UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

ROJAS BERNARDO, HOMARTH ULDARICO

POVES LEÓN, JOE BORIS

Pucallpa – Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 07-2026

GRADUANDO :

ROJAS BERNARDO, Homarth Uldarico
POVES LEON, Joe Boris

TEMA : ***"ANALISIS DE GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRAULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI."***

ASESOR : Dr. Wallter Gilberto ROMAN CLAROS

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION	X			
* TONO DE VOZ	X			
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL	X			
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA	X			
* DOMINIO DE VOZ	X			
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS		X		
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO		X		
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD		X		
* A LA PROFESION		X		

EVALUACION

- EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:
PUNTAJE : **25** / 30

CONCLUSIONES:
APROBADO POR : **UNANIMIDAD**
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

Dr. Horacio SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

Dr. Devyn Omar DONAYRE FERNANDEZ
MIEMBRO

Dr. David Abel GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
MIEMBRO

M.SC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO DE CERNA
SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 23 DE ENERO DEL 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

TESIS TITULADA:

"ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI"

ELABORADO POR:

Bach. Poves Leon, Joe Boris

Bach. Rojas Bernardo, Homarth Uldarico

APROBADO POR:

Dr. HORACIO SORIANO ALAVA
Presidente

Dr. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
Primer Miembro

Dr. DAVID ABEL GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
Segundo Miembro

DR. WALTER GILBERTO ROMAN CLAROS
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/002-2026.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**"

Autor(es)	:	**POVES LEON, JOE BORIS**
		ROJAS BERNARDO, HOMARTH ULDARICO
Facultad	:	**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
Escuela	:	**ING. CIVIL**
Asesor(a)	:	**Dr. ROMAN CLAROS WALTER GILBERTO**

Presenta un **porcentaje de similitud de 6%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 12/01/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Homarth Wldarico Rojas Bernardo

Autor de la tesis titulada: "Análisis del golpe de ariete en sistemas hidraulicos y la estabilidad de columna de equilibrio en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali"

Sustentada el año 2026

Asesor(a): Dr. Walter Gilberto Roman Claros

Facultad: Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 23 / 01 / 2026

Email: homarthrojasbernardo@gmail.c Firma:

Teléfono: 966930060 DNI: 47936970

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, JOE BORIS POVES LEON

Autor de la tesis titulada: Analisis del Golpe de Arite en Sistemas Hidraulicos y la Estabilidad de Chimenea de Equilibrio en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.

Sustentada el año: 2026

Asesor(a): Dr. Walter Roman Claros

Facultad: Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 23/01/2026

Email: jbpovesleon@gmail.com Firma:

Teléfono: 977586930 DNI: 73802654

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres y a mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional en todo este proceso de mi formación profesional. A mi adorada hija Sophia Alexandra, quién es una de mis más grandes motivaciones para poder lograr mis metas.

Homarth Uldarico

Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a mi madre Juana. Sin su apoyo incondicional, su fuerza y sus oraciones diarias, este logro no habría sido posible. Su amor ha sido mi guía, su paciencia mi refugio y su ejemplo mi mayor inspiración. Madre mía, este trabajo es una ofrenda a tu dedicación y entrega. Gracias por ser mi luz en el camino. Te amo profundamente. Y en especial se la dedico a mi amada hija Chloe, ella es la mayor inspiración de mi vida. Cada paso que doy, cada meta que alcanzo, lleva impreso su nombre y su sonrisa. Esta tesis te la dedico a ti, porque eres mi motor, mi fuerza y mi razón de seguir adelante. Que este logro te recuerde siempre que los sueños se cumplen con esfuerzo, amor y perseverancia.

Joe Boris

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la vida, fortaleza y sabiduría para llegar hasta aquí. A nuestras familias, por estar presente en cada paso de este camino. A nuestros amigos y compañeros, por su compañía, risas y apoyo durante esta etapa. A todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso, gracias por ser parte de este logro. No sin antes agradecer menormente a nuestro asesor de tesis por brindarnos los conocimientos necesarios para estructurar este trabajo de tesis.

Los tesistas

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el fenómeno de golpe de ariete en sistemas hidráulicos y evaluar el comportamiento de la chimenea de equilibrio en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. El tipo de investigación fue aplicada, con un nivel descriptivo-explicativo, con un diseño pre experimental de laboratorio. La población está referida a todas las corridas experimentales posibles del sistema. De acuerdo con el diseño de la investigación, la muestra estuvo conformada por 15 ensayos en el sistema hidráulico del equipo HM 156 Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio de la marca G.U.N.T., compuesta por 5 tratamientos del nivel de chimenea y 3 repeticiones. Los resultados revelaron que el T5 presentó mayores sobrepresiones en las tuberías del sistema hidráulico y un menor incremento del nivel de agua en el interior de la chimenea. Los resultados del test de ANOVA y la prueba T-Student demuestran que existe una diferencia significativa entre la media y las varianzas de los tratamientos o grupos. Se concluyó que la estabilidad de chimenea de equilibrio tiene un efecto significativo en la determinación del golpe de ariete en sistemas hidráulicos, ya que se obtuvo un Rho de Spearman de 0.96 y significativa (<0.01). Además, se explica la relación entre la ocurrencia del golpe de ariete y sus factores, y la respuesta de la estabilidad de la chimenea de equilibrio en una duración de 60 segundos.

Palabras clave: golpe de ariete, chimenea de equilibrio, caudal, volumen.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the water hammer phenomenon in hydraulic systems and evaluate the behavior of the surge tank in the laboratory of the National University of Ucayali. The research was applied, with a descriptive-explanatory level, and employed a pre-experimental laboratory design. The population encompassed all possible experimental runs of the system. According to the research design, the sample consisted of 15 tests on the hydraulic system of the G.U.N.T. HM 156 Water Hammer and Surge Tank equipment, comprising 5 surge tank level treatments and 3 replicates. The results revealed that treatment T5 exhibited higher overpressures in the hydraulic system pipes and a smaller increase in the water level inside the stack. The results of the ANOVA and Student's t-test demonstrate a significant difference between the mean and variances of the treatments or groups. It was concluded that stack stability has a significant effect on water hammer in hydraulic systems, as a Spearman's rho of 0.96 was obtained, which was statistically significant ($p < 0.01$). Furthermore, the relationship between the occurrence of water hammer and its contributing factors, and the response of stack stability over a 60-second period, was explained.

Keywords: water hammer, surge tank, flow rate, volume.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA vii

AGRADECIMIENTO viii

RESUMEN ix

ABSTRACT x

ÍNDICE GENERAL xi

ÍNDICE DE TABLAS xiv

ÍNDICE DE FIGURAS xv

INTRODUCCIÓN xvii

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19

1.1 DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA 19

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 21

1.2.1 PROBLEMA GENERAL 21

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS 21

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.3.1 OBJETIVO GENERAL 21

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 22

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 22

1.5 LIMITACIONES Y ALCANCES 24

1.6 HIPÓTESIS 25

1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL 25

1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 25

1.7 SISTEMA DE VARIABLES DIMENSIONES E INDICADORES 25
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 28
2.1 ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS 28
2.2 BASES TEÓRICAS 31
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 56
CAPÍTULO III METODOLOGÍA 60
3.1 METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS 60
3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 62
3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN 62
3.1.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 63
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA 67
3.2.1 POBLACIÓN 67
3.2.2 MUESTRA 67
3.2.3 PROCEDIMIENTO 68
CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 70
4.1 Resultados de los ensayos experimentales 70
4.2 Prueba de normalidad 90
4.3 Prueba de análisis de varianza 90
4.4 Prueba T-Student 92
4.5 Pruebas de hipótesis de correlación 95
4.6 Discusión de resultados 98
CONCLUSIONES 103

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS 105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 106

ANEXOS 110

Anexo N°01 – Matriz de consistencia 112

Anexo N°02 – Ensayos de laboratorio 113

Anexo N°03 – Guía de observación 143

Anexo N°04 – Panel fotográfico 144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Matriz de Operacionalización de Variables, Indicadores y Dimensiones.* 27

Tabla 2 *Formato de recolección de datos del estudio.* 66

Tabla 3 *Resultados del ensayo N°01 de golpe de ariete.* 70

Tabla 4 *Resultados del ensayo N°02 de golpe de ariete.* 72

Tabla 5 *Resultados del ensayo N°03 de golpe de ariete.* 74

Tabla 6 *Resultados del ensayo N°04 de golpe de ariete.* 76

Tabla 7 *Resultados del ensayo N°05 de golpe de ariete.* 78

Tabla 8 *Resultados del ensayo N°01 de chimenea de equilibrio.* 80

Tabla 9 *Resultados del ensayo N°02 de chimenea de equilibrio.* 82

Tabla 10 *Resultados del ensayo N°03 de chimenea de equilibrio.* 84

Tabla 11 *Resultados del ensayo N°04 de chimenea de equilibrio.* 86

Tabla 12 *Resultados del ensayo N°05 de chimenea de equilibrio.* 88

Tabla 13 *Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.* 90

Tabla 14 *Análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Variaciones de presión.* 91

Tabla 15 *Análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Caudales.* 91

Tabla 16 *Tabla de distribución T-Student de niveles de significancia a dos colas.* 93

Tabla 17 *Resultados de la prueba de hipótesis T-Student de muestras emparejadas.* 94

Tabla 18 *Resultados con respecto a la hipótesis específica 1.* 95

Tabla 19 *Resultados con respecto a la hipótesis específica 2.* 96

Tabla 20 *Resultados con respecto a la hipótesis específica 3.* 96

Tabla 21 *Resultados con respecto a la hipótesis general.* 97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema general de un sistema hidráulico a presión. 32

Figura 2 Esquema del funcionamiento de una bomba. 34

Figura 3 Golpe de ariete en una conducción por gravedad 41

Figura 4 Golpe de ariete en una conducción por bombeo. 41

Figura 5 Tipo de chimenea de equilibrio vertical simple. 44

Figura 6 Tipo de chimenea de equilibrio con orificio restringido. 46

Figura 7 Tipo de chimenea de equilibrio amortiguado. 47

Figura 8 Tipo de chimenea de equilibrio de sección transversal variable. 48

Figura 9 Tipo de chimenea de equilibrio de oscilación diferencial. 49

Figura 10 Tipo de chimenea de equilibrio de aire o neumática. 50

Figura 11 Interfaz del software para ensayo de golpe de ariete. 54

Figura 12 Interfaz del software para ensayo de chimenea de equilibrio. 56

Figura 13 *Ubicación de la zona de estudio*. 60

Figura 14 *Ubicación del Laboratorio de Estructura de Hidráulica*. 61

Figura 15 *Vista exterior del tercer portal de la universidad*. 61

Figura 16 *Gráfica del ensayo N°01 de golpe de ariete*. 71

Figura 17 *Gráfica del ensayo N°02 de golpe de ariete*. 73

Figura 18 *Gráfica del ensayo N°03 de golpe de ariete*. 75

Figura 19 *Gráfica del ensayo N°04 de golpe de ariete.* 77

Figura 20 *Gráfica del ensayo N°05 de golpe de ariete*. 79

Figura 21 *Gráfica del ensayo N°01 de chimenea de equilibrio*. 81

Figura 22 *Gráfica del ensayo N°02 de chimenea de equilibrio*. 83

Figura 23 Gráfica del ensayo N°03 de chimenea de equilibrio. 85

Figura 24 *Gráfica del ensayo N°04 de chimenea de equilibrio*. 87

Figura 25 *Gráfica del ensayo N°05 de chimenea de equilibrio*. 89

Figura 26 *Valor crítico (Vc) de prueba T-Student entre variaciones de presión en sistema hidráulico sin chimenea y con chimenea de equilibrio*..... 94

Figura 27 Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis específica 1. 98

Figura 28 Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis específica 2. 99

Figura 29 Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis específica 3. 100

Figura 30 Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis general..... 102

INTRODUCCIÓN

El diseño y la operación de sistemas hidráulicos a presión, como las tuberías de impulsión o las conducciones en centrales hidroeléctricas, exigen un riguroso análisis de los fenómenos transitorios. Uno de los más críticos es el Golpe de Ariete, un fenómeno hidrodinámico que se origina por cambios bruscos en la velocidad del flujo, por ejemplo, el cierre o apertura rápida de válvulas, las paradas de bombas, entre otros. Estos cambios generan ondas de sobrepresión y sub presión que se propagan a lo largo de la tubería, pudiendo causar daños estructurales severos como rotura de conductos, fallas en equipos o colapso por presión negativa.

El presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio experimental y teórico de estos fenómenos, aprovechando las instalaciones del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali.

En el CAPÍTULO I se introduce la problemática que da origen a la investigación, se explica la relevancia del tema y se delimita el objeto de estudio, formulando preguntas de investigación que guían el desarrollo del trabajo, también se aborda los objetivos generales y específicos que orientan el alcance de la investigación.

En el CAPÍTULO II se aborda el marco teórico, los fundamentos de la Hidráulica, el Golpe de Ariete y el funcionamiento de la Chimenea de Equilibrio (clasificación, ecuaciones de oscilación).

En el CAPÍTULO III se explica la metodología, Se describe detalladamente el sistema hidráulico del laboratorio, los instrumentos de medición utilizados (sensores de presión, cronómetros) y el procedimiento experimental para la generación y registro del Golpe de Ariete con y sin la Chimenea de Equilibrio.

En el CAPÍTULO IV se presentan y analizan los datos experimentales obtenidos. En este capítulo se presentan tablas y gráficas relevantes en relación a los objetivos del estudio.

Se analizan e interpretan los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se comparan con los resultados teóricos y se evalúan las discrepancias, incluyendo el análisis de las pérdidas de carga y la estabilidad de las oscilaciones en la chimenea, finalmente se resumen los hallazgos más importantes de la investigación y se proponen recomendaciones para el diseño hidráulico y para futuras investigaciones en el laboratorio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los problemas que más afecta de manera irreversible los sistemas de abastecimiento de agua es el fenómeno hidráulico conocido como “golpe de ariete”. El mismo ocurre cuando se produce una variación drástica en la velocidad del agua, a causa de elementos de bloqueo que se abren o se cierran durante el funcionamiento de sistemas de conducción hidráulica. Esto puede causar roturas en las tuberías, fallos en las válvulas y otros daños estructurales, lo que pone en riesgo la integridad de los sistemas y los componentes sanitarios como válvulas o bombas de centrales hidroeléctricas, además, puede generar costos adicionales debido a daños y mantenimientos recurrentes.

En el contexto global, Parmakian indicó que “este fenómeno representa un desafío tanto teórico como práctico en la ingeniería hidráulica, exigiendo soluciones innovadoras que equilibren la seguridad y la economía en el diseño”.

Con relación al estudio global de este fenómeno de golpe de ariete, otros países realizaron estudios cuantitativos del mismo, además, algunos regularon su normativa local para enfrentar las posibilidades de este fenómeno.

En Chile, realizaron un estudio del golpe de ariete y el uso de chimenea de equilibrio en proyectos hidráulicos, sistemas de abastecimiento de agua potable, instalaciones domésticas de agua. En este se determinan los efectos “devastadores” de este fenómeno (Varas y Uribe, 2000, p. 1), dichos estudios resaltan la importancia de mitigar las variaciones de presión generadas por el golpe de ariete.

En Indonesia, presentaron una investigación de las variables físicas en una tubería con respecto a la ocurrencia de un golpe de ariete. En este estudio el amortiguamiento que utilizan es la instalación de una tubería alterna con válvula de retención de manera

experimental y capturando la señal de la celeridad de onda con un dispositivo de adquisición de datos y un acelerómetro. Mediante la instalación de una tubería con válvula de retención, lograron reducir el pico de presión en un 33.33% de la presión registrada sin este (Robayo Araque, 2021).

En Colombia, la Norma Técnica Colombiana (NTC 1500) especifica “la velocidad del flujo del sistema de distribución de agua debe ser controlada, para reducir las posibilidades del golpe de ariete. Se debe instalar un reductor de golpe de ariete donde se utilice válvulas de cierre rápido” (Robayo Araque, 2021; Icontec, 2020).

Con referencia a estos citados, se abre la idea del por qué las variaciones de presión generadas por el golpe de ariete tienen tanta importancia en el área hidráulica (Robayo Araque, 2021).

De esta manera, se establecieron algunas causas de este fenómeno, las mismas señalan el cierre brusco de válvulas, cambios en el flujo debido a encendido o apagado de bombas, o la interacción con sistemas que no cuentan con elementos de amortiguación que brinden estabilidad.

En ese modo, las variaciones de presión y la estabilidad en el diseño de sistemas de conducción hidráulica resultan factores cruciales en el estudio de este fenómeno de golpe de ariete.

Así, el planteamiento de una alternativa de amortiguación de este fenómeno conduce a una chimenea de equilibrio, la misma es una estructura que permite disipar la energía hidráulica de manera controlada, lo que podría reducir el riesgo de daños estructurales en los sistemas hidráulicos. Por tanto, su implementación en sistemas hidráulicos con variaciones abruptas de presión puede marcar una diferencia significativa.

En ese contexto, la implementación de una chimenea de equilibrio podría destacar como una estrategia para amortiguar las variaciones de presión generadas por el golpe de ariete, que será determinado a través de una relación de influencia de tipo causa y efecto.

En la búsqueda de un ambiente controlado, se encontró el Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), en el mismo se puede realizar ensayos para analizar el efecto del golpe de ariete y la estabilidad de una chimenea de equilibrio, de esta manera podemos establecer la relación entre las variables.

Por tanto, se plantea el problema siguiente: ¿Cuáles son los efectos del fenómeno de golpe de ariete y la estabilidad de chimenea de equilibrio en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali?

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuáles son los efectos del fenómeno de golpe de ariete y la estabilidad de chimenea de equilibrio en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el efecto del nivel de chimenea en el caudal del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali?
- ¿Cuál es el efecto del nivel de chimenea en la variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali?
- ¿Cuál es la relación entre el nivel de chimenea, caudal, y variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar los efectos de la estabilidad de una chimenea de equilibrio en el golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad

Nacional de Ucayali.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del nivel de chimenea en el caudal del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Determinar el efecto del nivel de chimenea en la variación de presión en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Determinar si existe una relación entre el nivel de chimenea, caudal, y variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1 JUSTIFICACIÓN

La justificación del proyecto se basa en la importancia del estudio en la ingeniería hidráulica sobre los efectos del fenómeno de golpe de ariete y su posible amortiguación mediante la implementación de una chimenea de equilibrio. El propósito del estudio se basa en los objetivos y preguntas de la investigación.

El desarrollo del presente estudio permitirá conocer en mayor medida el efecto de una chimenea de equilibrio vertical en el control del golpe de ariete en sistemas de conducción hidráulica y su relación entre ellas, esto podrá permitir a futuro la evaluación de aplicación de este tipo de soluciones en sistemas hidráulicos en la región.

De este modo, el estudio se justifica en base a su capacidad de generar mayor conocimiento de un área específico con gran relevancia.

Desde el punto de vista económico: permite demostrar el efecto del golpe de ariete y conocer sus efectos devastadores, de esta manera, se podrá prevenir

su impacto en situaciones reales y mitigar pérdidas económicas por posible daño en las válvulas.

Desde el punto de vista metodológico: permite establecer y seguir un procedimiento claro, lógico y con base en el método de investigación científica para demostrar las hipótesis de la investigación.

Desde el punto de vista social: permitirá principalmente a los estudiantes y docentes de la universidad conocer acerca de los equipos hidráulicos y ensayos que se pueden realizar en el Laboratorio de Estructura e Hidráulica.

