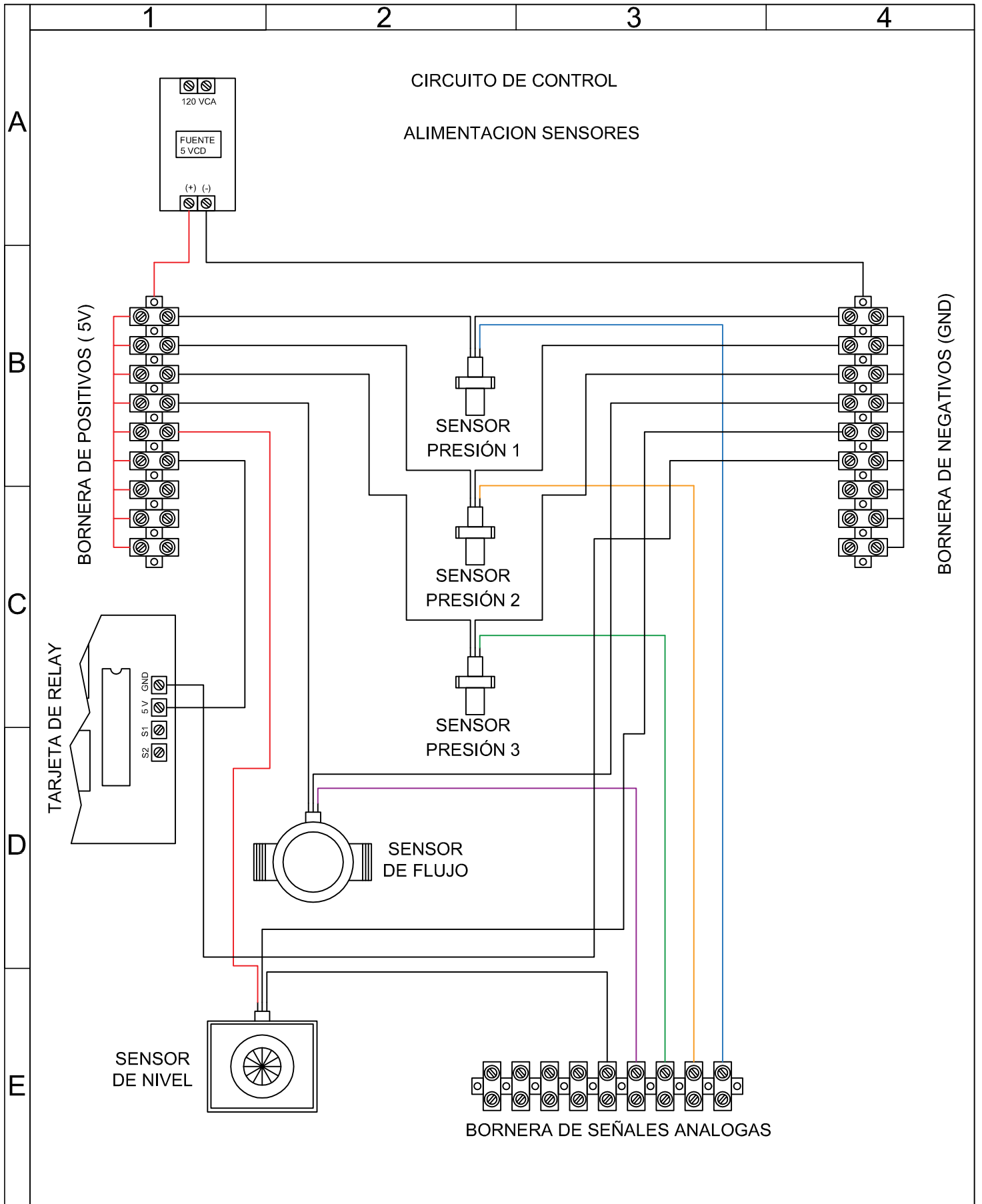


Anexo M.