Desde el punto de vista ambiental: la presente investigación estudia los efectos del golpe de ariete y chimenea de equilibrio en el agua, no afecta sus propiedades y no interviene en el suelo ni el aire.

Desde el punto de vista tecnológico: la investigación utiliza equipos hidráulicos de última tecnología que permite el estudio de las variables con mayor precisión.

1.4.2 IMPORTANCIA

La importancia consiste en conocer la relación entre las variables del estudio en la determinación del golpe de ariete en sistemas de conducción hidráulica: nivel de chimenea, caudal del golpe de ariete y las variaciones de presión en sistemas hidráulicos por golpe de ariete.

Con el desarrollo de la presente investigación, se beneficiará a toda la comunidad de estudiantes de últimos ciclos y egresados de la carrera profesional de ingeniería civil de la universidad, al aportar conocimiento y metodología clara en el estudio del fenómeno hidráulico del golpe de ariete en sistemas hidráulicos.

1.4.3 VIABILIDAD

Para determinar la viabilidad del estudio resulta pertinente considerar tres aspectos claves: pertinencia, viabilidad y sostenibilidad.

Pertinencia

El proyecto es coherente con las normas técnicas de saneamiento y contribuirá al desarrollo de la comunidad de la carrera profesional de ingeniería civil.

Viabilidad

Existe la posibilidad de obtener fuentes de datos de primer grado con los equipos del laboratorio de Estructura e Hidráulica de la universidad, por tanto, el proyecto será factible porque el laboratorio cuenta con los equipos necesarios y sus complementos se encuentran disponibilidad en el mercado.

Sostenibilidad

Se considera como beneficio la metodología clara y precisa como una guía o manual de operación del equipo, y la implementación de la chimenea de equilibrio a futuro será un beneficio a largo plazo.

1.5 LIMITACIONES Y ALCANCES

Limitaciones de tiempo y acceso a los ambientes del laboratorio podrían afectar el tiempo de acceso a la muestra, sin embargo, se contó con autorización de la facultad para el uso de los ambientes y banco de ensayos de chimenea y golpe de ariete del laboratorio.

Limitaciones en el número de pruebas y repeticiones podría restringir la comprensión completa del impacto del golpe de ariete y podría influir en la variabilidad de los resultados, sin embargo, esto se superó mediante la elaboración del formato de recolección de datos y la cantidad de repeticiones se determinó en base de fuentes de datos secundarias obtenidas de la facultad.

La habilidad del operador de los ensayos de laboratorio podría influir en la variabilidad de los resultados, sin embargo, se mitigó este factor con el apoyo del laboratorista de la facultad.

El estudio es de alcance descriptivo-correlacional, de acuerdo al planteamiento del problema, se va a recolectar datos experimentales en laboratorio con relación al fenómeno de golpe de ariete en sistemas hidráulicos y estabilidad de chimenea de equilibrio. Los resultados de la investigación aportarán al conocimiento sobre los efectos del fenómeno de golpe de ariete, cuya aplicación práctica radica en el diseño y gestión de sistemas hidráulicos. Por ende, este estudio servirá como base para futuras investigaciones explicativas sobre este fenómeno a escala real, también podrían explorar y profundizar en otra serie de cuestiones o variables.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL

- La estabilidad de chimenea de equilibrio tiene un efecto significativo en el efecto del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.

1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El nivel de chimenea tiene un efecto significativo en el caudal del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.
- El nivel de chimenea tiene un efecto significativo en la variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Existe una relación significativa entre el nivel de chimenea, caudal y variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.

1.7 SISTEMA DE VARIABLES DIMENSIONES E INDICADORES

Variable Independiente

La variable independiente es la estabilidad de chimenea de equilibrio, y dimensión.

X1: Nivel de chimenea (30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm y 50 cm).

Variable Dependiente

La variable dependiente es el efecto del golpe de ariete en sistemas hidráulicos.

Y1: Caudal del golpe de ariete.

Y2: Variación de presión en sistema hidráulico.

Y3: Relación del golpe de ariete con vs. sin chimenea.

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de Variables, Indicadores y Dimensiones.

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Sub dimensión	Indicadores	Unidad	Tipo de variable	Escala	Instrumento
Variable independiente: Estabilidad de chimenea de equilibrio	Se mide el nivel de agua en la chimenea y las oscilaciones de presión en el sensor instalado en las tuberías del sistema hidráulico.	Nivel de chimenea	Altura vertical	Altura de la columna de agua en la chimenea según tratamiento (30, 35, 40, 45 y 50 cm)	Centímetro	Cuantitativo	Razón continua	Regla o flexómetro
			Tiempo	Duración de la medición de presión en P3 durante el ensayo	Segundos	Cuantitativo	Razón continua	Cronómetro
			Presión	Medición de presión en P3 durante el ensayo	bar	Cuantitativo	Razón continua	Sensor de presión
Variable dependiente: Golpe de ariete en un sistema hidráulico	Se mide el caudal en el sistema mediante el método volumétrico, y las variaciones de presión en los sensores instalados en las tuberías del sistema hidráulico, y la relación entre el nivel de chimenea, caudal de golpe de ariete y variaciones de presión.	Tiempo		Tiempo que tarda en ocurrir el golpe de ariete	Segundos	Cuantitativo	Razón continua	Cronómetro
		Volumen		Cantidad de fluido que desplaza el golpe de ariete	Litros	Cuantitativo	Razón continua	Depósito y probeta graduada
		Caudal		Caudal de fluido que mueve el golpe de ariete	L/s	Cuantitativo	Razón continua	Cronómetro y depósito y probeta graduada
		Variaciones de presión hidráulica	Presión al primer pulso	Medición de presión en P1 durante el ensayo	bar	Cuantitativo	Razón continua	Sensor de presión
			Presión al segundo pulso	Medición de presión en P2 durante el ensayo	bar	Cuantitativo	Razón continua	Sensor de presión

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS

2.1.1 Antecedentes internacionales

En Gallardo Armijos y Zambrano Vera (2020) “Determinación del golpe de ariete en tuberías a presión mediante un modelo hidráulico de laboratorio” se desarrolló una investigación aplicada en un modelo de laboratorio con el objetivo de determinar la variación de las presiones en diferentes puntos, concluyendo el diseño del modelo hidráulico es útil para la demostración del objetivo y sirve como guía a los estudiantes de la carrera de ingeniería civil.

En Ramírez Alzate (2024) “Evaluación del impacto del golpe de ariete en la estabilidad de una tubería, estudio de caso: Transporte de petróleo crudo” se desarrolló una investigación con el objetivo de analizar y evaluar el impacto del golpe de ariete en una tubería, para la recolección de datos se utilizó un modelo paramétrico y el software AFT Impulse para simular transitorios de presión en una tubería. El estudio concluye con la comprensión del golpe de ariete y su influencia en el sistema de transporte de petróleo crudo, resaltando, en particular, que las presiones negativas pueden representar un riesgo de cavitación, fenómeno que podría dañar las superficies internas de la tubería y los componentes del sistema de agua.

En Robayo Araque (2021) “Estructuras para el amortiguamiento de golpe de ariete en sistemas de distribución de agua potable” se diseñó una investigación aplicada con el objetivo de validar y establecer la bondad y aplicabilidad de ciertos amortiguadores de golpe de ariete en los sistemas de distribución de agua potable, diseñando modelos físicos en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Los Andes que se adecuen a los requerimientos técnicos de la evaluación. El estudio

concluye que, ninguno de los amortiguadores de pistón evaluados lograron disminuir la sobrepresión generado por el golpe de ariete, en suma, el accesorio que sí logra disminuir el golpe de ariete, aunque en menor grado, es uno que no es muy utilizado por su complicada instalación en el hogar, por el contrario, observaron que la variable que determina más proporcionalidad es el caudal demandado en el sistema de distribución de agua, dando consideraciones importantes al momento de diseñar la sobrepresión máxima en un sistema, recomendando considerar otros métodos para simular la demanda de agua.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En Ccencho Lima (2024) “Atenuación del golpe de ariete en líneas de conducción de agua, analizados mediante métodos computacionales, Chupaca, Junín 2021” se diseñó una investigación aplicada no experimental de tipo descriptivo con el objetivo de estudiar la atenuación del fenómeno golpe de ariete en líneas de conducción de agua apoyado de métodos computacionales con los softwares Hammer y Allievi para el análisis hidráulico. Se definió la población y muestra del estudio como la línea de conducción de agua potable del distrito de Chupaca. Los resultados señalan que la presión promedio en flujo permanente asciende a 90 m.c.a., considerando variación de flujo con la operación de la válvula genera una presión máxima promedio de 125 m.c.a., en el estudio consideran el tanque hidroneumático como dispositivo de control para disminuir la presión en la línea de conducción, concluyendo que el golpe de ariete influye y afecta el comportamiento hidráulico en líneas de conducción de agua.

En Huamán Gutiérrez (2021) “Diseño y cálculo de un sistema de bombeo económico y sostenible para tierras eriazas en la Asociación Huamán Tapara, de la localidad de Nuñoa”, se diseñó una investigación aplicada con el objetivo de realizar el diseño y cálculo de un sistema de bombeo con tres bombas de ariete en paralelo para

abastecer de agua las tierras eriazas de Orccorarapampa aprovechando el golpe de ariete y la geografía del terreno. En esta investigación el autor señala que conoce el perjuicio que provoca el fenómeno del golpe de ariete, sin embargo, resalta el aprovechamiento del efecto del golpe de ariete para enfrentar los problemas de abastecimiento de agua en localidades con demanda de agua y topografía favorable, al final recomienda implementación de normas técnicas acerca de las bombas de ariete y planes de mantenimiento preventivo para la operación de los equipos.

En Menéndez Fernández (2024) “Estudio numérico con el programa Hammer para determinar el golpe de ariete en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, y HD” se diseñó una investigación aplicada con el objetivo de analizar el golpe de ariete de la línea de impulsión en diferentes materiales de tuberías apoyado de métodos computacionales con el software Hammer. En el estudio se define que el dimensionado de las tuberías de impulsión y el tipo de material influyen significativamente en el efecto del golpe de ariete. Se calculó el fenómeno del golpe de ariete por la ecuación de Michaud y se implementó un tanque hidroneumático para mitigar el efecto, siendo este equipo uno de los más implementados en la amortiguación del golpe de ariete por su buen desempeño para mitigar las presiones.

2.1.3 Antecedentes locales

En Pineda Bardalez (2024) “Evaluación del fenómeno de Golpe de Ariete a tres diferentes alturas en el Circuito Hidráulico del laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali”, se diseñó una investigación aplicada experimental con el objetivo de evaluar el fenómeno de golpe de ariete en laboratorio a tres diferentes alturas. La muestra tuvo un diseño aleatorio conformada por 3 tratamientos y 4 repeticiones en el equipo Ariete Hidráulico HM150.15. Para el análisis estadístico inferencial, se utilizó la prueba de Tukey y el coeficiente de correlación de Pearson para demostrar las pruebas de hipótesis. Dicho esto, los resultados demostraron un efecto significativo entre el

tiempo y volumen a tres diferentes alturas con una alta correlación de Pearson de 0.897.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Bases para el funcionamiento de Sistemas hidráulicos

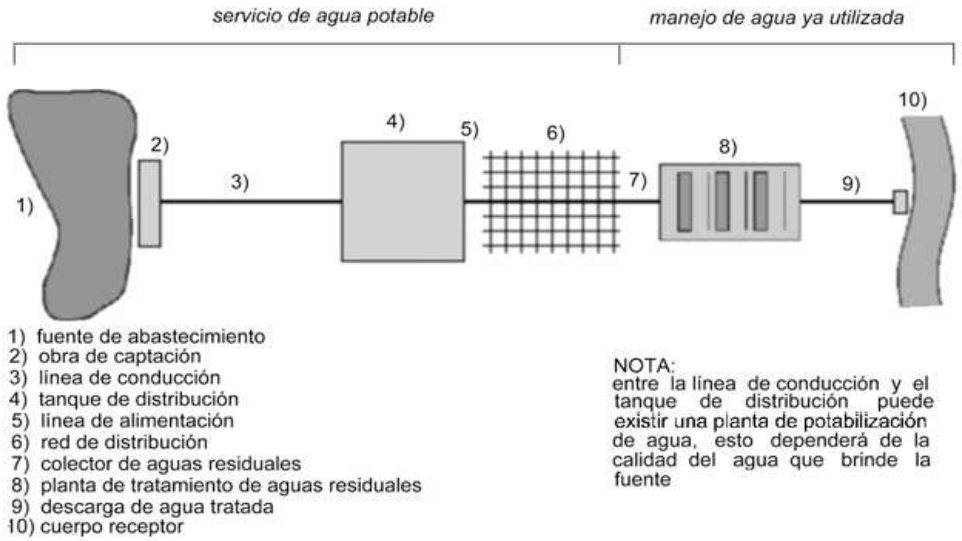
Los proyectos hidroeléctricos y las obras de captación de agua como las centrales, o los sistemas de abastecimiento de agua potable, estos sistemas funcionan en base a máquinas hidráulicas, que se encienden o apagan, y elementos de bloqueo que se abren o cierran durante el funcionamiento para controlar el flujo del agua. Estas maniobras ocasionan cambios en el caudal, que provoca fluctuaciones de presión.

Un sistema de abastecimiento es un conjunto diseñado para captar, conducir, almacenar y distribuir un fluido para lo que está destinado. En términos simples, está compuesto por:

- Fuente de abastecimiento.
- Obra de captación.
- Línea de conducción.
- Almacenamiento del agua.
- Redes de distribución del agua (Ortiz Masek, 2006, p.39).

Figura 1

Esquema general de un sistema hidráulico a presión.



Nota. Tomado de “Figura 1”, por Ortiz Masek (2006), p.39.

a) Fuente de abastecimiento

Las fuentes de abastecimiento son aquellos lugares de los que se obtiene el agua, elemento líquido vital, para ser destinado a alguna población o para agricultura. En dicho lugar se debe realizar estudios básicos para determinar la “calidad del agua” y la “cantidad de agua disponible”, esto se obtiene en función del cálculo de la demanda de agua que requiera el proyecto (Ortiz Masek, 2006, p.40).

Las fuentes de abastecimiento se clasifican en dos categorías: las superficiales, que incluyen ríos, arroyos, lagos, embalses y lagunas; y las subterráneas, que comprenden pozos (Ortiz Masek, 2006, p.41).

Debe considerar que previamente al uso de las fuentes de agua naturales requiere obtener una autorización de uso hídrico emitido por la autoridad nacional de su jurisdicción, acompañado de los cálculos debidos que sustentan la demanda de agua del proyecto de captación.

b) Obra de captación

La obra de captación es aquella que permite tomar el agua directamente de la fuente de abastecimiento. Para el diseño de la obra se debe garantizar su adecuado desempeño, con la finalidad de evitar la contaminación del agua captada, evitar el rebalse o pérdida de captación y “la seguridad, estabilidad y funcionamiento de la misma” (Ortiz Masek, 2006, p.41).

c) Línea de conducción

La línea de conducción es aquella que permite llevar el agua de la fuente de abastecimiento hasta su lugar de almacenamiento o tratamiento. “La conducción puede realizarse de dos maneras, por gravedad o bombeo, dependiendo de las condiciones topográficas del terreno. La conducción por bombeo se utiliza cuando la fuente de abastecimiento se encuentra a un nivel inferior del lugar de almacenamiento” (Ortiz Masek, 2006, p.42).

d) Almacenamiento del agua

El tanque de distribución es aquel que facilita la conservación del agua a ser distribuida y el mantenimiento de presiones apropiadas para el servicio. El tanque de distribución debe estar situado por encima de las redes de distribución para que el agua pueda ser transportada hasta su destino mediante la gravedad. Los tanques de distribución pueden ser fabricados con diferentes materiales, incluyendo mampostería, metal, concreto reforzado o plástico (Ortiz Masek, 2006, p.43).

e) Redes de distribución del agua

Las redes de distribución del agua son aquellas que permiten transportar el agua desde su almacenamiento hasta la población o el lugar destinado. La primera línea de alimentación es la tubería instalada desde el tanque de distribución hasta la primera derivación de caudal, desde las cuales derivan las tuberías subterráneas instaladas que derivan hasta la conexión domiciliaria, estas conforman las redes de distribución (Ortiz Masek, 2006, p.44).

f) Equipos de bombeo

Los sistemas de abastecimiento donde la energía que se dispone en las tuberías no es suficiente para llevar el agua a su destino, se instala “estaciones de bombeo” destinadas a incrementar la energía del sistema mediante la aplicación de energía externa (Ortiz Masek, 2006, p.45).

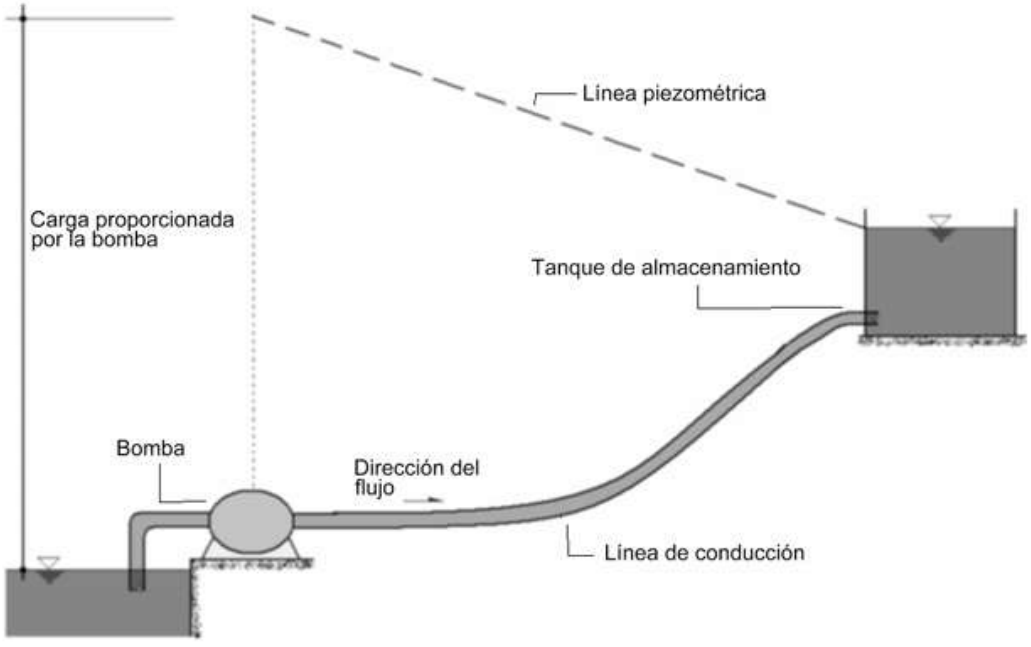
- Bomba hidráulica

Una bomba es un equipo que traslada energía mecánica a un líquido, lo que incrementa la carga disponible para mover el volumen a través de una tubería. Según las propiedades del diseño, se pueden utilizar dos clases de bombas: sumergibles y centrífugas (Ortiz Masek, 2006, p.45).

Una recomendación en la conducción de agua es utilizar bombas y en la distribución tratar que sistema funcione por gravedad.

Figura 2

Esquema del funcionamiento de una bomba.



Nota. Tomado de “Figura 2”, por Ortiz Masek (2006), p.46.