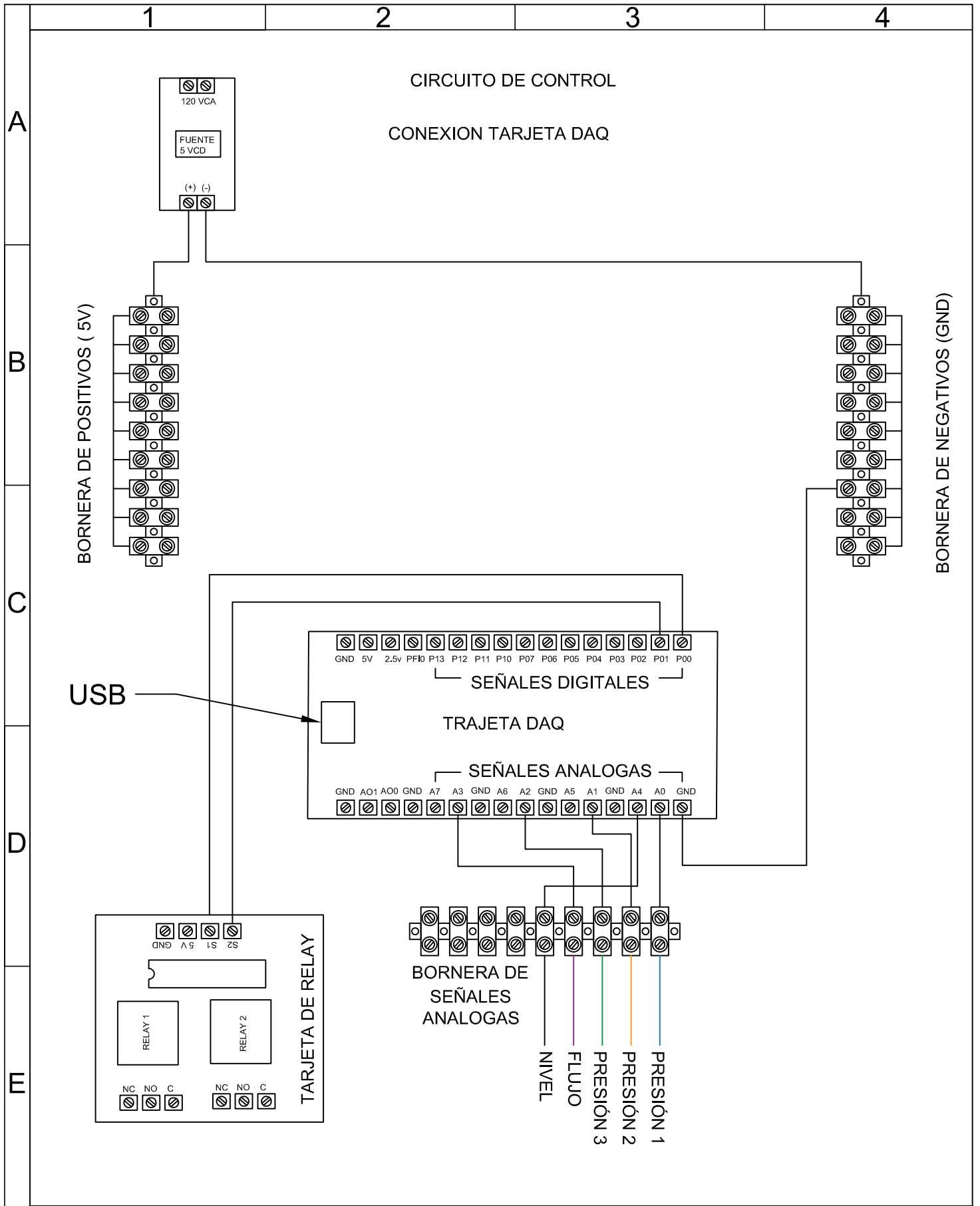
PLANOS



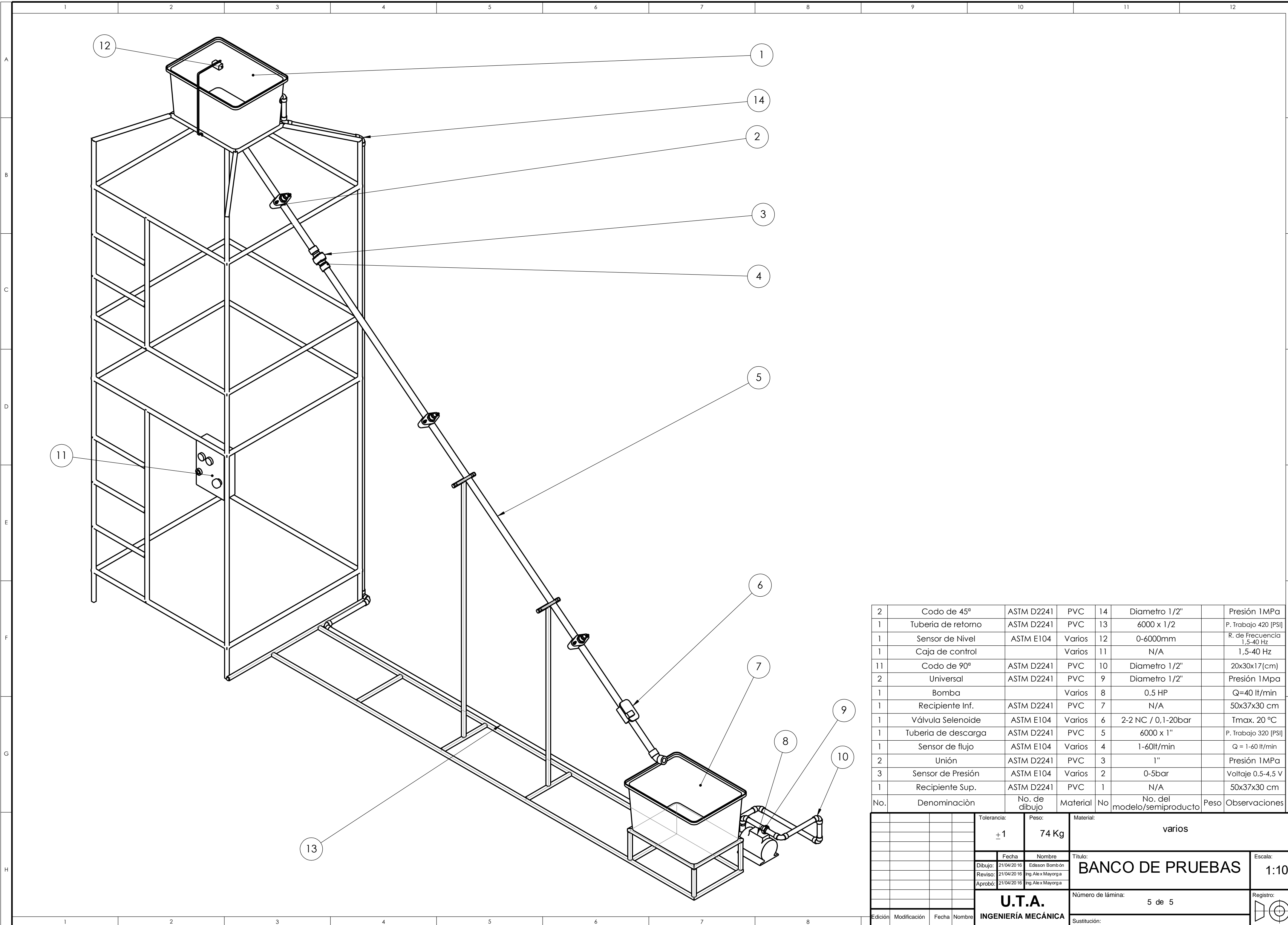
				Tolerancia: ±	Peso: N/A	Materiales: VARIOS	
				Fecha	Nombre	Título: SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA	Escala: 1:1
				Dibujado: 31/03/2016	Eddison Bombon		
				Revisado: 31/03/2016	Ing. Alex Mayorga		
				Aprobado: 31/03/2016	Ing. Alex Mayorga		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		Número de Lámina: 1 de 5	Registro:
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:	



				Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
				\pm	N/A	VARIOS	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujado: 31/03/2016	Eddison Bombon	SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA	1:1
				Revisado: 31/03/2016	Ing. Alex Mayorga		
				Aprobado: 31/03/2016	Ing. Alex Mayorga		
				U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECANICA		2 de 5	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	Sustitución:			

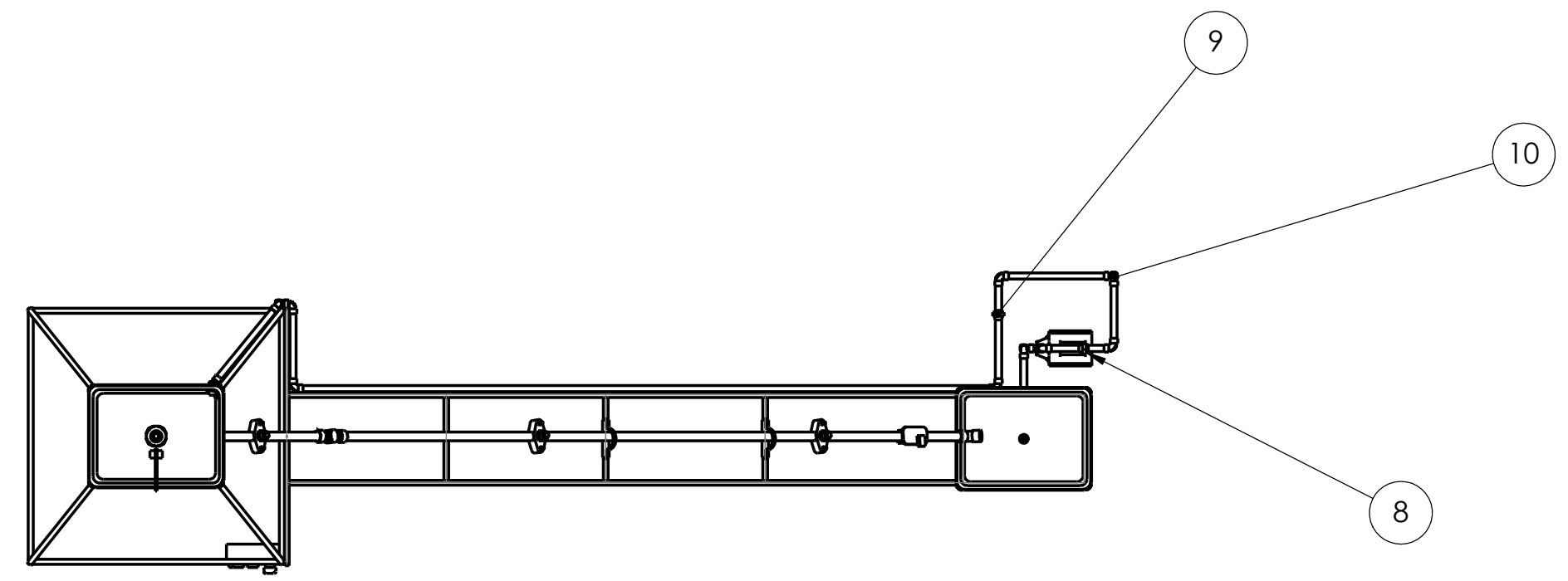
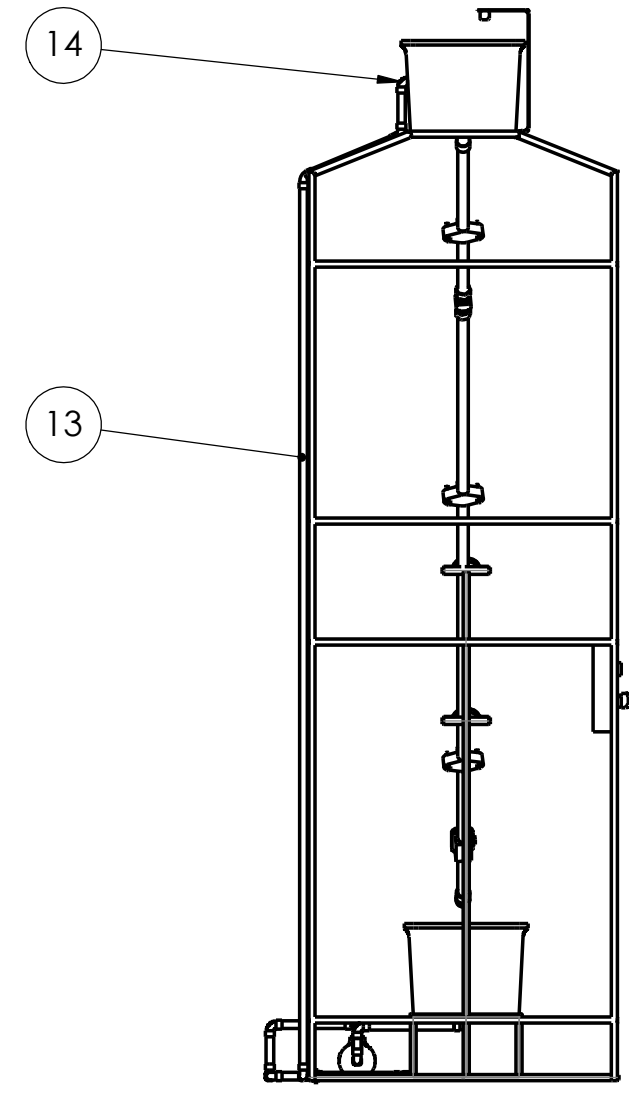
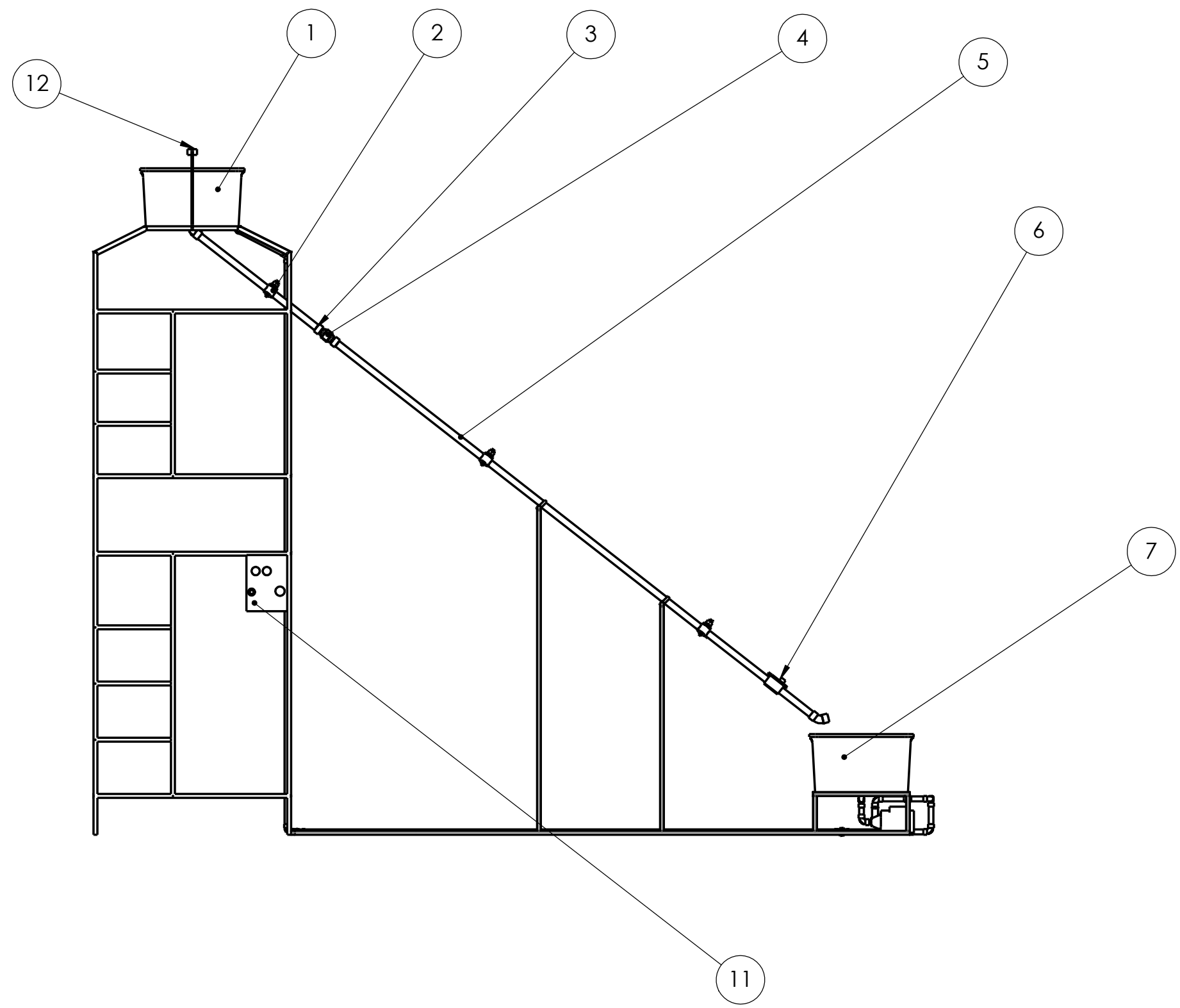


				Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
				\pm	N/A	VARIOS	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujado: 31/03/2016	Eddison Bombon	SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA	1:1
				Revisado: 31/03/2016	Ing. Alex Mayorga		
				Aprobado: 31/03/2016	Ing. Alex Mayorga		
				U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECANICA		3 de 5	◀ ⊕
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	Sustitución:			



No.	Denominación	No. de dibujo	Material	No	No. del modelo/semiproducto	Peso	Observaciones
2	Codo de 45°	ASTM D2241	PVC	14	Diametro 1/2"		Presión 1MPa
1	Tubería de retorno	ASTM D2241	PVC	13	6000 x 1/2		P. Trabajo 420 [PSI]
1	Sensor de Nivel	ASTM E104	Varios	12	0-6000mm		R. de Frecuencia 1,5-40 Hz
1	Caja de control		Varios	11	N/A		1,5-40 Hz
11	Codo de 90°	ASTM D2241	PVC	10	Diametro 1/2"		20x30x17(cm)
2	Universal	ASTM D2241	PVC	9	Diametro 1/2"		Presión 1Mpa
1	Bomba		Varios	8	0.5 HP		Q=40 lt/min
1	Recipiente Inf.	ASTM D2241	PVC	7	N/A		50x37x30 cm
1	Válvula Selenoide	ASTM E104	Varios	6	2-2 NC / 0,1-20bar		Tmax. 20 °C
1	Tubería de descarga	ASTM D2241	PVC	5	6000 x 1"		P. Trabajo 320 [PSI]
1	Sensor de flujo	ASTM E104	Varios	4	1-60lt/min		Q = 1-60lt/min
2	Unión	ASTM D2241	PVC	3	1"		Presión 1MPa
3	Sensor de Presión	ASTM E104	Varios	2	0-5bar		Voltaje 0.5-4,5 V
1	Recipiente Sup.	ASTM D2241	PVC	1	N/A		50x37x30 cm

Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		74 Kg		varios	
Fecha		Nombre		Título:	
21/04/2016		Edison Bombón		BANCO DE PRUEBAS	
Revisó:		Ing. Alex Mayorga		Escala:	
21/04/2016		Ing. Alex Mayorga		1:10	
Aprobó:		Ing. Alex Mayorga		Registro:	
21/04/2016		Ing. Alex Mayorga		Número de lámina: 5 de 5	
Edición		Modificación		Fecha	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				Sustitución:	



Características Físicas del Banco de Pruebas Hidráulico

PARÁMETROS	VALOR
Altura base del recipiente de descarga	3.2 m
Altura base sensor de nivel	3.83 m
Distancia entre Sensor de Presión 1 y Valvula Solenoide	0.07m
Distancia entre Sensor de Presión 1 y Sensor de Presión 2	1.35m
Distancia entre Sensor de Presión 2 y Sensor de Presión 3	1.55m
Altura Máxima de ca	0.15m
Altura base recipiente de Recirculación	0.20m
Bomba Sistema de Recirculación	0.5Hp Q=40 lt/min
Sistema de recirculación	∅ = 1/2" L= 7.55m
Sistema de Descarga	∅ = 1" L= 4m

2	Codo de 45°	ASTM D2241	PVC	14	Diametro 1/2"	Presión 1MPa	
1	Tuberia de retorno	ASTM D2241	PVC	13	6000 x 1/2"	P. Trabajo 420 [PSI]	
1	Sensor de Nivel	ASTM E104	Varios	12	0-6000mm	R. de Frecuencia 1,5-40 Hz	
1	Caja de control		Varios	11	N/A	1,5-40 Hz	
1	Codo de 90°	ASTM D2241	PVC	10	Diametro 1/2"	20x30x17(cm)	
2	Universal	ASTM D2241	PVC	9	Diametro 1/2"	Presión 1Mpa	
1	Bomba		Hierro Fundido	8	0.5 HP	Q=40 lt/min	
1	Recipiente Inf.	ASTM D2241	PVC	7	N/A	50x37x30 cm	
1	Válvula Solenoide	ASTM E104	Varios	6	2-2 NC / 0,1-20bar	Tmax. 20 °C	
1	Tuberia de descarga	ASTM D2241	PVC	5	6000 x 1"	P. Trabajo 320 [PSI]	
1	Sensor de flujo	ASTM E104	Varios	4	1-60lt/min	Q = 1-60 lt/min	
2	Unión	ASTM D2241	PVC	3	1"	Presión 1MPa	
3	Sensor de Presión	ASTM E104	Varios	2	0-5bar	Voltaje 0.5-4,5 V	
1	Recipiente Sup.	ASTM D2241	PVC	1	N/A	50x37x30 cm	
No.	Denominación	No. de dibujo	Material	No	No. del modelo/semiproducto	Peso	Observaciones

- Notas:
- Estructura con tubo cuadrado de acero negro de 1", soldadura a tope con electrodo 6011.
 - Estructura tipo andamio totalmente desarmable.