- Válvulas

Una válvula es un accesorio destinado a controlar el flujo en una tubería. De acuerdo a su forma y diseño, se clasifican en las siguientes:

Válvula de cheque o válvula check, utilizado para evitar el retorno del agua.

Válvula de paso, utilizado para regular el servicio de caudal en tramos largos.

Válvula de compuerta, utilizado para regular el servicio de caudal.

Válvula de globo, utilizado para regular el caudal en tramos con poca presión.

Válvula de flotador, utilizado en cisternas y tanques de agua para evitar rebalse.

Válvula de aire, utilizado en el punto más alto para liberar aire acumulado.

Válvula rompe-presión, utilizado para disminuir la presión estática.

Válvula de cierre, utilizado para interrumpir el flujo del agua.

Válvula de alivio, para proteger el sistema contra sobrepresiones.

2.2.2 Teorías del Golpe de Ariete

Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014) afirman que, este fenómeno ocurre en los conductos al cerrar o abrir una válvula, también al realizar puesta en marcha o parada de una máquina hidráulica, ambos relacionados al cambio disminución brusca del caudal.

Ortiz Masek (2006) afirma que, el golpe de ariete es un fenómeno ocasionado por el cambio brusco en el flujo de agua debido a inicios súbitos o interrupción del flujo en una tubería, esto produce cambios en la presión y en la velocidad del flujo.

Causas de origen

Ortiz señala que algunas de las causas principales que generan el golpe de ariete dentro de una tubería son:

a) **Operación de bombas (arranque o parada de bomba):** cuando se utiliza equipo de bombeo, las bombas no trabajan de manera permanente, muchas veces por razones económicas, por lo que se diseña la conducción por bombeo

para funcionar en un plazo de horas diarias que son suficientes para brindar el volumen de agua necesario para cubrir la demanda del proyecto. También se interrumpe el funcionamiento por problemas fortuitos tales como la interrupción del suministro de energía a la bomba, cuando se excede la capacidad del tanque de almacenamiento, cuando existe algún desperfecto en la línea de la tubería, cuando la bomba necesita mantenimiento o cuando la bomba falla estando operando.

b) Manipulación de válvulas: se utiliza para controlar el flujo dentro de una tubería, en ocasiones simplemente para graduar el flujo, pero en ciertas circunstancias deben de detener el flujo, como, por ejemplo, cuando existe la necesidad de revisar un tramo de tubería por posibles fugas, limpieza de tanques y cajas, excedencias en el suministro, etc.

Efectos de golpe de ariete

Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014) afirma que, este fenómeno es considerado muy peligroso debido a la sobrepresión que genera puede superar de 60 hasta 100 veces la presión normal de la tubería, esto puede ocasionar:

a) Falla de turbinas y bombas.
b) Ruptura de tuberías, grifos, válvulas y accesorios.

Ortiz Masek (2006) señala que, a causa del cambio brusco de la presión en una tubería ocasionada por golpe de ariete, en un sistema de agua potable pueden ocurrir los siguientes efectos:

a) Ruido (efecto menos nocivo).
b) Vibraciones (puede causar agrietamiento, causa de fugas).
c) Falla en bombas, válvulas y otros accesorios.
d) Ruptura de tuberías.

Cálculo de la velocidad de propagación de las ondas por golpe de ariete

Como ya hemos mencionado, el fenómeno de golpe de ariete produce unas ondas de propagación debido al cambio brusco de presión, estas se denominan sobrepresión (efecto de cierre de válvula) o depresión (al abrir la válvula). En este caso, para tubos de pared delgada, la velocidad de propagación de la onda se calcula con la siguiente fórmula:

$$c_p = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{K_f \cdot d}{E_p \cdot s}}}$$

c_p Velocidad de propagación de la onda

c Velocidad del sonido en el agua, c= 1483 m/s

K_f Módulo de comprensibilidad del fluido

Módulo del Agua (K_f): $2{,}08 \cdot 10^9 \mathrm{Pa}$

E_p Módulo elástico del tubo

Tubo de cobre (E_p): $120 \cdot 10^9 \mathrm{Pa}$

d Diámetro interior del tubo (Banco de Ensayos HM 156: 26 mm)

s Grosor de la pared del tubo (Banco de Ensayos HM 156: 1 mm)

Reemplazando valores, se tiene que para el Banco de Ensayos HM 156 se aplica el siguiente valor:

$$c_p = \frac{1483\ \frac{m}{s}}{\sqrt{1 + \frac{2{,}08 \cdot 10^9\ \mathrm{Pa} \cdot 26\ \mathrm{mm}}{120 \cdot 10^9\ \mathrm{Pa} \cdot 1\ \mathrm{mm}}}}$$

$$c_p = 1231\ \frac{m}{s}$$

Si se conoce la distancia L entre dos puntos notables, se puede calcular duración t. La duración t es el tiempo que necesita la onda de presión entre dos puntos notables.

$$t = \frac{L}{1231 \frac{m}{s}}$$

Sistemas de amortiguación del golpe de ariete

Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014) señalan que, para reducir el efecto de este fenómeno, se tiene dos alternativas: la primera es el control de acción sobre la fuente que produce la perturbación, o en este caso el control de acción sobre la perturbación.

El control de acción sobre la fuente tiene como finalidad: “aumentar los tiempos de apertura y cierre de válvulas”, “incrementar la inercia de bombas y turbinas”, y “evitar vibraciones fluido dinámicas y posibles resonancias”.

En el control de acción sobre la perturbación se realiza mediante dispositivos que pueden ser de acción directa o indirecta. Los dispositivos de acción directa pueden ser: “volantes de inercia”, “válvulas de retención”, “válvulas de cierre programadas”:

a) **Volantes de inercia:** como su nombre lo dice, este dispositivo hace que, ante una parada de la bomba, esta siga girando y disminuyendo progresivamente su velocidad hasta que esta se para.
b) **Válvulas de retención:** esta es comúnmente utilizado como bypass en estaciones de bombeo, pero no es recomendable para sistemas con grandes perturbaciones.
c) **Válvulas de cierre programadas:** este método depende según la forma y cuánto tiempo se cierre la válvula. (Farinango y Villacís, 2014, pp. 29-30)

En el control de acción sobre la perturbación con los dispositivos de acción indirecta, se tiene las siguientes alternativas:

a) **Chimeneas de equilibrio:** consiste en una tubería de sección mucho mayor que la tubería del sistema hidráulico destinado a conservar agua durante el

transitorio (Farinango y Villacís, 2014, p.30).

b) **Depósitos unidireccionales:** similar a la chimenea, pero en este caso incluye una válvula unidireccional en el punto de unión con la tubería y el nivel del tanque puede estar por debajo de las cotas piezométricas. El objetivo es prevenir la cavitación en zonas altas de la tubería, proporcionando fluido cuando el nivel de las alturas piezométricas se encuentre por debajo del nivel de la superficie del depósito (Farinango y Villacís, 2014, p.31).

c) **Calderines de aire:** es aquella destinado para proteger los transitorios, especialmente en la protección de las instalaciones de bombeo frente a interrupciones del servicio eléctrico. La caldera está repleta de agua y aire comprimido; cuando se interrumpe la electricidad, el calderín contiene energía en forma de presión que, conforme el aire se expande, se va liberando a la red al inyectar el fluido. Por lo tanto, el calderín mantiene el caudal en la red y lo reduce a un ritmo más lento que si no estuviera presente (Farinango y Villacís, 2014, p.31).

d) **By-pass:** la instalación de by-pass se realiza en el grupo motor-bomba, es aquella donde existe una presión determinada en la aspiración. Cuando las bombas dejan de funcionar, la presión empieza a bajar después de la válvula de retención que se encuentra en la salida del grupo. Cuando la presión desciende por debajo del nivel del agua en el depósito de las bombas, se genera un flujo que va desde el depósito de aspiración hasta la conducción principal, sin atravesar las bombas (Farinango y Villacís, 2014, p.32).

e) **Ventosas:** La ventosa son aquellos dispositivos que se emplean para llevar a cabo una primera revisión de las sobrepresiones. Este permite que el aire atmosférico ingrese al conducto en la sección de tubería donde está instalada, siempre y cuando la presión en el conducto esté por debajo de la presión

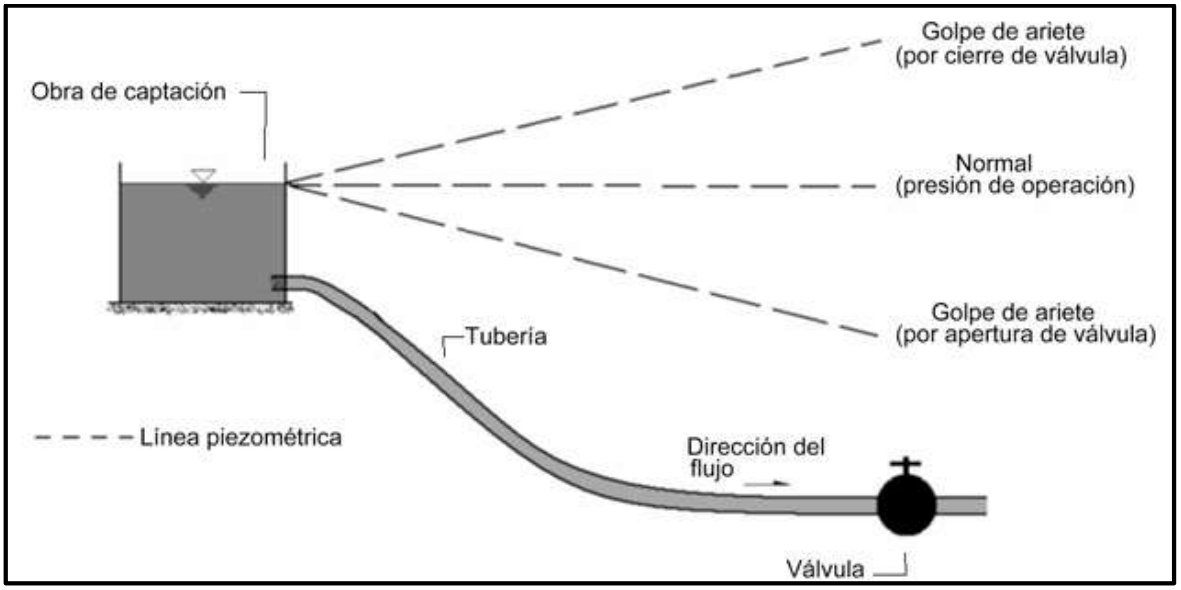
atmosférica, lo cual elimina el vacío parcial existente. Cuando la presión se eleva hasta sobrepasar la presión exterior, el aire es expulsado y las columnas de líquido que estaban separadas por la interfase gas se unen nuevamente (Farinango y Villacís, 2014, p.32).

f) **Válvulas de alivio:** son aquellas que posibilitan el control de la presión máxima a la que se puede llegar en las etapas posteriores del transitorio. Hay diversos tipos de diseños, incluyendo aquellos que son regulables, pilotados, muelle o contrapesados. La válvula de alivio de resorte se abre cuando la presión de conducción supera entre un 10 y un 20% la presión de régimen; es segura y bastante asequible. El “clapeteo” y la posibilidad de que el cierre de la válvula genere un nuevo transitorio en la conducción son las dificultades que presentan este tipo de válvulas (Farinango y Villacís, 2014, p.33).

g) **Válvulas reguladoras de presión:** La válvula anticipadora de onda o válvula reguladora de presión (VPR) es una válvula motorizada que tiene un diseño de apertura/cierre ideal para producir la menor presión posible en el transitorio. Su propósito es aliviar el fluido a través de un by-pass (Farinango y Villacís, 2014, p.34).

Figura 3

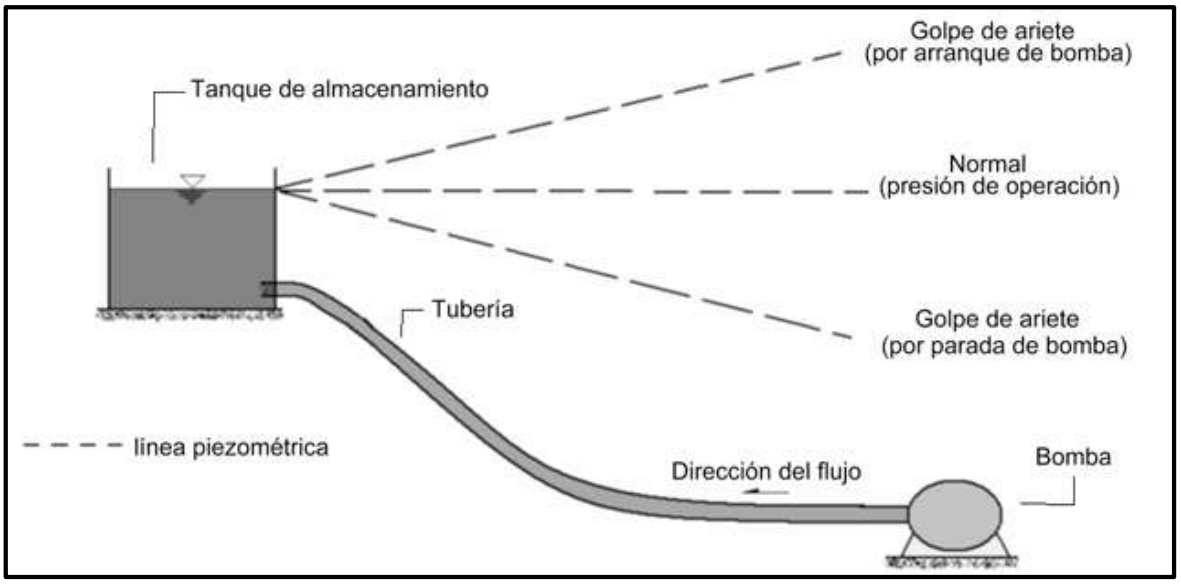
Golpe de ariete en una conducción por gravedad.



Nota. De “Figura 5”, por Ortiz Masek (2005, p. 56).

Figura 4

Golpe de ariete en una conducción por bombeo.



Nota. De “Figura 6 y Figura 6”, por Ortiz Masek (2005, p. 56).

2.2.3 Chimenea de equilibrio

Montes Pastrán y Sabogal Urcuqui (2019) sostienen que, la chimenea de equilibrio también denominado “almenara” es un dispositivo de control que ayuda a amortiguar el efecto producido por el golpe de ariete, consiste en un conducto vertical abierto que permite a las ondas de propagación viajar a través de este conducto y desaparecer las sobrepresiones dentro de la tubería.

Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014) afirman que, las chimeneas de equilibrio son túneles verticales abiertos situados cerca de la causa que genera el golpe de ariete, convirtiendo la “pulsación de alta intensidad y frecuencia” del golpe de ariete en una “pulsación de baja intensidad y frecuencia”. Se usa principalmente en centrales hidráulicas “para proteger los túneles de hormigón anteriores a las tuberías forzadas”.

Una de las teorías más antiguas lo sostiene Martínez Alzamora (1995), donde se resume en la práctica el papel fundamental que cumple la chimenea de equilibrio en la estabilidad de sistemas hidráulicos, esto es una reducción de la amplitud de las fluctuaciones de presión en la tubería forzada, “protege a la galería de presión de las sobrepresiones producidas por el golpe de ariete”, la chimenea constituye una reserva de agua próxima que permite acelerar o decelerar el agua de la tubería más lentamente de lo que la turbina a veces requiere, reduciendo la amplitud de las oscilaciones de presión.

Ventajas y desventajas

Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014) sostienen que este dispositivo de control brinda más ventajas que desventajas.

Entre sus ventajas, presenta las siguientes:

- Funcionamiento simple, no requiere mantenimiento.
- No requiere dispositivo adicional para reponer el agua aportado al transitorio.
- Precaver la altura suficiente para que la chimenea no rebose en el arranque.

- El transitorio no se transmite aguas abajo (Farinango y Villacís, 2014).

Desventajas:

- Limitaciones en el área de la chimenea: la altura de esta tiene que ser mayor que la piezométrica para el caudal máximo y menor para el caso de caudal nulo, con el fin de prevenir su vaciamiento durante los períodos en que la instalación esté detenida.
- La presencia de entradas fuertes del flujo por encima de la chimenea, incluso más altas que las que se darían en ausencia de esta (Farinango y Villacís, 2014, p. 37).

Tipos de chimenea de equilibrio

Farinango y Villacís (2014) sostienen que las chimeneas pueden tener varias configuraciones, algunas de estas dependen principalmente de las características del suelo y limitaciones del estudio topográfico del terreno, se debe considerar especialmente el desnivel del lugar donde vayan a ser construidas o excavadas las chimeneas, conjuntamente con la evaluación estructural según el material y las necesidades propias de cada diseño en particular que requiera cada proyecto hidráulico.

En la práctica, estas configuraciones pueden ser clasificadas, según su forma, en chimenea simples, de orificio, cilíndricas, secciones especiales y diámetros variables, diferenciales, neumáticas o de cámaras de aire para amortiguar las oscilaciones.

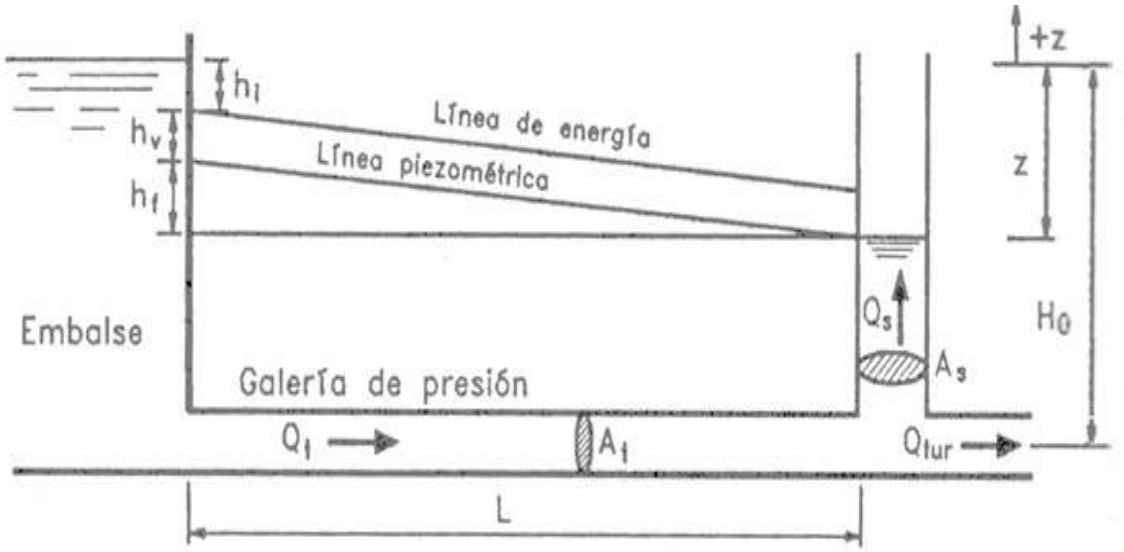
2.2.3.1 Chimenea de equilibrio simple

Estos tipos de chimeneas tienen un único conducto vertical de diámetro constante que permite que el agua suba hasta la altura que corresponde a su presión, lo cual es apropiado con frecuencia para cargas bajas. Para mejorar su eficiencia, debe situarse en un nivel más alto que el cuarto de máquinas y lo más cerca posible de este cuarto para reducir la longitud del tubo de presión; si

no se cumple esto último, es necesario aumentar la altura de la chimenea. Debido a que este tipo de chimeneas necesitan un volumen grande, tienen dimensiones muy amplias, lo cual las hace costosas y poco usadas (Farinango y Villacís, 2014, p.41).

Figura 5

Tipo de chimenea de equilibrio vertical simple.



Nota. Tomado de la "Figura 13.3", por Martínez Alzamora (1995).

En la práctica experimental en laboratorios con equipos calibrados, algunos autores sostienen que la frecuencia de la oscilación en el nivel de agua en la chimenea no depende del caudal. Esta teoría se expone a continuación en las siguientes ecuaciones de energía (masas y velocidades) durante el golpe de ariete.

De la derivación de la ecuación diferencial se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$E_{potencial} = m \cdot g \cdot y = \frac{h \cdot D^2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot g}{4} \cdot \frac{h}{2}$$

$$E_{potencial} = \frac{D^2 \cdot \pi}{8} \cdot g \cdot h^2 \cdot \rho$$

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2)$$

$$E_{cinética} = \frac{1}{8} \cdot \left(d^2 \cdot \pi \cdot L \cdot \rho \cdot \left(\frac{D^2}{d^2} \cdot v_2 \right)^2 + D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot \rho \cdot v_2^2 \right)$$

$$E_{cinética} = \frac{\pi \cdot \rho}{8} \cdot \left(d^2 \cdot L \cdot \frac{D^4}{d^4} \cdot h^2 + D^2 \cdot H \cdot h^2 \right)$$

Como sabemos la suma de las energías debe ser cero, por tanto, se aplica la teoría:

$$\sum \frac{dE}{dt} = 0 = \frac{dE_{potencial}}{dt} + \frac{dE_{cinética}}{dt}$$

$$\frac{D^2 \cdot \pi \cdot \rho}{8} \cdot g \cdot 2 \cdot h \cdot h + \frac{D^2 \cdot \pi \cdot \rho}{8} \cdot \left(L \cdot \frac{D^2}{d^2} + H \right) \cdot 2 \cdot \dot{h} \cdot \ddot{h} = 0$$

$$\ddot{h} + \frac{g}{L \cdot \frac{D^2}{d^2} + H} \cdot h = 0$$

$$\overline{w}^2 = \frac{g}{L \cdot \frac{D^2}{d^2} + H}$$

$$\overline{w} = \sqrt{\frac{g}{L \cdot \frac{D^2}{d^2} + H}}$$

De este modo la frecuencia natural del periodo de la chimenea de equilibrio está dado por la siguiente fórmula:

$$f = \frac{\overline{w}}{2 \cdot \pi} = \frac{\sqrt{\frac{g}{L \cdot \frac{D^2}{d^2} + H}}}{2 \cdot \pi}$$

Donde “L” es la longitud de la sección de tubería del sistema hidráulico, “d” es el diámetro interior de la tubería, “D” es el diámetro interior de la chimenea de equilibrio, y “H” es la altura de la columna de agua en la chimenea de equilibrio.

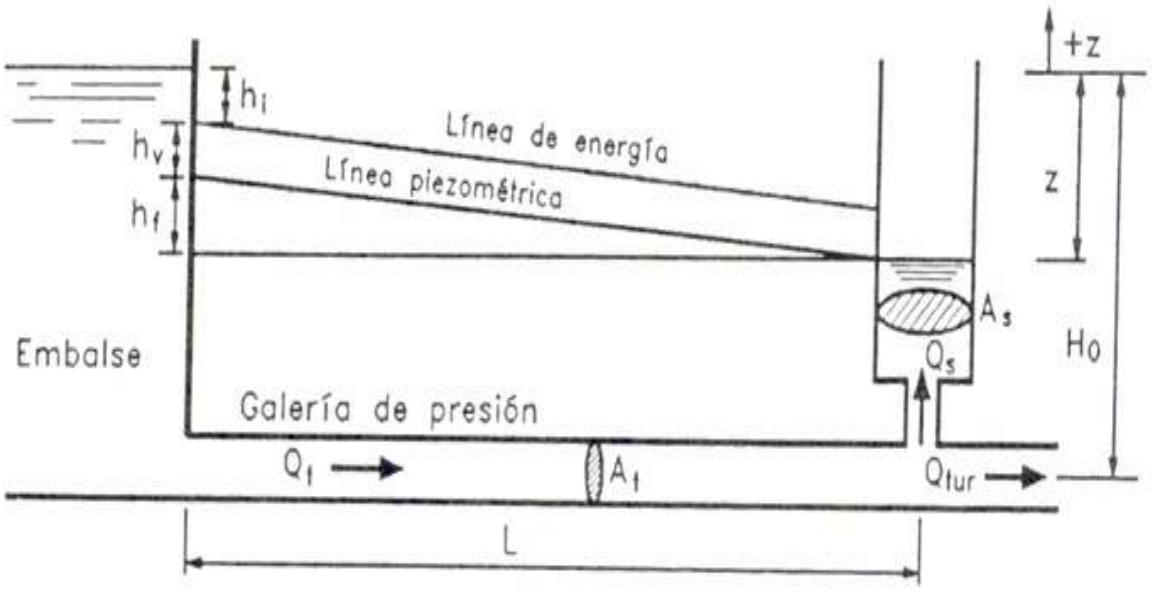
2.2.3.2 Chimenea de equilibrio con orificio restringido

Estos modelos de chimenea se asemejan a la chimenea simple, con la diferencia de que en el cruce entre la chimenea y la tubería se les agrega un

orificio restringido o estrangulamiento. La abertura es más pequeña, lo que provoca una mayor pérdida de carga localizada, lo cual incrementa el efecto del amortiguador y disminuye la oscilación o la onda inicial. De esta manera, contribuye a equilibrar la sobrepresión que se produce después del golpe de ariete y a disminuir la inercia restante que una carga de agua en la chimenea tendrá que crear. Esto significa que no será necesario incrementar el área de la sección transversal tanto como sí lo sería en una chimenea simple (Farinango y Villacís, 2014, p.42).

Figura 6

Tipo de chimenea de equilibrio con orificio restringido.



Nota. Tomado de la “Figura 13.4”, por Martínez Alzamora (1995).

2.2.3.3 Chimenea de equilibrio amortiguada

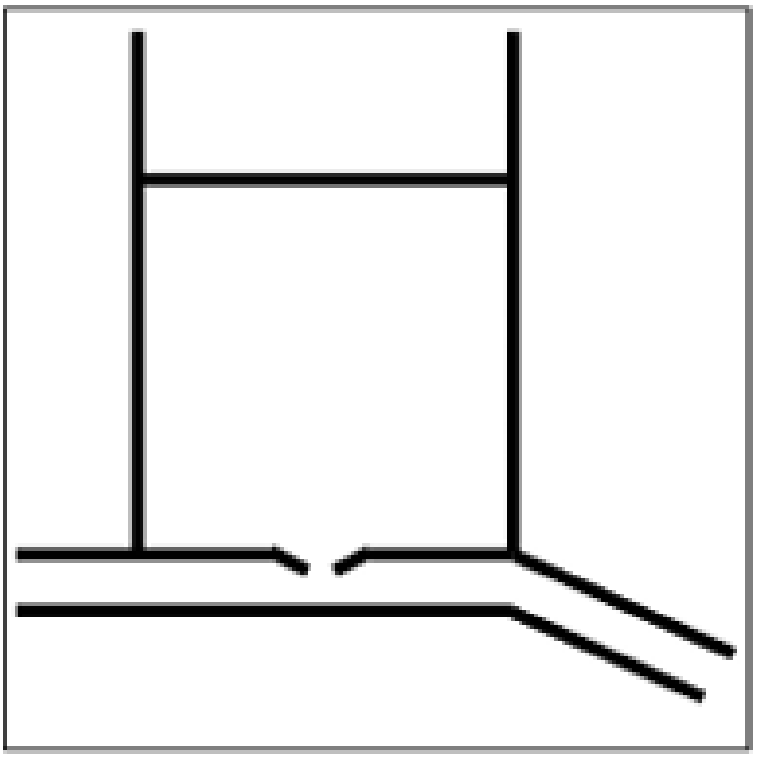
Estos tipos de chimenea constan de un tubo vertical de gran sección que está comunicado con la red a través de orificios que determinan una

pérdida de carga normalmente diferente para la entrada y para la salida (Sánchez, 2012, p. 291).

Este tipo de sistemas tiene la ventaja de tener una mayor estabilidad debido a la restricción del flujo impuesta por los orificios de comunicación con la red (Farinango y Villacís, 2014, p.43).

Figura 7

Tipo de chimenea de equilibrio amortiguado.



Nota. Tomado de la “Figura 18”, por Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014).

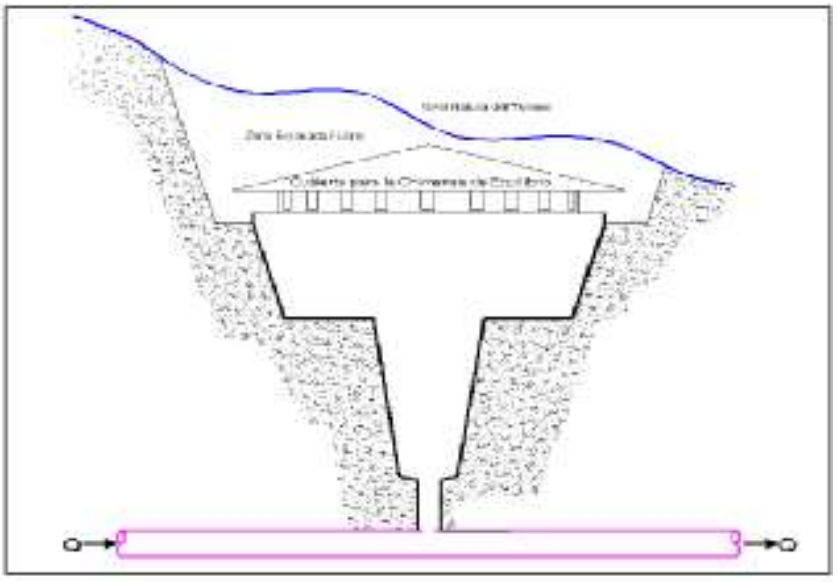
2.2.3.4 Chimenea de equilibrio de sección transversal variable

Cuando las chimeneas de equilibrio simples o con orificio restringido no consiguen prevenir una posible sobrecarga de agua en el momento en que se registra la oscilación máxima superior (a causa de las condiciones geológicas, topográficas o propias del terreno) o por una succión en la tubería al producirse

la mínima oscilación, se opta por este tipo de chimenea (Farinango y Villacís, 2014, p.44).

Figura 8

Tipo de chimenea de equilibrio de sección transversal variable.



Nota. Tomado de la “Figura 19”, por Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014).

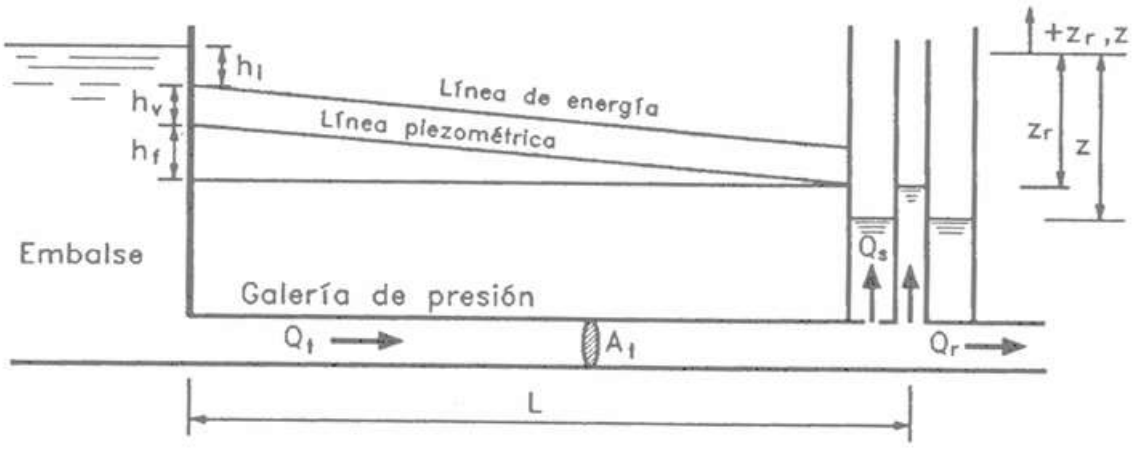
2.2.3.5 Chimenea de equilibrio de oscilación diferencial

Este tipo de chimeneas está compuesto por un pozo o chimenea principal que contiene una tubería central, también conocida como "riser", con orificios en la parte inferior y un diámetro que equivale al menos al 80% del diámetro del conducto.

Esta tubería central tiene la función de disminuir la velocidad del líquido que ingresa rápidamente en su interior, mientras el mismo fluye lentamente por la chimenea principal. El agujero de arriba del riser tiene como objetivo que, cuando el agua llegue a su nivel, se vierta el líquido en la chimenea principal y así conservar constante la carga en el túnel de baja presión (Farinango y Villacís, 2014, pp. 45-46).

Figura 9

Tipo de chimenea de equilibrio de oscilación diferencial.



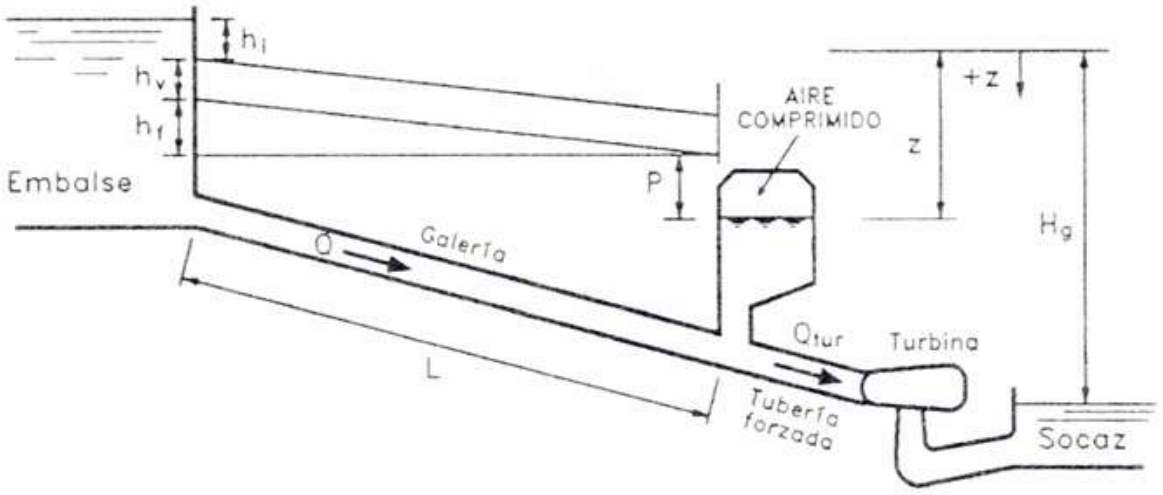
Nota. Tomado de la "Figura 13.5", por Martínez Alzamora (1995).

2.2.3.6 Chimenea de equilibrio cerrada o de aire o neumática

A diferencia de las demás chimeneas, que tienen un contacto libre con la atmósfera en su parte superior, estas chimeneas de equilibrio están cerradas y contienen solamente aire comprimido cuando el nivel de agua dentro de la chimenea aumenta y se descomprime cuando este disminuye. El tanque no necesita ser tan alto como el de un oscilador simple (Farinango y Villacís, 2014, p.47).

Figura 10

Tipo de chimenea de equilibrio de aire o neumática.



Nota. Tomado de la "Figura 13.6", por Martínez Alzamora (1995).

La ecuación matemática que corresponde a este tipo de chimenea es la que viene:

$$\frac{dQ_t}{dt} = \frac{g \cdot A_t}{L}(-p + z - c \cdot Q_t \cdot |Q_t|)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{A_s}(Q_{tur} - Q_t) = \frac{1}{A_s} \cdot \frac{d\forall}{dt}$$

$$(p + p_a)\forall^n = (po + p_a)\forall_o^n$$

Donde "p" es la presión manométrica del aire encerrado, en m.c.a., "po" su valor de régimen y "pa" la presión atmosférica. "∀" es el volumen de aire encerrado y "∀o" su valor de régimen. Finalmente, "n" es el exponente politrópico de la evolución del aire.

Aplicaciones de la chimenea de equilibrio

Farinango Pabón y Villacís Padilla (2014) afirman que, este dispositivo responde a variaciones en la demanda de energía, durante el arranque y la parada, por tal motivo debe disponer de un volumen para el arranque y un colchón de aire a presión atmosférica para amortiguar el golpe de ariete. Constructivamente, se ubica al final de pequeñas centrales hidroeléctricas en derivación con conducciones por túneles o como amortiguador del golpe de ariete en tuberías a cielo abierto.

2.2.4 Banco de ensayos HM 156 Golpes de Ariete y Chimenea de Equilibrio

El banco de ensayos HM 156 Golpes de Ariete y Chimenea de Equilibrio de la marca G.U.N.T. ha sido diseñado para demostrar golpes de ariete y el modo de funcionamiento de una chimenea de equilibrio. Este equipo cuenta con un sistema hidráulico compuesto por secciones de tuberías en el cual se pueden generar golpes de ariete, además se puede demostrar el efecto de una chimenea de equilibrio.

Las características técnicas del equipo son las siguientes:

Datos técnicos del equipo:

Largo x Ancho x Alto = 6800 mm x 760 mm x 2100 mm

Peso = aproximadamente 174 kg

Tensión = 230 V

Frecuencia = 50 / 60 Hz

Fases = 1

Consumo nominal (potencia) 0.2 kW

Alimentación de agua fría: A través del módulo básico HM 150

Capacidad del depósito = 50 L

Altura del rebosadero = 732 mm

Datos técnicos del sistema hidráulico:

Material = cobre

Diámetro interior d = 26 mm

Grosor de la pared “s” = 1 mm

Distancia entre sensores de presión P1 y P2 = 3 m

Distancia del depósito a la chimenea de equilibrio = 5.885 m

Datos técnicos de la chimenea de equilibrio:

Tipo de chimenea = vertical

Altura = 975 mm

Diámetro interior D = 40 mm

Tolerancia de medición del sensor de presión P1 y P2 = 0 a 10 bar

Tolerancia de medición del sensor de presión P3 = 0.03 bar

La instalación y montaje del Banco de Ensayos consta del montaje del HM 156 y el HM 150, en el cual se tiene ocho secciones de tubos de cobre, con diámetro de 26 mm, con grosor de 1 mm, soporte de tuberías, dos mangueras de alimentación, válvulas de estrangulación, una superficie elevada con depósito, un bastidor con tuberías, chimenea de equilibrio, sensores de presión y válvulas, una unidad de control y un software computacional de instalación sencilla y rápida “HM 156 WATER HAMMERS AND SURGE CHAMBER”.

2.2.3.1 Ensayo 1: golpes de ariete

El objetivo de este ensayo es demostrar el efecto del golpe de ariete en sistemas hidráulicos. Para ello, en la sección de tubo de ensayo "golpes de ariete" se cierra la válvula electromagnética V1 y se produce un golpe de ariete. Los sensores de presión P1 y P2 en la sección de tubo de ensayo registran las oscilaciones de presión producidas.

Preparación del ensayo:

1. Ponga el módulo básico HM150 y el banco de ensayos HM156 en funcionamiento (véase el Capítulo3.4, Página 17 del Manual).