Tolerancia:	Peso:	Material:
± 1	74 Kg	varios
Fecha	Nombre	Título:
21/04/2016	Edison Bombón	BANCO DE PRUEBAS
Revisó:	Ing. Alex Mayorga	Escala:
21/04/2016	Ing. Alex Mayorga	1:25
Aprobó:	Ing. Alex Mayorga	Registro:
U.T.A.		Número de lámina:
INGENIERÍA MECÁNICA		4 de 5
Edición	Modificación	Fecha

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Cda. Universitaria (Huachi) / Telf. (03) 2841-144 / Telefax: (03) 2841-062/Casilla 334

Email: ficmta.edu.ec.
AMBATO – ECUADOR

ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE PRODUCIDO POR LA APERTURA Y CIERRE DE UNA VÁLVULA SOLENOIDE EN TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DE PRESIÓN EN LA TUBERÍA.

Ing. Mg. Alex Mayorga¹; Edison Bombón²

¹ Docente, Universidad Técnica de Ambato, FICM-Carrera de Ingeniería Mecánica

² Estudiante, Universidad Técnica de Ambato, FICM-Carrera de Ingeniería Mecánica

Resumen

OBJETIVO: Estudiar el golpe de ariete producido por la apertura y cierre de una válvula solenoide en tubería de policloruro de vinilo (PVC) para determinar la variación de presión en la tubería. **MÉTODOS:** Construcción de un banco de pruebas hidráulico que replique el fenómeno del golpe de ariete producido por la apertura y cierre de una en la tubería de policloruro de vinilo (PVC). **RESULTADOS:** se realizaron 5 mediciones de presión en cada punto de la tubería, obteniendo como resultado que a un caudal de 0,3 lt/s tenemos una presión máxima de 3,019 [Bar], a un caudal de 0,4 lt/s una presión máxima de 3,672 [Bar] y a un caudal de 0,5 lt/s una presión máxima de 4,470. **CONCLUSIÓN:** la presión interna de la tubería, al momento de replicar el fenómeno del golpe de ariete producto del cierre brusco de la válvula solenoide es mayor.

Summary

OBJECTIVE: To study the water hammer produced by the opening and closing of a solenoid valve pipe polyvinylchloride (PVC) to determine the variation of pressure in the pipeline. **METHODS:** Building a hydraulic bench tests that replicate the phenomenon of water hammer produced by opening and closing a pipe in polyvinyl chloride (PVC). **RESULTS:** 5 measurements of pressure at each point of the pipe were made , resulting in that a flow rate of 0.3 lt /s have a maximum pressure of 3,019 [Bar] , at a flow rate of 0.4 lt /s a 3.672 maximum pressure [Bar] at a flow rate of 0.5 lt / s maximum pressure of 4.470 [Bar]. **CONCLUSION:** The internal pressure of the pipe, when replicate the phenomenon of water hammer product abrupt closing of the solenoid valve is greater .

Palabras claves: Golpe de Ariete, Presión Máxima, Caudal.

1. INTRODUCCIÓN

El golpe de ariete o martillo de ariete es el fenómeno de estado estable que se encarga del cambio de energía cinética y de presión que se producen en la tubería debido al incremento y decremento de la velocidad del flujo el cual puede ser positivo o negativo.

Algunas de las causas del golpe de ariete son:

- Cambios en la abertura de la válvula, accidental o planeado.
- Arranque o interrupción de bombas.
- Cambios en la demanda de potencia de turbinas.
- Cambios de elevación del embalse.
- Vibración de impulsores en bombas, ventiladores o turbinas.

El fenómeno consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, y se puede producir tanto por impulsiones como por abastecimientos por gravedad.

Pero no obstante si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al llegar la fase de sobrepresión estas tuberías se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso que el valor de sobrepresión producida rebase a la del cálculo.

Para el presente estudio se tomará en cuenta el momento cuando se realiza súbitamente el cierre de una válvula, presentado por un golpe de ariete positivo o sobrepresión.

Para el estudio de este fenómeno se tendrá que abandonar las dos hipótesis normalmente utilizadas en la mecánica de fluidos: fluido incompresible y flujo permanente. Debido a que el golpe de ariete es un fenómeno transitorio y por lo tanto de régimen variable, con tubería elástica y fluido compresible.

La figura 2.2 representa una tubería con una cierta longitud L , espesor b y diámetro interior D , por la cual circula agua proveniente de un embalse terminando en su extremo derecho con una válvula. Al cerrar dicha válvula rápidamente la energía cinética se va transformando en trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y en el

trabajo necesario para dilatar dicha tubería; se ha producido el golpe de ariete o sobrepresión. [1]

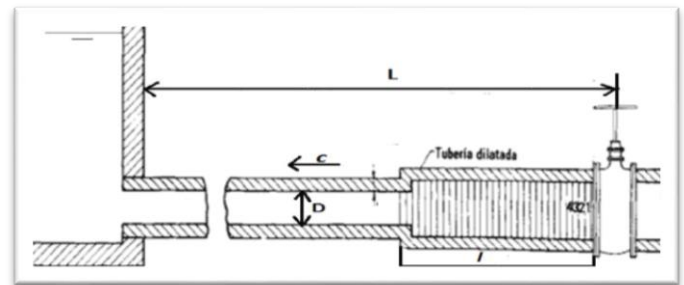


Figura 1. Onda de presión en cierre instantáneo de una válvula. [1]