2. En el módulo básico HM150:

- Encienda el interruptor principal.
- Encienda la bomba.

3.En el banco de ensayos HM156:

- Encienda el interruptor de alimentación.

4.Cierre completamente la válvula de estrangulación V4. La sección de tubo de ensayo "chimenea de equilibrio" está bloqueada.

5.Abra completamente la válvula de estrangulación V2. La sección de tubo de ensayo "golpes de ariete" está abierta.

6.Ajuste el caudal deseado en la válvula de estrangulación del módulo básico HM-150 y en la válvula de estrangulación V2 para que se establezca un nivel de agua constante en la chimenea de equilibrio.

Realización del ensayo:

Método A – Realización con ordenador:

1.Seleccione el ensayo "golpes de ariete" en el software.

2.Pinche en el botón "Inicio".

La válvula electromagnética V1 se cierra y provoca un golpe de ariete. Al mismo tiempo comienza la medición de las presiones en los sensores de presión P1 y P2. La medición finaliza tras 0,03 s.

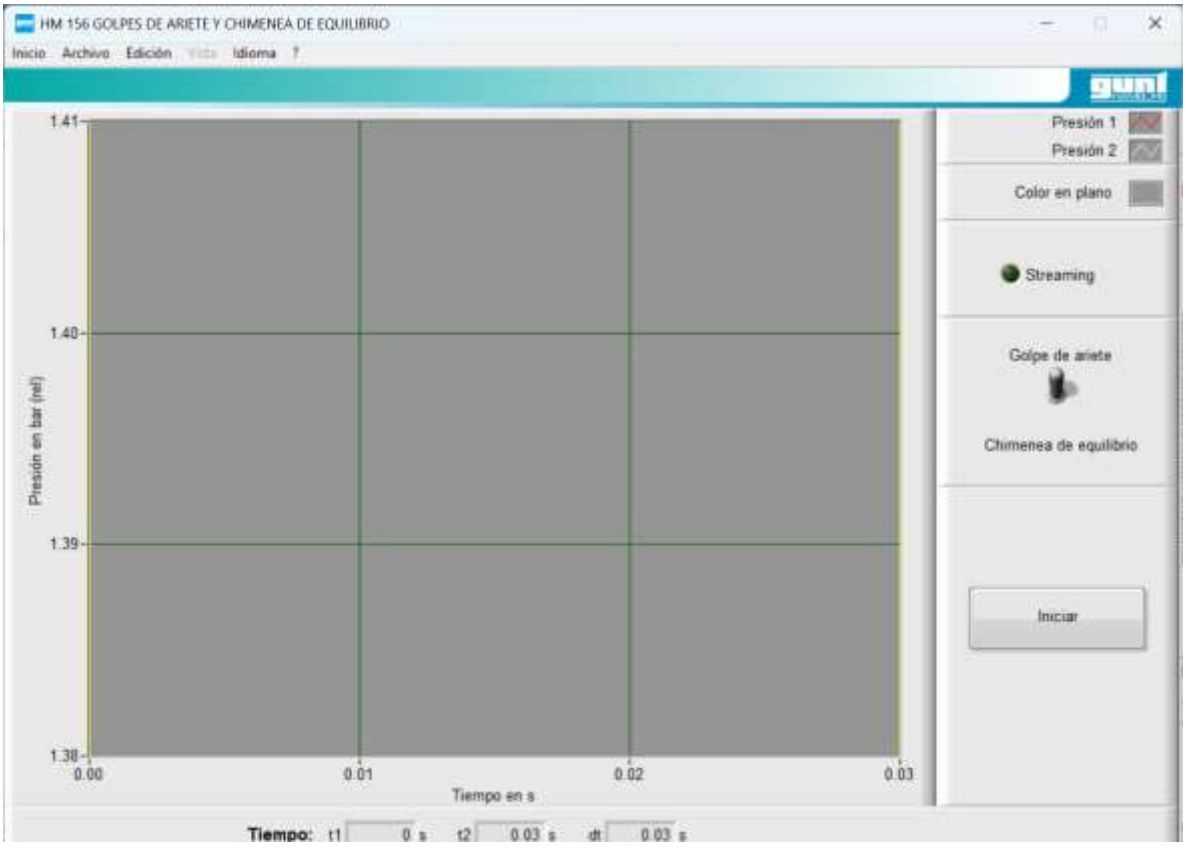
Si no fluyera agua en la válvula de estrangulación V2, aunque esté abierta: vuelva a pinchar en el botón "Inicio".

3.En el software se muestran las presiones medidas en los sensores de presión P1 y P2 en función del tiempo (véase la Fig. 5.6).

Ajuste los dos indicadores a los valores máximos o a puntos con la misma inclinación de las curvas. La duración del golpe de ariete entre los sensores de presión P1 y P2 se muestra en la pantalla.

Figura 11

Interfaz del software para ensayo de golpe de ariete.



Nota. Software HM 156 WATER HAMMER de G.U.N.T.

Método B – Realización sin ordenador:

• Presione el pulsador "Valve" en la unidad de control. Cuanto más tiempo permanezca presionado, más tiempo permanece cerrada la válvula electromagnética V1. Se recomienda presionar el pulsador durante aprox. 3s.

2.2.3.2 Ensayo 2: chimenea de equilibrio

En la sección de tubo de ensayo "chimenea de equilibrio" se cierra el grifo de bola V3 y se produce un golpe de ariete. El golpe de ariete se reduce a través de la chimenea de equilibrio. El sensor de presión P3 en la sección de tubo de ensayo registra las oscilaciones de presión producidas.

Preparación del ensayo:

1.Ponga el módulo básico HM150 y el banco de ensayos HM156 en funcionamiento (véase el Capítulo3.4, Página17 del Manual de Laboratorio).

2.En el módulo básico HM150:

•Encienda el interruptor principal, y encienda la bomba.

3.En el banco de ensayos HM156, encienda el interruptor de alimentación.

4.Cierre completamente la válvula de estrangulación V2. La sección de tubo de ensayo "golpes de ariete" está bloqueada.

5.Abra completamente la válvula de estrangulación V4.

Abra completamente el grifo de bola V3.

La sección de tubo de ensayo "chimenea de equilibrio" está abierta.

6.Ajuste el caudal deseado en la válvula de estrangulación del módulo básico HM-150 y en la válvula de estrangulación V4 para que se establezca un nivel de agua constante en la chimenea de equilibrio.

7.Desplace la escala en la chimenea de equilibrio para que la marca 0 quede sobre la superficie del agua.

8.Determine el caudal con un cronómetro.

Realización del ensayo:

Método A – Realización con ordenador:

1.Seleccione el ensayo "chimenea de equilibrio" en el software.

2. Pinche en "Inicio", cierre el grifo de bola V3 rápida y completamente.

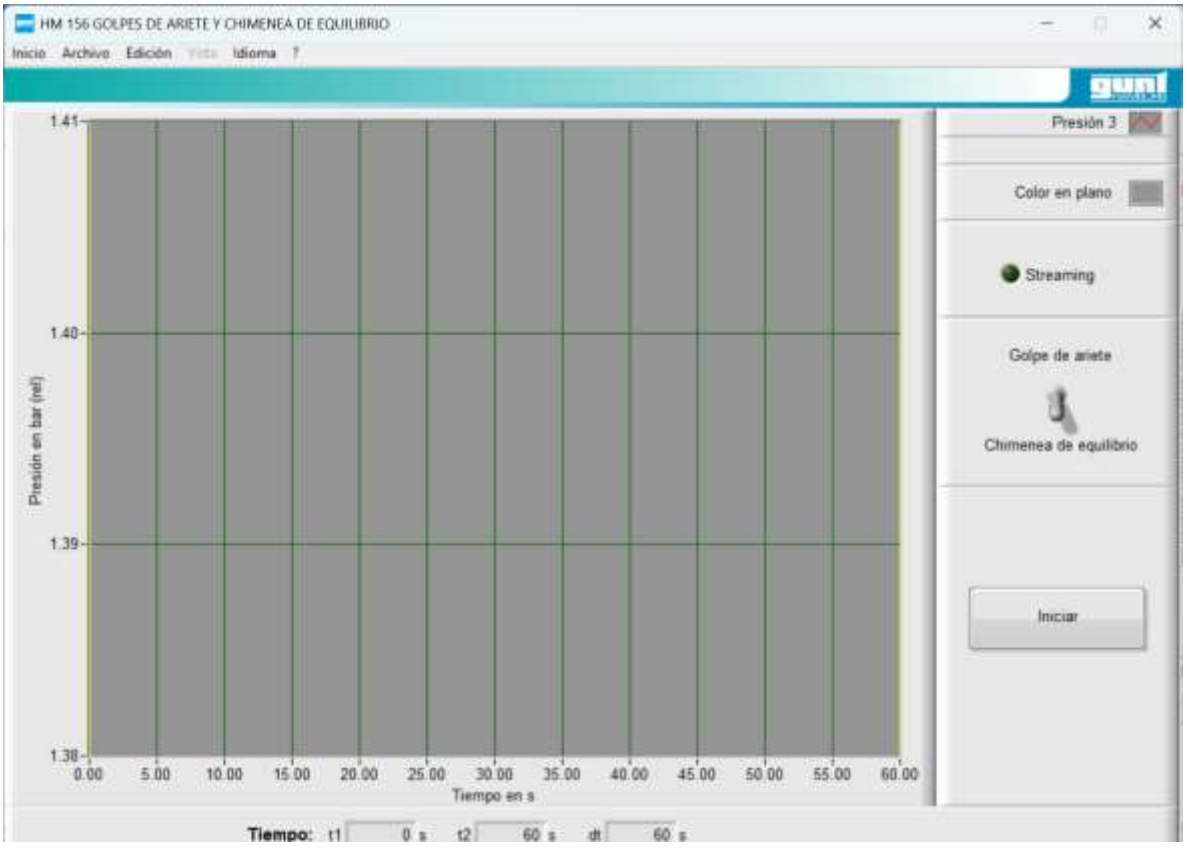
3. Apague justo después la bomba.

Al cerrar el grifo de bola V3 se provoca un golpe de ariete. La presión se mide en el sensor de presión P3. La medición finaliza tras 60s. La oscilación se puede observar en el movimiento pendular del agua en la chimenea de equilibrio.

3.Una vez terminada la medición, las presiones medidas en el sensor de presión P3 se representan en función del tiempo (véase la Fig. 5.11).

Figura 12

Interfaz del software para ensayo de chimenea de equilibrio.



Nota. Software HM 156 WATER HAMMER de G.U.N.T.

Método B – Realización sin ordenador:

•Cierre el grifo de bola V3 rápida y completamente.

•Apague justo después la bomba.

El ensayo se podrá controlar tanto desde la unidad de control como a través del software mediante una conexión USB para el ordenador, o de manera alternativa se puede conectar a la unidad de control con un osciloscopio proporcionado por el cliente.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Caudal**

  "Cantidad de flujo volumétrico que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo" (Rojas y Cajas, 2021).

- **Chimenea de equilibrio**
- “Conducto vertical abierto que permite a las ondas de propagación viajar a través de este conducto y desaparecer las sobrepresiones dentro de la tubería, dispositivo de control que ayuda a amortiguar el efecto producido por el golpe de ariete” (Montes Pastrán y Sabogal Urcuqui, 2019).
- **Comportamiento del agua**
- “Estudio de cómo el agua responde a cambios de flujo y presión, en el contexto del fenómeno de golpe de ariete” (Fonseca & Fonseca, 2019; Pineda Bardalez, 2024).
- **Estabilidad**
- “La amortiguación de las oscilaciones del agua dentro de la chimenea de equilibrio. El criterio básico para el dimensionamiento de una chimenea de equilibrio está relacionado con su estabilidad” (Calderón Vásquez y Enríquez Paredes, 2011).
- **Golpe de ariete**
- “Fenómeno ocasionado por el cambio brusco en el flujo de agua debido a inicios súbitos o interrupción del flujo en una tubería”, “que provocan fluctuaciones de presión” (Ortiz Masek, 2006, y G.U.N.T., 2021).
- **Índice de correlación**
- “En estadística, mide la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables continuas. Este coeficiente varía entre -1 y 1; donde -1 indica una correlación negativa perfecta, 1 indica una correlación positiva perfecta, 0 indica ausencia de correlación” (Fiallos, 2021; Pineda Bardalez, 2024).
- **Laboratorio universitario**
- “Espacio equipado con instalaciones para realizar experimentos y estudios científicos, destinado a investigaciones en este contexto, relacionadas con la ingeniería hidráulica” (Auqui, 2021; Pineda Bardalez, 2024).

- **Mediciones de nivel de chimenea**
- “Registros del cambio en los niveles de elevación del agua en la chimenea de equilibrio, cuyo estudio es esencial para determinar su relación con el fenómeno del golpe de ariete” (Auqui, 2021; Rodríguez et al., 2023; Pineda Bardalez, 2024).
- **Presión en puntos notables**
- Efecto de los cambios en el caudal o flujo de la tubería o en sistemas de agua con máquinas hidráulicas al encender o apagar (G.U.N.T., 2021).
- **Sistema de tuberías**
- “Red de conductos que transportan agua en un sistema hidráulico, susceptible de experimentar los efectos del golpe de ariete” (Auqui, 2021; Pineda Bardalez, 2024).
- **Software HM 156 WATER HAMMERS AND SURGE CHAMBER**
- “Programa computacional diseñado por los fabricantes G.U.N.T. para realizar experimentos en el banco de ensayos HM 156, en el software se muestran las presiones medidas en los sensores de presión” (G.U.N.T., 2021).
- **Tiempo**
- “Se refiere a la duración del fenómeno, que es el intervalo en el cual se produce la variación brusca de presión en un sistema hidráulico. Es crucial para diseñar sistemas de mitigación efectivos y minimizar los efectos perjudiciales” (Fonseca & Fonseca, 2019; Pineda Bardalez, 2024).
- **Válvula electromagnética**
- Accesorio de acción montado en la tubería del banco de ensayos HM 156 y puede abrir y cerrarse a través de la unidad de control o el software HM 156 (G.U.N.T., 2021).
- **Variaciones de presión**

"Ondas o variaciones inusuales en las fuerzas de presión dentro del sistema hidráulico, generadas posiblemente por el efecto del golpe de ariete" (Fonseca & Fonseca, 2019; G.U.N.T., 2021).

- **Volumen**
- "Cantidad de agua desplazada o movida de manera brusca durante el fenómeno de presión súbita en un sistema hidráulico. Es esencial para evaluar la magnitud del impacto y diseñar dispositivos de mitigación efectivos" (Auqui, 2021; Pineda Bardalez, 2024).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS

Los ensayos de laboratorio se desarrollaron en el Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali.

La universidad está situada en el km 6.2 de la carretera Federico Basadre (en adelante, C.F.B.), ubicada en la ciudad de Pucallpa, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

Figura 13

Ubicación de la zona de estudio.

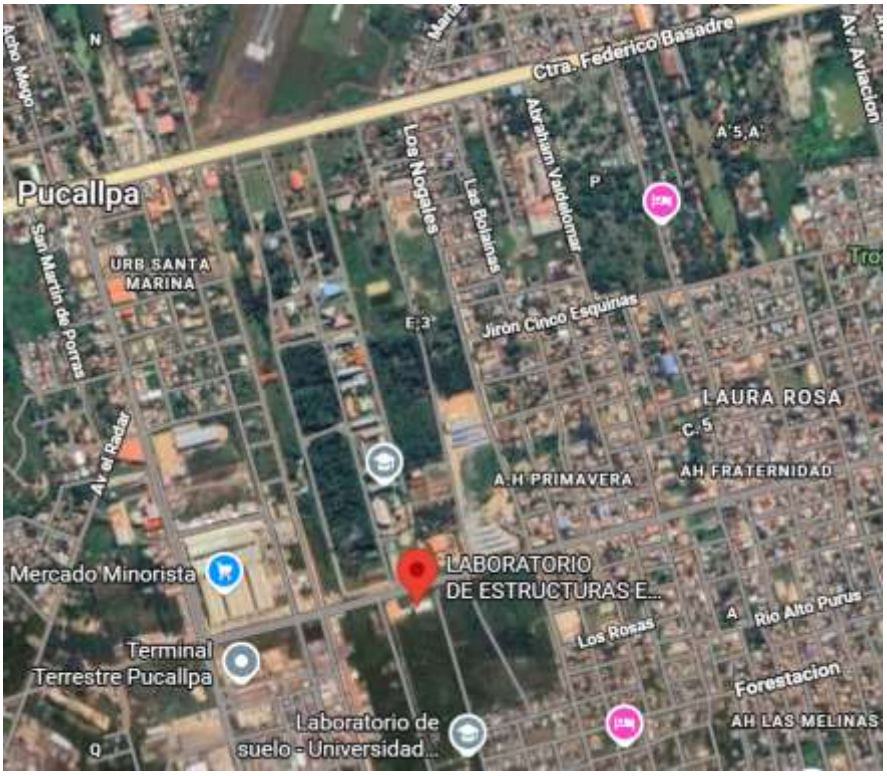


Nota. Fuente: Google Earth, 2025.

Para llegar al Laboratorio de Estructura e Hidráulica, entrando por el primer portal de la universidad ubicado en el km. 6.2 de la C.F.B., sigue de frente el tramo y dobla una curva a la izquierda al final del tramo, se dirige hacia el segundo portal de la universidad y cruza la pista (Av. Túpac Amaru) hasta el siguiente portal de la universidad. En este punto se puede visualizar el laboratorio. Después, ingresando unos 25 m., por un camino afirmado, dobla a la izquierda hasta llegar al Laboratorio de Estructura e Hidráulica.

Figura 14

Ubicación del Laboratorio de Estructura de Hidráulica.



Nota. Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 15

Vista exterior del tercer portal de la universidad.



Nota. Fuente: Google Earth, 2025.

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicada, con un enfoque cuantitativo, ya que se apoya de la estadística y medición numérica en unidades de medida internacionales como litro, metros cúbicos, centímetros y segundos.

Según Tamayo (2007), menciona que “la investigación aplicada es un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplica al estudio de un fenómeno”, ya que se sigue la ruta de la investigación científica para interpretar la teoría empírica y estudiar un fenómeno real.

Según Román Claros (2018), afirma que “las investigaciones aplicadas son la respuesta efectiva y fundamentada a un problema detectado, analizado y descrito” (p.60), ya que se llevó a la práctica la teoría empírica y se obtuvieron resultados claros y efectivos.

En la tesis se manipulan deliberadamente las variables causales (nivel de chimenea, caudal y variación de presión) bajo condiciones controladas para observar su efecto en la estabilidad de la chimenea y las variables de golpe de ariete.

3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo-explicativo, ya que la tesis busca analizar un fenómeno físico real (golpe de ariete) y evaluar el comportamiento de la chimenea de equilibrio dentro de un sistema hidráulico en el laboratorio. La tesis realiza mediciones, experimentos y comparaciones, por tanto, es de carácter explicativo lo que sucede en relación al nivel de chimenea, caudal y variaciones de presión en las secciones de ensayo del sistema hidráulico del laboratorio.

Para Román Claros (2018), este tipo de estudios busca establecer relaciones entre la ocurrencia del golpe de ariete (y sus factores) y la respuesta de la estabilidad de chimenea de equilibrio.

Por otro lado, “los estudios correlacionales, determina la influencia de una o varias variables sobre la otra” (Román Claros, 2018, p.112).