2. METODOLOGÍA

En el estudio previo a la construcción del banco de pruebas hidráulico se determinó cada uno de los parámetros necesarios para replicar el fenómeno en la tubería, obteniendo como parámetros de construcción que la longitud de tubería necesaria debería de ser de 4m, a una altura de 2,8m, 1 pulg. de diámetro y fluido a utilizar agua. Para la adquisición de datos de presión en la tubería se utilizó tres sensores con capacidad de 0 – 5 [Bar] con precisión de $\pm 1\%$, 1 sensor de flujo, 1 sensor de nivel y una tarjeta DAQ de 32 Bits para recibir toda la información y ser procesada mediante un software codificado en LabVIEW. El software tiene la facilidad de realizar automática o manualmente el ensayo, el ensayo se realizó de la siguiente manera se elige una altura que está dada en cca de ahí si es necesario se abre o no la válvula solenoide para tener la medida seleccionada en el embalse y posterior a eso el software espera 5 segundos y abre la válvula solenoide después de 5 segundos más se cierra para poder replicar el fenómeno y en otros 5 segundos últimos toma todos los valores de presión para ser visualizados mediante una hoja de Excel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se consideró solo tres caudales para realizar el ensayo obteniendo como resultado la siguiente tabla general.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
REPORTE VARIACION DE PRESION						
Tipo de Estudio:		Experimental		Item:		RT-4
Fecha de Ejecución:		23/03/2016				
Lugar de Estudio: Universidad Técnica de Ambato (Laboratorio de Energías FICM)						
Realizado por:		Edison Bombón		Revisado por:		Ing. Mg. Alex Mayorga
Parámetros Constantes del Ensayo						
Tipo de Fluido:		Agua (H2O)		Caudal:		-
Material Tubería:		Policloruro de Vinilo (PVC)		Diámetro de Tubería:		1 pulg
Longitud de tubería de Impulsión: 4,0 m						
CAUDAL	#SENSOR	P. INICIAL [Bar]	P. DESCARGA [Bar]	P. MINIMA [Bar]	P. MAXIMA [Bar]	P. FINAL [Bar]
Q = 0,3 lt/s	1	1,319	0,505	0,262	3,019	1,250
	2	1,046	0,598	0,516	1,329	1,013
	3	0,325	0,243	0,118	0,708	0,319
Q = 0,4 lt/s	1	1,401	0,465	0,262	3,672	1,292
	2	1,037	0,607	0,479	1,366	1,011
	3	0,283	0,247	0,118	0,826	0,334
Q = 0,5 lt/s	1	1,443	0,513	0,334	4,470	1,374
	2	1,070	0,607	0,516	1,809	1,022
	3	0,353	0,279	0,118	0,943	0,352

Tabla1. Reporte general de variaciones de presión con diferentes caudales.

De la tabla anterior se tomó como referencia la Presión Máxima para realizar una comparación entre la P. Máxima Teórica con la P. Máxima Experimental.

Obteniendo como resultado la siguiente tabla.

Caudal Q [lt/s]	P. Máxima Teórica [Bar]	P. Máxima Experimental [Bar]
0,3	2,351	3,019
0,4	3,135	3,672
0,5	3,919	4,470

Tabla2. Comparación de P. Máxima Teórica con la P. Máxima Experimental.

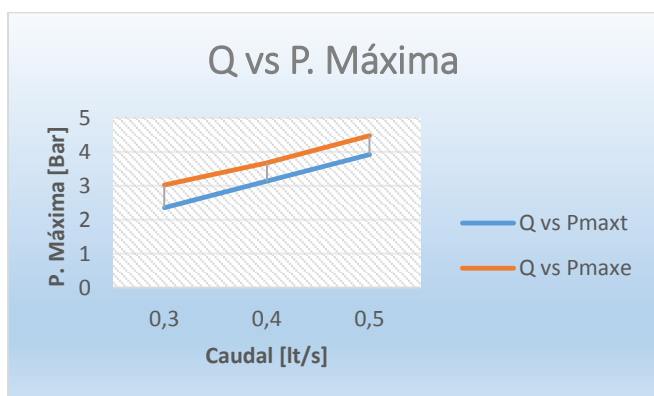


Gráfico 1. Curvas de Caudal vs P. Máxima Teórica y Experimental.

Como podemos observar en la Tabla 2. tenemos una varianza entre los datos teóricos con los experimentales tanto para caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.

Por lo tanto se procedió a encontrar de cuanto es el incremento mediante la siguiente fórmula.

$$I = Pmax_e - Pmax_t$$

I= Incremento

$Pmax_e$ = Presión Máxima Experimental. [Bar o Psi]

$Pmax_t$ = Presión Máxima Teórica [Bar o Psi]

Para un caudal $Q = 0,3$ lt/s.

$$I = 3,019 - 2,351$$

$$I = 0,668 [Bar]$$

Como podemos observar que en un caudal de 0,3 lt/s el incremento es de 0,668 [Bar] de presión en relación a lo calculado teórico.

Para un caudal $Q = 0,4$ lt/s.

$$I = 3,672 - 3,135$$

$$I = 0,537 [Bar]$$

Como podemos observar que en un caudal de 0,4 lt/s el incremento es de 0,537 [Bar] de presión en relación a lo calculado teórico.

Para un caudal $Q = 0,5$ lt/s.

$$I = 4,470 - 3,919$$

$$I = 0,551 [Bar]$$

CAUDAL Q [lt/s]	$Pmax_e - Pmax_t$ [Bar]
0,3	0,668
0,4	0,537
0,5	0,551

Tabla 3. Variación de Presión Máxima Teórica con la Experimental a caudales de 0,3-0,4 y 0,5 lt/s.