3.1.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es pre experimental de laboratorio, aplicada en las secciones de tuberías del sistema hidráulico, HM 156 Golpes de Ariete y Chimenea de Equilibrio de la marca G.U.N.T., en el Laboratorio de Estructura e Hidráulica ubicado en la Universidad Nacional de Ucayali, la investigación estuvo compuesta por 15 unidades experimentales, las cuales fueron sometidas al efecto de golpe de ariete.

Se trabajó con el análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias entre los cinco grupos o tratamientos para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

Además, para determinar las pruebas de hipótesis que requieran comparación de promedios se utilizó la prueba T de Student con un nivel de significancia de 0.05. Esta prueba es una herramienta estadística que permite comparar medias de cada grupo y determinar si existen diferencias significativas.

Para determinar el coeficiente de correlación se utilizó la prueba de correlación o de Pearson para medir el grado de relación entre dos variables.

La investigación fue de corte transversal, porque se analizó el estado de las variables en un solo punto en el tiempo.

a) Esquema de la investigación

M
- T1 → R1 – R2 – R3
- T2 → R1 – R2 – R3
- T3 → R1 – R2 – R3
- T4 → R1 – R2 – R3
- T5 → R1 – R2 – R3

Donde:

M: Muestra del estudio.

T: Tratamientos (nivel de chimenea de 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm y 50 cm).

R: Repetición del efecto del tratamiento.

b) Materiales, equipos y herramientas

- **Módulo básico HM 150**, de la marca G.U.N.T., este equipo es básico para asegurar la alimentación de agua fría en sistemas hidráulicos cerrados donde se puede instalar tuberías, bombas y depósitos de agua. El agua transportada es dirigida a un depósito por una tubería de entrada en el cual se instala una probeta graduada con un indicador de nivel de control de agua. En el módulo también se instala una probeta graduada para medir el caudal mediante mediciones de volumen y tiempo.
- **Banco de ensayos HM 156 Golpes de Ariete y Chimenea de Equilibrio**, de la marca G.U.N.T., este equipo ha sido demostrado para demostrar fenómenos de golpes de ariete y la amortiguación de este fenómeno en una chimenea de equilibrio. Permite realizar ensayos de manera independiente, mediante la instalación de sus accesorios y complementos se puede obtener la recolección de datos en formato digital a través del software HM156 WATER HAMMER AND SURGE CHAMBER, o alternativamente en la unidad de control mediante la conexión de un osciloscopio o registrador de línea continua.
- **Válvulas electromagnéticas,** estos accesorios están montados a la sección de ensayo de golpes de ariete y chimenea de equilibrio, y puede cerrarse a través de la unidad de control o del software para reproducir el efecto del golpe de ariete.
- **Sensores de presión,** estos complementos están instalados a la sección de ensayo de golpes de ariete con una distancia de 3 metros entre sí, los cuales

fueron necesarios para medir la presión de las oscilaciones en el interior de las secciones de tuberías del sistema hidráulico del laboratorio.

- **Válvulas de estrangulación de bola,** estos accesorios están instalados en el final de cada sección de ensayo para bloquear la sección que no sea necesaria.
- **Cronómetro**, esta herramienta es básica para medir el tiempo durante los ensayos experimentales en laboratorio. Su unidad de medida es el segundo.
- **Cámara fotográfica digital**, esta herramienta es básica para capturar fotografías de los materiales, equipos, procedimiento y realización de los ensayos experimentales en laboratorio. Alternativamente, se optó por utilizar la cámara de un celular de alta gama, la cual cumple la misma función de capturar fotografías.
- **Ordenador portátil**, para la recolección de datos es necesario un equipo que cumpla los requisitos para la instalación del software HM 156, ya que permite una mayor precisión en la recolección de datos. Las instrucciones para la instalación del software se encuentran en el manual de laboratorio.

ESPECIFICACIONES DEL SOFTWARE

Entorno del programa:

LabVIEW Runtime

Requisitos del sistema:

PC con procesador Pentium IV, 1GHz

Mínimo 1024 MB de RAM

Mínimo 1 GB de memoria libre en el disco duro

1 unidad de CD-ROM (en caso de portátiles se recomienda usar un lector de CD)

1 conexión USB

Resolución mínima de la tarjeta gráfica 1024 x 768 píxeles, True Color Windows XP / Windows Vista / Windows 7

c) Fuente de datos

Las fuentes de datos de nivel primario se obtuvieron directamente del procesamiento de resultados de los ensayos de laboratorio.

d) Técnicas de recolección de datos

La técnica que se utilizó fue la observación directa.

El instrumento que se utilizó fue la guía de observación. La guía de observación fue diseñada para recolectar los datos de cada ensayo de laboratorio.

Se procesaron los resultados para elaborar las tablas y gráficos del estudio en base a la medición de las variables y los objetivos.

e) Instrumento de recolección de datos

Guía de observación N°01.

Descripción: Ensayos de Golpes de ariete y Chimenea de Equilibrio.

Tabla 2

Formato de recolección de datos del estudio.

N°	Tratamiento	Altura en (cm)	Caudal en (L/s)	Presión P1 en bar	Presión P2 en bar	Presión P3 en bar
1	T1 R1					
2	T1 R2					
3	T1 R3					
4	T2 R1					
5	T2 R2					
6	T2 R3					
7	T3 R1					
8	T3 R2					
9	T3 R3					
10	T4 R1					
11	T4 R2					
12	T4 R3					
13	T5 R1					

14	T5 R2
15	T5 R3

Nota. Los cinco tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 se describe en relación a la altura de chimenea de 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm y 50 cm, y tres repeticiones por tratamiento. Elaboración propia.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

De acuerdo con el diseño de la investigación, el universo o población se refiere a la “totalidad de ocasiones” que se manifiesta el fenómeno golpe de ariete en el equipo HM156 durante su operación continúa por un periodo de 8 horas. Pineda Bardalez demuestra que, “este parámetro adquiere relevancia al evaluar el desempeño del equipo y su capacidad para resistir el fenómeno” (Pineda Bardalez, 2024, p. 31).

Por tanto, la población consiste en todas las posibles corridas experimentales del sistema (mediciones), es decir, la población está conformada por todas las observaciones o eventos de golpe de ariete que podrían generarse al variar los factores experimentales (caudales y alturas de chimenea, presión, caudal).

3.2.2 MUESTRA

En el contexto de la presente investigación, la muestra se define como la cantidad total de observaciones de golpe de ariete que puede originarse en un lapso de 6 horas de funcionamiento de acuerdo al diseño de la investigación.

Pineda Bardalez (2024) señala que “de esta manera se puede analizar la presencia y la dinámica del fenómeno de golpe de ariete en laboratorio, así como para evaluar la implementación de medidas preventivas o correctivas para asegurar su rendimiento”.

Para la selección de una muestra, “lo primero que hay que hacer es definir una unidad del objeto de estudio en la investigación” (Román Claros, 2018, p.130). Por eso la tesis determinó la muestra de manera aleatoria por el método no probabilística o por conveniencia, la cual estuvo conformada por 15 ensayos de laboratorio.

3.2.3 PROCEDIMIENTO

Se efectuó con cuidado la limpieza del ambiente y de los equipos y complementos necesarios para realizar los ensayos experimentales del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la universidad.

La metodología del laboratorio estuvo compuesta de tres pasos:

N°01 – Puesta en funcionamiento.

N°02 – Manejo y operación.

N°03 – Puesta fuera de funcionamiento.

Primero se intervino en el depósito de reserva del módulo básico HM 150 el cual tiene una capacidad de 180 L, verificando que no presente sedimentos o algas en el fondo. Se llenó el depósito hasta que el nivel de agua quede a 10 cm por debajo del borde del depósito. Se abrieron las válvulas de estrangulación del caudal y de compuerta y se conectaron los equipos a la red eléctrica.

Luego se ejecutó el ensayo 1 de golpes de ariete y el ensayo 2 de chimenea de equilibrio con el manejo y operación del laboratorista durante el encendido de la bomba y los interruptores. De acuerdo al diseño de la investigación para cada ensayo se reguló el caudal en el sistema hidráulico y las alturas del nivel de agua en el interior de la chimenea de equilibrio hasta obtener 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm y 50 cm, se realizaron tres repeticiones para cada ensayo, sumando un total de 15 ensayos.

Finalmente, se apagó la bomba y los interruptores del equipo de ensayo para finalizar la ejecución. Los resultados obtenidos del ensayo fueron recolectados en la guía de observación y procesados en una hoja de cálculo para analizar las variables de interés mediante la estadística descriptiva.

Para el análisis estadístico inferencial se utilizó el software GNU PSPP. Este es una aplicación de software libre para el análisis de datos muestreados, concebida como una alternativa gratuita al reconocido software estadístico IBM SPSS Statistics

diseñado para el análisis de datos en investigación científica, social, empresarial y de mercado. Cuenta con una interfaz gráfica de usuario y una interfaz de línea de comandos convencional. Su interfaz es similar a una hoja de cálculo de Excel, permite ingresar, visualizar y manipular los datos fácilmente. Es útil para realizar operaciones básicas de estadística, pruebas de confiabilidad, correlación de variables, recomendado para investigadores, analistas y estudiantes que no cuentan con disponibilidad de adquirir el costo de una licencia comercial de software estadístico.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de los ensayos experimentales

4.1.1 Resultados de la variable Análisis de golpe de ariete

Tabla 3

Resultados del ensayo N°01 de golpe de ariete.

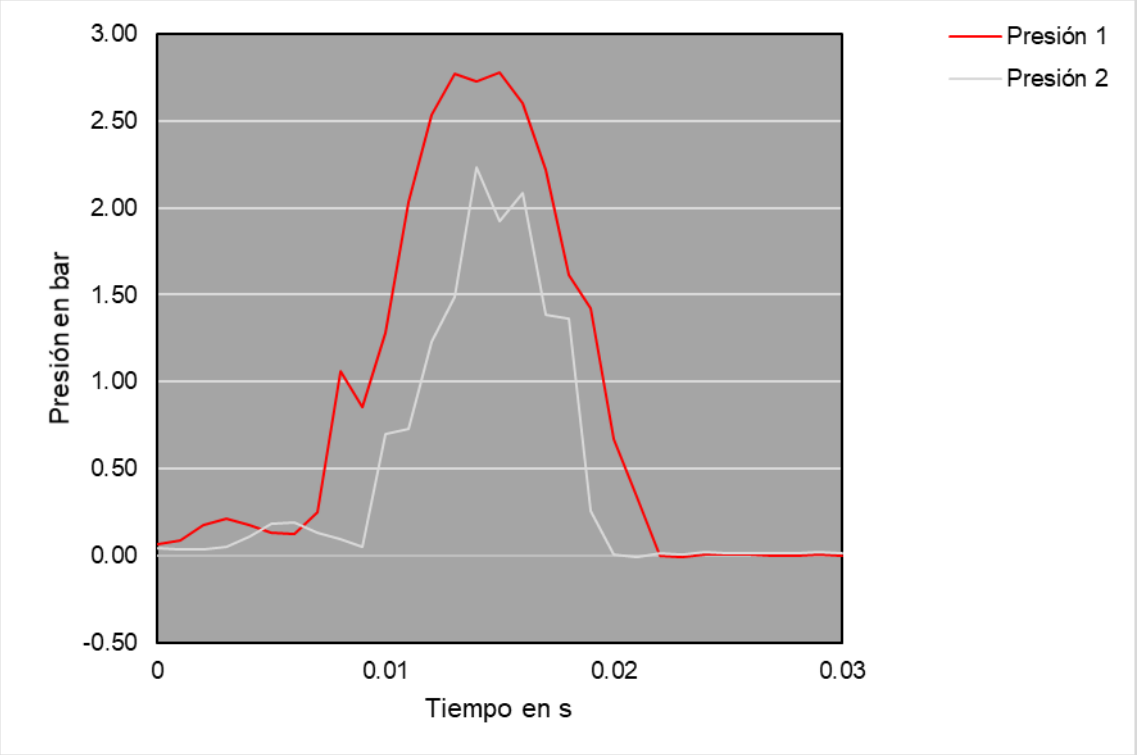
N°	Tiempo, en seg	Presión P1, en bar	Presión P2, en bar
1	0	0.06505	0.04218
2	0.001	0.08561	0.03619
3	0.002	0.17948	0.03758
4	0.003	0.21124	0.05146
5	0.004	0.17602	0.11185
6	0.005	0.13045	0.18713
7	0.006	0.12331	0.19358
8	0.007	0.25017	0.13639
9	0.008	1.05983	0.09435
10	0.009	0.85551	0.05287
11	0.01	1.28463	0.70160
12	0.011	2.03255	0.72678
13	0.012	2.53639	1.22832
14	0.013	2.76875	1.49171
15	0.014	2.72711	2.23302
16	0.015	2.77471	1.92682
17	0.016	2.59986	2.08748
18	0.017	2.21640	1.38377
19	0.018	1.61727	1.36022
20	0.019	1.42052	0.26079
21	0.02	0.67340	0.00684
22	0.021	0.33648	-0.00451
23	0.022	0.00408	0.01208
24	0.023	-0.00471	0.00530
25	0.024	0.00806	0.02054
26	0.025	0.00457	0.01298
27	0.026	0.00457	0.01434
28	0.027	0.00225	0.01188
29	0.028	0.00341	0.01521
30	0.029	0.00806	0.01995
31	0.03	0.00225	0.01188

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 3 se muestra los resultados obtenidos en el ensayo de golpes de ariete, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 16.

Figura 16

Gráfica del ensayo N°01 de golpe de ariete.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 0.03 segundos. Elaboración propia.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Velocidad del sonido en el agua	c =	1483 m/s
Módulo de comprensibilidad del fluido	Kf =	2.80E+09 Pa
Módulo elástico del tubo (cobre)	Ep =	120E+09 Pa
Diámetro interior del tubo	d =	26 mm
Grosor de la pared del tubo	s =	1 mm
Velocidad de propagación	cp =	1246 m/s
Duración teórica de la onda	t =	0.0024072 s
Duración experimental	te =	0.002332 s

Tabla 4

Resultados del ensayo N°02 de golpe de ariete.

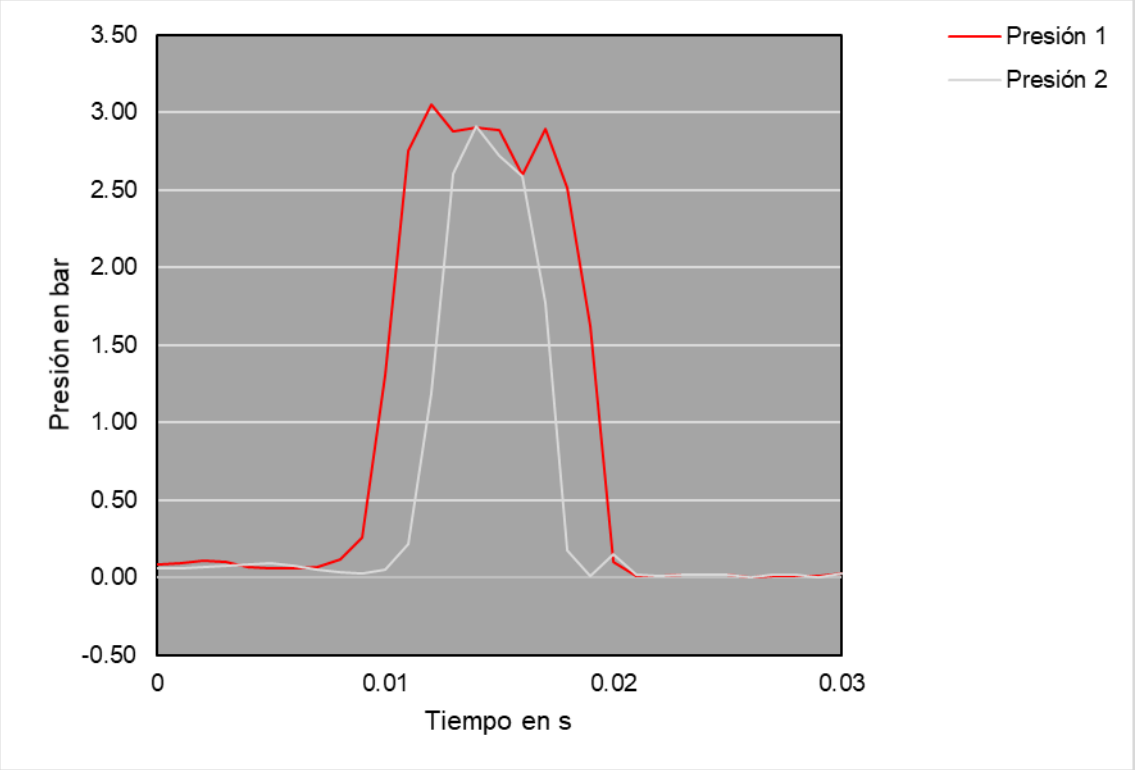
N°	Tiempo, en seg	Presión P1, en bar	Presión P2, en bar
1	0	0.07957	0.06162
2	0.001	0.09390	0.06011
3	0.002	0.11046	0.06312
4	0.003	0.09970	0.07146
5	0.004	0.06703	0.08605
6	0.005	0.06209	0.09467
7	0.006	0.06030	0.07332
8	0.007	0.06881	0.04810
9	0.008	0.11359	0.03665
10	0.009	0.25949	0.02667
11	0.01	1.30701	0.05337
12	0.011	2.75049	0.21453
13	0.012	3.05516	1.19174
14	0.013	2.88071	2.60882
15	0.014	2.90298	2.91252
16	0.015	2.88999	2.72139
17	0.016	2.59306	2.58796
18	0.017	2.89185	1.76963
19	0.018	2.51326	0.17565
20	0.019	1.61932	0.00908
21	0.02	0.10191	0.14540
22	0.021	0.00813	0.01489
23	0.022	0.00885	0.01222
24	0.023	0.01516	0.01940
25	0.024	0.01374	0.01958
26	0.025	0.01370	0.01958
27	0.026	-0.00208	0.00211
28	0.027	0.00908	0.01313
29	0.028	0.00678	0.01370
30	0.029	0.00909	0.00463
31	0.03	0.02211	0.02760

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 4 se muestra los resultados obtenidos en el ensayo de golpes de ariete, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 17.

Figura 17

Gráfica del ensayo N°02 de golpe de ariete.



Nota. El gráfico "Presión vs. Tiempo" proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 0.03 segundos. Elaboración propia.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Velocidad del sonido en el agua	c =	1483 m/s
Módulo de comprensibilidad del fluido	Kf =	2.80E+09 Pa
Módulo elástico del tubo (cobre)	Ep =	120E+09 Pa
Diámetro interior del tubo	d =	26 mm
Grosor de la pared del tubo	s =	1 mm
Velocidad de propagación	cp =	1246 m/s
Duración teórica de la onda	t =	0.0024072 s
Duración experimental	te =	0.002315 s

Tabla 5

Resultados del ensayo N°03 de golpe de ariete.

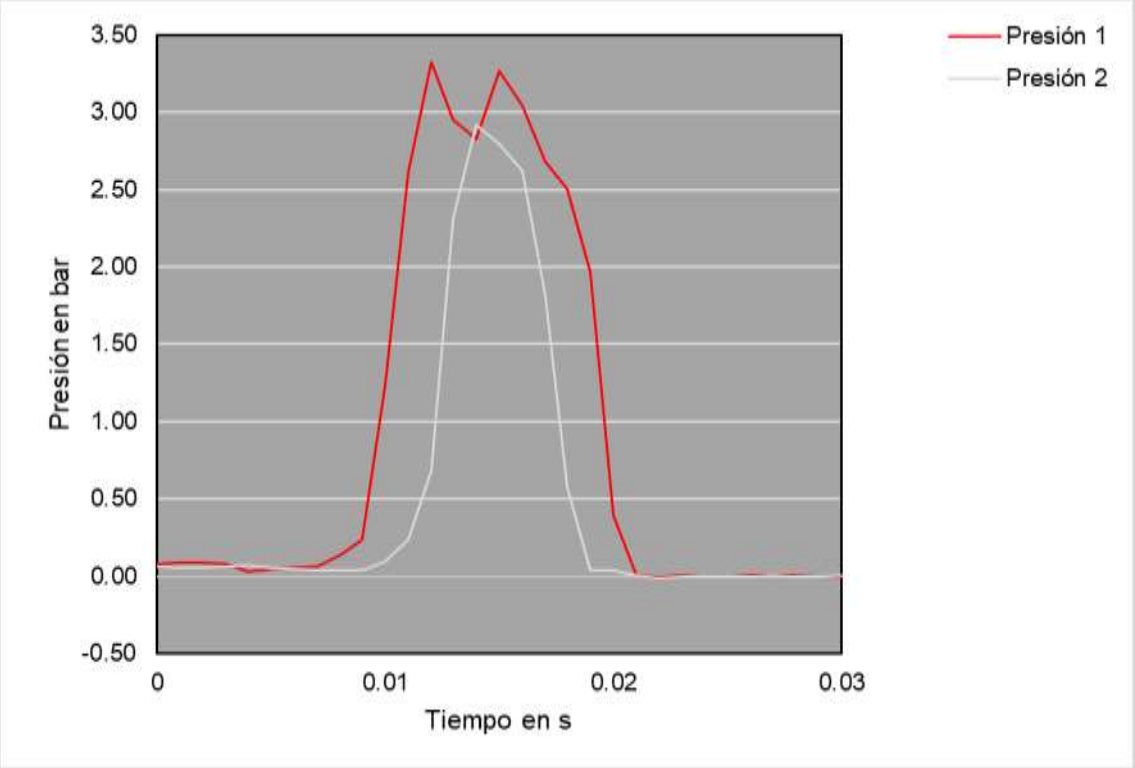
N°	Tiempo, en seg	Presión P1, en bar	Presión P2, en bar
1	0	0.07910	0.06742
2	0.001	0.08748	0.05882
3	0.002	0.09274	0.05875
4	0.003	0.08109	0.06769
5	0.004	0.03568	0.07632
6	0.005	0.05112	0.05809
7	0.006	0.05952	0.05084
8	0.007	0.06644	0.03879
9	0.008	0.13604	0.03707
10	0.009	0.24008	0.04261
11	0.01	1.23841	0.09828
12	0.011	2.61316	0.23643
13	0.012	3.32422	0.68388
14	0.013	2.95252	2.31637
15	0.014	2.82416	2.91749
16	0.015	3.26153	2.79705
17	0.016	3.03911	2.62169
18	0.017	2.67431	1.81302
19	0.018	2.50574	0.57770
20	0.019	1.96905	0.04274
21	0.02	0.39645	0.03989
22	0.021	0.01111	0.00484
23	0.022	-0.00251	-0.01166
24	0.023	0.00485	-0.00066
25	0.024	0.00182	0.00182
26	0.025	0.00122	0.00122
27	0.026	0.00880	0.00235
28	0.027	0.01023	0.01023
29	0.028	0.00856	0.00119
30	0.029	0.00288	0.00288
31	0.03	0.00114	0.00627

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos en el ensayo de golpes de ariete, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 18.

Figura 18

Gráfica del ensayo N°03 de golpe de ariete.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 0.03 segundos. Elaboración propia.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Velocidad del sonido en el agua	c =	1483 m/s
Módulo de comprensibilidad del fluido	Kf =	2.80E+09 Pa
Módulo elástico del tubo (cobre)	Ep =	120E+09 Pa
Diámetro interior del tubo	d =	26 mm
Grosor de la pared del tubo	s =	1 mm
Velocidad de propagación	cp =	1246 m/s
Duración teórica de la onda	t =	0.0024072 s
Duración experimental	te =	0.002286 s

Tabla 6

Resultados del ensayo N°04 de golpe de ariete.

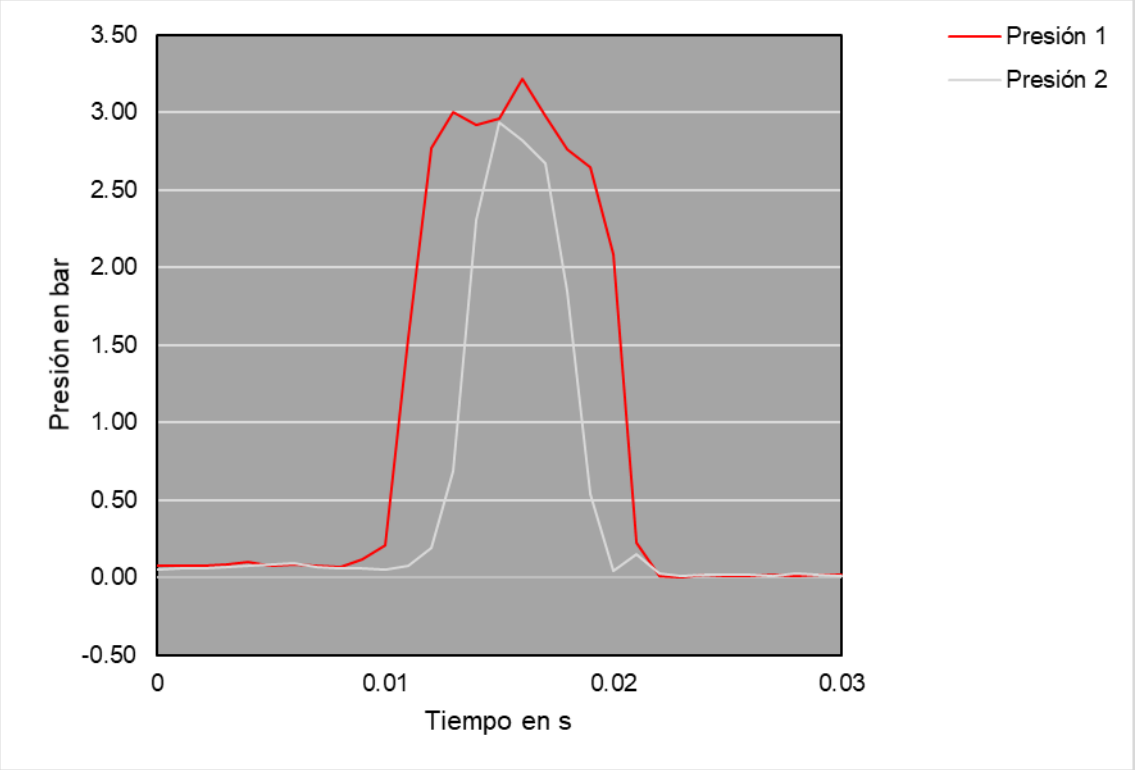
N°	Tiempo, en seg	Presión P1, en bar	Presión P2, en bar
1	0	0.07218	0.04721
2	0.001	0.07789	0.05866
3	0.002	0.07486	0.05755
4	0.003	0.08631	0.06541
5	0.004	0.09737	0.07343
6	0.005	0.07088	0.07893
7	0.006	0.07928	0.08990
8	0.007	0.07471	0.06697
9	0.008	0.06898	0.05619
10	0.009	0.11292	0.05977
11	0.01	0.20775	0.04651
12	0.011	1.54912	0.07697
13	0.012	2.76654	0.19149
14	0.013	3.00063	0.68828
15	0.014	2.91725	2.30948
16	0.015	2.95826	2.93557
17	0.016	3.21276	2.81825
18	0.017	2.97589	2.67021
19	0.018	2.76281	1.84392
20	0.019	2.64533	0.53660
21	0.02	2.07996	0.04357
22	0.021	0.22763	0.14680
23	0.022	0.00620	0.02316
24	0.023	-0.00131	0.00632
25	0.024	0.01661	0.01661
26	0.025	0.01123	0.02025
27	0.026	0.00687	0.01464
28	0.027	0.01521	0.00529
29	0.028	0.01163	0.02118
30	0.029	0.01350	0.02024
31	0.03	0.01710	0.01182

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 6 se muestra los resultados obtenidos en el ensayo de golpes de ariete, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 19.

Figura 19

Gráfica del ensayo N°04 de golpe de ariete.



Nota. El gráfico "Presión vs. Tiempo" proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 0.03 segundos. Elaboración propia.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Velocidad del sonido en el agua	c =	1483 m/s
Módulo de comprensibilidad del fluido	Kf =	2.80E+09 Pa
Módulo elástico del tubo (cobre)	Ep =	120E+09 Pa
Diámetro interior del tubo	d =	26 mm
Grosor de la pared del tubo	s =	1 mm
Velocidad de propagación	cp =	1246 m/s
Duración teórica de la onda	t =	0.0024072 s
Duración experimental	te =	0.002293 s

Tabla 7

Resultados del ensayo N°05 de golpe de ariete.

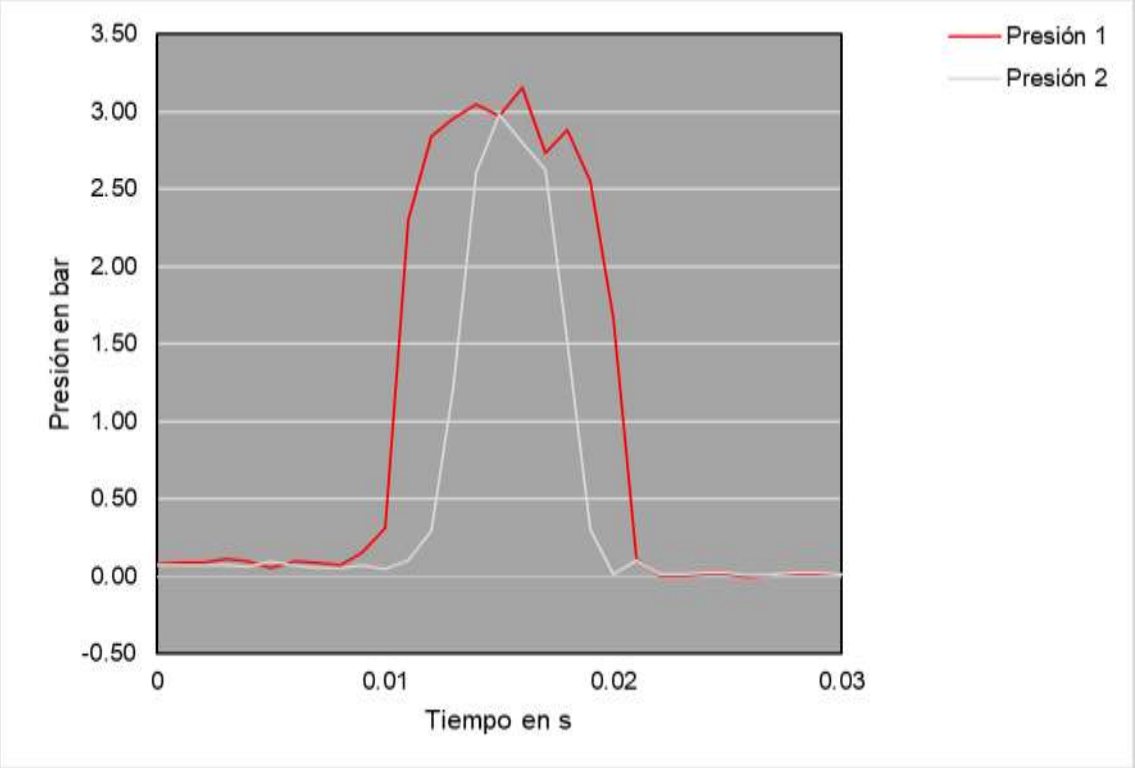
N°	Tiempo, en seg	Presión P1, en bar	Presión P2, en bar
1	0	0.08096	0.07032
2	0.001	0.08427	0.07448
3	0.002	0.08416	0.07288
4	0.003	0.10931	0.06842
5	0.004	0.09576	0.06142
6	0.005	0.05465	0.09271
7	0.006	0.09432	0.07380
8	0.007	0.08660	0.05092
9	0.008	0.06773	0.05817
10	0.009	0.15438	0.06941
11	0.01	0.31365	0.04952
12	0.011	2.30732	0.10670
13	0.012	2.83974	0.29376
14	0.013	2.95343	1.20918
15	0.014	3.04683	2.61160
16	0.015	2.97079	2.97923
17	0.016	3.15937	2.79801
18	0.017	2.73272	2.62638
19	0.018	2.88262	1.51768
20	0.019	2.55359	0.30630
21	0.02	1.66955	0.01623
22	0.021	0.11655	0.10419
23	0.022	0.00353	0.01027
24	0.023	0.00750	0.01233
25	0.024	0.01638	0.02354
26	0.025	0.01489	0.02107
27	0.026	-0.00045	0.00792
28	0.027	0.01588	0.00966
29	0.028	0.00993	0.01882
30	0.029	0.01440	0.02050
31	0.03	0.01737	0.01737

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de golpes de ariete, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 20.

Figura 20

Gráfica del ensayo N°05 de golpe de ariete.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 0.03 segundos. Elaboración propia.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Velocidad del sonido en el agua	c =	1483 m/s
Módulo de comprensibilidad del fluido	Kf =	2.80E+09 Pa
Módulo elástico del tubo (cobre)	Ep =	120E+09 Pa
Diámetro interior del tubo	d =	26 mm
Grosor de la pared del tubo	s =	1 mm
Velocidad de propagación	cp =	1246 m/s
Duración teórica de la onda	t =	0.0024072 s
Duración experimental	te =	0.002311 s

4.1.2 Resultados de la variable Estabilidad de chimenea de equilibrio

Tabla 8

Resultados del ensayo N°01 de chimenea de equilibrio.

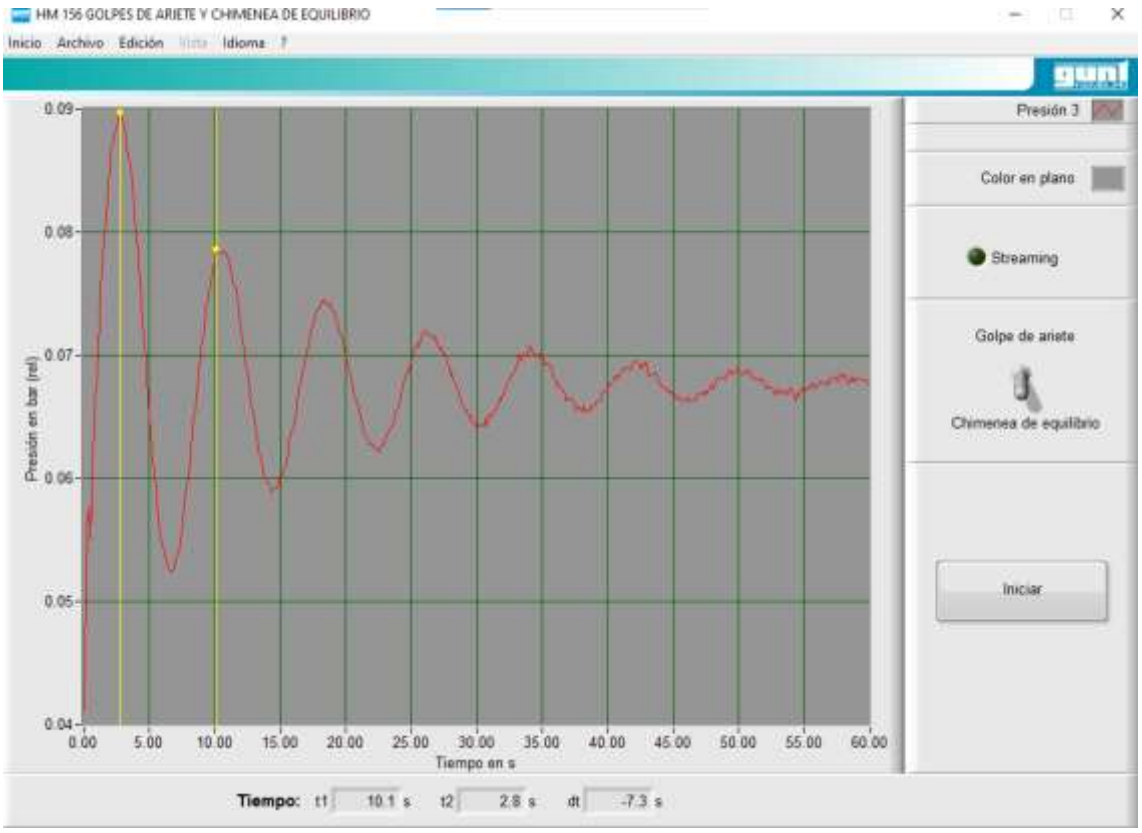
Tiempo, en seg	Presión P3, en bar	Tiempo, en seg	Presión P3, en bar
1	0.06776	31	0.06470
2	0.08451	32	0.06629
3	0.08955	33	0.06866
4	0.08004	34	0.07013
5	0.06584	35	0.06957
6	0.05502	36	0.06787
7	0.05292	37	0.06651
8	0.05960	38	0.06561
9	0.07001	39	0.06572
10	0.07766	40	0.06685
11	0.07805	41	0.06815
12	0.07302	42	0.06906
13	0.06544	43	0.06906
14	0.05967	44	0.06832
15	0.05955	45	0.06708
16	0.06385	46	0.06623
17	0.06951	47	0.06634
18	0.07364	48	0.06713
19	0.07392	49	0.06804
20	0.07008	50	0.06866
21	0.06600	51	0.06843
22	0.06255	52	0.06804
23	0.06278	53	0.06708
24	0.06527	54	0.06679
25	0.06923	55	0.06702
26	0.07149	56	0.06747
27	0.07149	57	0.06775
28	0.06923	58	0.06822
29	0.06583	59	0.06791
30	0.06419	60	0.06757

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de chimenea de equilibrio con un nivel de agua de 30 centímetros, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 21.

Figura 21

Gráfica del ensayo N°01 de chimenea de equilibrio.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 60 segundos. Obtenido del software GÜNT HM 156 GOLPES DE ARIETE Y CHIMENEA DE EQUILIBRIO.

EVALUACIÓN DE FRECUENCIA NATURAL DEL PERIODO

Nivel de chimenea de equilibrio	h = 30 cm
Periodo del diafragma	Texp = 7.3 s
Frecuencia natural del periodo	fexp = 0.137 s^{-1}
Frecuencia natural teórica	fcalc = 0.132 s^{-1}

INTERPRETACIÓN:

La frecuencia natural del ensayo se desvía de la frecuencia natural determinada teóricamente en un 3.7%. Teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación de la chimenea de equilibrio en relación al vidrio acrílico, se trata de un buen resultado.

Tabla 9

Resultados del ensayo N°02 de chimenea de equilibrio.