Como podemos observar en la Tabla 4.5 que en un caudal de 0,3 lt/s el incremento es de 0,551 [Bar] de presión en relación a lo calculado teórico. Y analizando los incrementos entre los tres caudales podemos deducir que a mayor caudal el incremento de variación disminuye.

Sacando un valor medio de estos tres valores podríamos decir que:

$$X = \frac{0,668 + 0,551 + 0,537}{3}$$

$$X = 0,585$$

Al cálculo teórico de la presión máxima producida por lo menos deberíamos incrementar un valor de 0,6 [Bar] para poder tener un valor más acercado al valor real.

4. CONCLUSIONES

- La adquisición de datos de presión en el banco de pruebas hidráulico, es el más adecuado para ello ya que los datos obtenidos son en tiempos reales, con lo cual se puede apreciar con mayor exactitud las gráficas de presión en el momento que ocurre el fenómeno.
- Se pudo obtener datos digitales de presión en cada uno de los puntos ubicados en la tubería de policloruro de vinilo (PVC), obteniendo una presión máxima o sobrepresión de 3,019 [Bar] con un caudal de 0,3 [lt/s], una presión máxima o sobrepresión de 3,672 [Bar] con un caudal de 0,4 [lt/s] y una presión máxima o sobrepresión de 4,470 [Bar] con un caudal de 0,5 [lt/s],
- Uno de los parámetros hidráulicos principales para obtener una correcta producción del fenómeno del golpe de ariete es el Caudal ya que el caudal siempre debe ser constante cuando se abra y se cierre la válvula solenoide (ON-OFF).
- A mayor caudal mayor es el valor de presión máxima o sobrepresión.
- La longitud y diámetro de la tubería de impulsión es muy importante porque de esta depende la velocidad con la que circule el fluido y por ende interviene en el cálculo de la onda de celeridad.
- La variación de presión máxima o sobrepresión es mayor mientras cerca se encuentra a la electroválvula.
- Al momento de la apertura se producen caídas de presión o subpresión entre una Mínima y una de Descarga como se puede observar en la Tabla 4.10.
- Al disiparse la onda por completo la Presión Final se torna estable y con un valor casi igual que la del Inicio como se puede observar en la Tabla 4.10.
- Los resultados obtenidos de presión máxima o sobrepresión teóricos con los experimentales se puede deducir que tienen un desfase promedio de 0,585 [Bar].

5. REFERENCIAS

- [1] E. Becerril, «Hidrodinámica,» 2014, pp. 615-629.
- [2] J. A. Soriano, Mecánica de fluidos y Termodinámica, Madrid - España: ISBN, 1996.
- [3] A. P. Lugo, «Golpe de Ariete: Causas, Efectos y Prevención,» UPR, Mayaguez - Puerto Rico, 2014.
- [4] R. F. Galarza, «Golpe de Ariete,» de *The National Environmental Services Center*, Morgantown, 2014.

- [5] E. B. W. V. L. Streeter, Mecánica de Fluidos, Bogotá-Colombia: MC Graw - Hill, 2000.
- [6] R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, México: Pearson Educación, 2006.
- [7] R. G. Abreu J., Transitorios y Oscilaciones en Sistemas Hidráulicos a Presión, 1994.
- [8] M. V. Mendez, Tuberías a Presión en Sistemas de Abastecimiento de agua, Caracas - Venezuela, 1997.
- [9] C. Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquina Hidroeléctricas, Madrid España: Ediciones del Castillo S.A., 1986.
- [1] E. U. d. I. T. A. d. C. Real, «Ingeniería Rural,» [En línea]. Available: www.ingenieriarural.com. [Último acceso: 24-28 noviembre 2015].
- [1] N. & A. G. Azevedo, Teoría del Golpe de Ariete y sus Aplicaciones en Ingeniería Hidráulica, 1975.
- [1] Y. Mattarollo, «ALTEC,» 09 Enero 2014. [En línea].
- [2] Available: MATTAROLLO, Yamel. (2014,09 de Enero), ¿Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general? ALTEC. Web site: <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>. [Último acceso: 11 12 2015].
- [1] D. I. Automation, «Danfoss Industrial Automation,»
- [3] May 2007. [En línea]. Available: http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/CDF180FA-4AFE-46AF-99A1-4E20A4FC1418/0/ICPS600A402_1_oms_solenoid_valves_how_to_use.pdf. [Último acceso: 17 Noviembre 2015].
- [1] P. Rival, «Tubería de PVC tipo roscable,» 2007. [En línea]. Available: PLASTICOS RIVAL. (2015). Tubos e PVC para presión tipo roscable. Web site:http://plasticosrival.com/wp-content/uploads/2013/10/PVC-Presion_Tipo_Roscable.pdf. [Último acceso: 18 12 2015].
- [1] M. Gomez, «Academia,» 2010. [En línea]. Available: 5] <http://www.detalles bombas centrifugas>. [Último acceso: 27 NOVIEMBRE 2015].
- [1] Seensing, «Sensores y transductores,» 16 Diciembre
- [6] 2015. [En línea]. Available: SENSING. (2015,16 de Diciembre), Sensores de Presión. Web site: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/. [Último acceso: 22 Diciembre 2015].