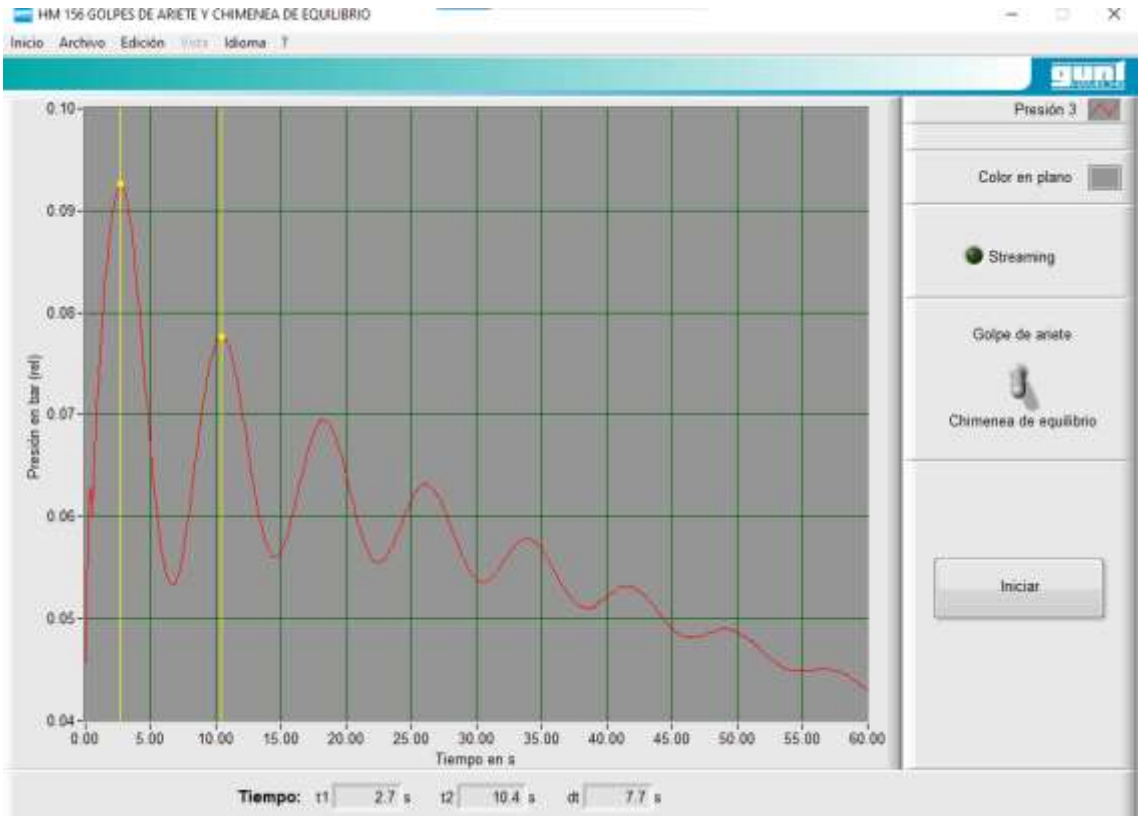
Tiempo, en seg	Presión P3, en bar	Tiempo, en seg	Presión P3, en bar
1	0.07379	31	0.05377
2	0.08941	32	0.05549
3	0.09139	33	0.05708
4	0.08073	34	0.05770
5	0.06631	35	0.05677
6	0.05530	36	0.05461
7	0.05353	37	0.05248
8	0.06075	38	0.05111
9	0.07089	39	0.05115
10	0.07656	40	0.05208
11	0.07656	41	0.05301
12	0.07001	42	0.05296
13	0.06196	43	0.05216
14	0.05651	44	0.05039
15	0.05638	45	0.04898
16	0.06085	46	0.04809
17	0.06634	47	0.04818
18	0.06930	48	0.04858
19	0.06815	49	0.04893
20	0.06399	50	0.04862
21	0.05864	51	0.04791
22	0.05554	52	0.04663
23	0.05576	53	0.04566
24	0.05842	54	0.04495
25	0.06152	55	0.04486
26	0.06302	56	0.04504
27	0.06196	57	0.04508
28	0.05859	58	0.04468
29	0.05572	59	0.04384
30	0.05386	60	0.04305

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de chimenea de equilibrio con un nivel de agua de 35 centímetros, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 22.

Figura 22

Gráfica del ensayo N°02 de chimenea de equilibrio.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 60 segundos. Obtenido del software GÜNT HM 156 GOLPES DE ARIETE Y CHIMENEA DE EQUILIBRIO.

EVALUACIÓN DE FRECUENCIA NATURAL DEL PERIODO

Nivel de chimenea de equilibrio	h = 35 cm
Periodo del diafragma	Texp = 7.7 s
Frecuencia natural del periodo	fexp = 0.129 s^{-1}
Frecuencia natural teórica	fcalc = 0.132 s^{-1}

INTERPRETACIÓN:

La frecuencia natural del ensayo se desvía de la frecuencia natural determinada teóricamente en un 2.3%. Teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación de la chimenea de equilibrio en relación al vidrio acrílico, se trata de un buen resultado.

Tabla 10

Resultados del ensayo N°03 de chimenea de equilibrio.

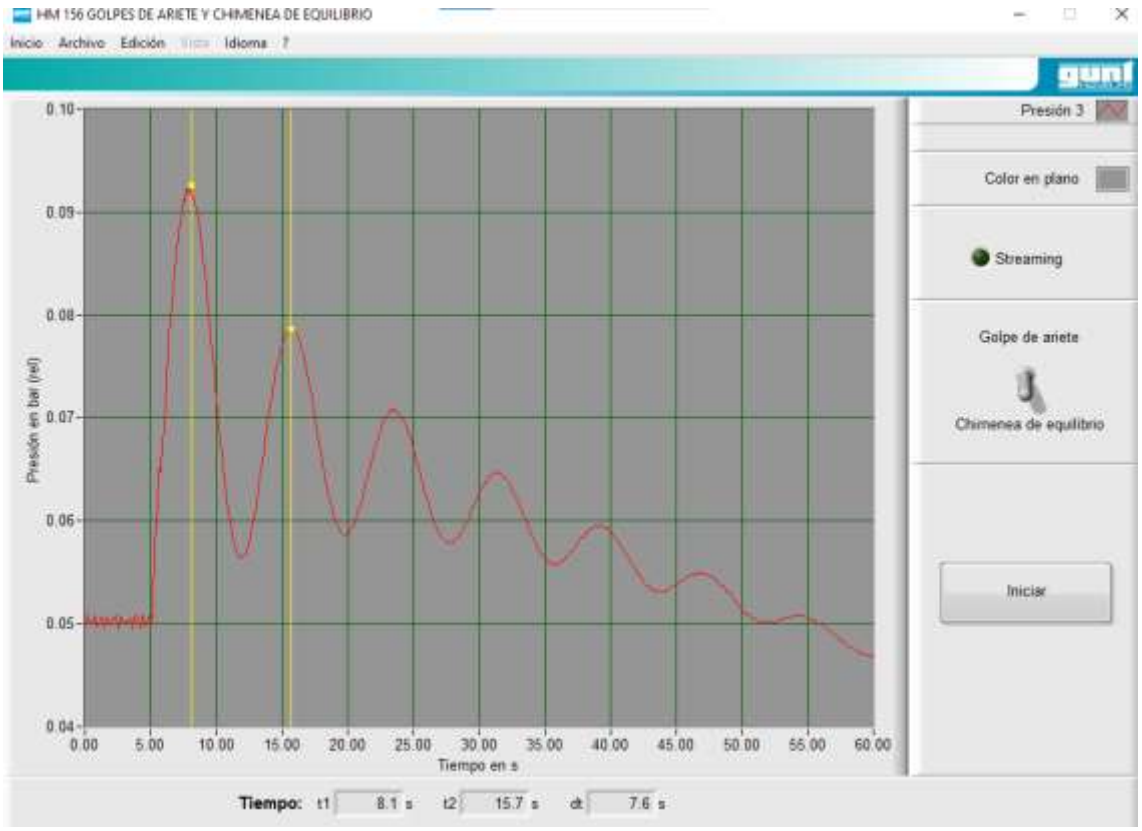
Tiempo, en seg	Presión P3, en bar	Tiempo, en seg	Presión P3, en bar
1	0.04999	31	0.06434
2	0.05012	32	0.06407
3	0.05008	33	0.06148
4	0.05025	34	0.05853
5	0.05027	35	0.05612
6	0.06910	36	0.05576
7	0.08646	37	0.05680
8	0.09170	38	0.05848
9	0.08462	39	0.05943
10	0.07145	40	0.05875
11	0.06061	41	0.05707
12	0.05629	42	0.05494
13	0.06102	43	0.05339
14	0.07015	44	0.05302
15	0.07674	45	0.05379
16	0.07824	46	0.05452
17	0.07378	47	0.05484
18	0.06634	48	0.05420
19	0.06002	49	0.05298
20	0.05853	50	0.05134
21	0.06148	51	0.05039
22	0.06647	52	0.05025
23	0.07011	53	0.05034
24	0.07020	54	0.05071
25	0.06684	55	0.05052
26	0.06202	56	0.04988
27	0.05857	57	0.04901
28	0.05771	58	0.04792
29	0.05966	59	0.04715
30	0.06261	60	0.04674

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de chimenea de equilibrio con nivel de agua de 40 centímetros, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 23.

Figura 23

Gráfica del ensayo N°03 de chimenea de equilibrio.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 60 segundos. Obtenido del software GÜNT HM 156 GOLPES DE ARIETE Y CHIMENEA DE EQUILIBRIO.

EVALUACIÓN DE FRECUENCIA NATURAL DEL PERIODO

Nivel de chimenea de equilibrio h = 40 cm

Periodo del diafragma Texp = 7.6 s

Frecuencia natural del periodo fexp = 0.131 s^{-1}

Frecuencia natural teórica fcalc = 0.131 s^{-1}

INTERPRETACIÓN:

La frecuencia natural del ensayo se aproxima al de la frecuencia natural determinada teóricamente. Teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación de la chimenea de equilibrio en relación al vidrio acrílico, se trata de un buen resultado.

Tabla 11

Resultados del ensayo N°04 de chimenea de equilibrio.

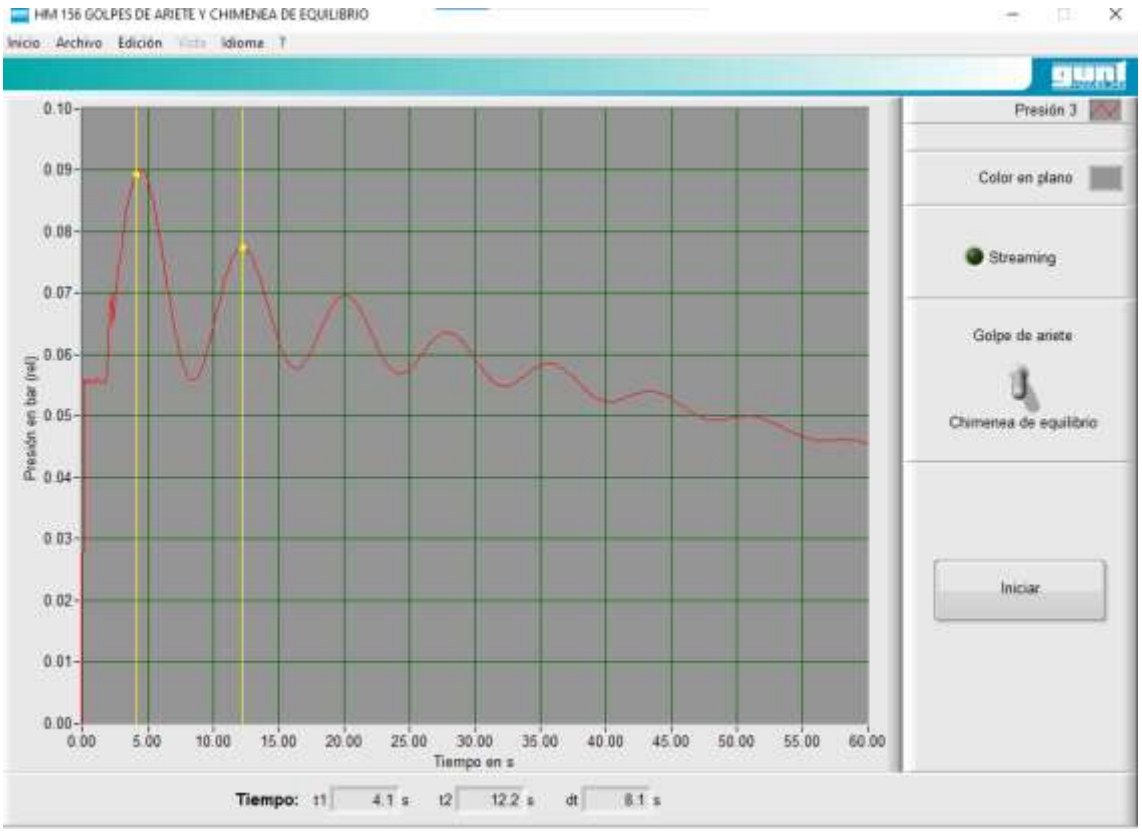
Tiempo, en seg	Presión P3, en bar	Tiempo, en seg	Presión P3, en bar
1	0.05509	31	0.05613
2	0.05948	32	0.05451
3	0.07630	33	0.05489
4	0.08780	34	0.05635
5	0.08841	35	0.05765
6	0.07783	36	0.05804
7	0.06464	37	0.05696
8	0.05689	38	0.05482
9	0.05659	39	0.05297
10	0.06364	40	0.05198
11	0.07246	41	0.05221
12	0.07653	42	0.05282
13	0.07591	43	0.05351
14	0.06917	44	0.05351
15	0.06219	45	0.05236
16	0.05766	46	0.05113
17	0.05828	47	0.04975
18	0.06257	48	0.04899
19	0.06702	49	0.04906
20	0.06909	50	0.04952
21	0.06779	51	0.04974
22	0.06341	52	0.04936
23	0.05889	53	0.04852
24	0.05667	54	0.04729
25	0.05689	55	0.04645
26	0.05966	56	0.04583
27	0.06226	57	0.04560
28	0.06326	58	0.04568
29	0.06211	59	0.04568
30	0.05897	60	0.04537

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de chimenea de equilibrio con un nivel de agua de 45 centímetros, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 24.

Figura 24

Gráfica del ensayo N°04 de chimenea de equilibrio.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 60 segundos. Obtenido del software GÜNT HM 156 GOLPES DE ARIETE Y CHIMENEA DE EQUILIBRIO.

EVALUACIÓN DE FRECUENCIA NATURAL DEL PERIODO

Nivel de chimenea de equilibrio h = 45 cm

Periodo del diafragma Texp = 8.1 s

Frecuencia natural del periodo fexp = 0.123 s^{-1}

Frecuencia natural teórica fcalc = 0.131 s^{-1}

INTERPRETACIÓN:

La frecuencia natural del ensayo se desvía de la frecuencia natural determinada teóricamente en un 6.5%. Teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación de la chimenea de equilibrio en relación al vidrio acrílico, se trata de un resultado diferente.

Tabla 12

Resultados del ensayo N°05 de chimenea de equilibrio.

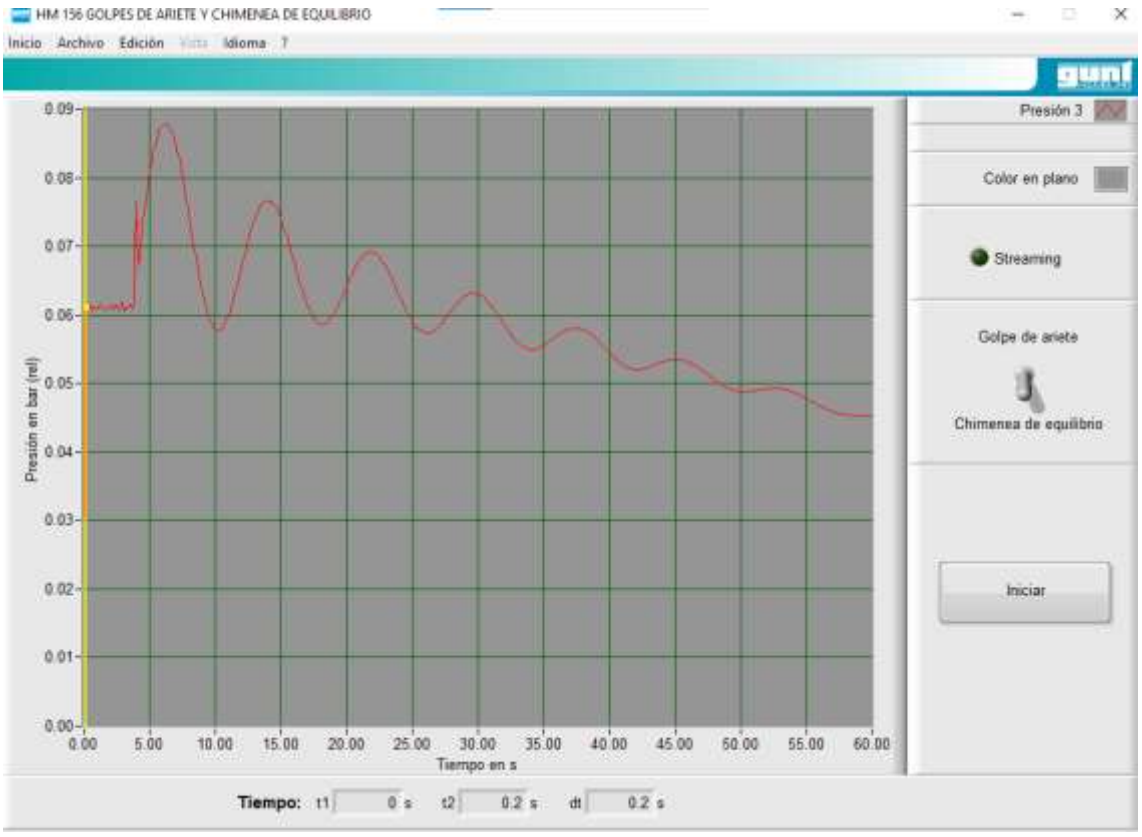
Tiempo, en seg	Presión P3, en bar	Tiempo, en seg	Presión P3, en bar
1	0.06050	31	0.06080
2	0.06064	32	0.05801
3	0.06064	33	0.05551
4	0.07178	34	0.05453
5	0.07969	35	0.05509
6	0.08696	36	0.05655
7	0.08460	37	0.05753
8	0.07464	38	0.05725
9	0.06330	39	0.05606
10	0.05756	40	0.05403
11	0.05901	41	0.05229
12	0.06648	42	0.05159
13	0.07319	43	0.05187
14	0.07623	44	0.05264
15	0.07355	45	0.05313
16	0.06735	46	0.05271
17	0.06094	47	0.05166
18	0.05829	48	0.05020
19	0.05948	49	0.04895
20	0.06372	50	0.04825
21	0.06734	51	0.04853
22	0.06880	52	0.04888
23	0.06644	53	0.04895
24	0.06268	54	0.04832
25	0.05857	55	0.04749
26	0.05697	56	0.04630
27	0.05773	57	0.04540
28	0.06003	58	0.04512
29	0.06212	59	0.04491
30	0.06254	60	0.04491

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de chimenea de equilibrio con un nivel de agua de 50 centímetros, el reporte de datos de cada sensor de presión instalado en el sistema hidráulico, de los cuales se graficó la curva de presiones como se observa en la Figura 25.

Figura 25

Gráfica del ensayo N°05 de chimenea de equilibrio.



Nota. El gráfico “Presión vs. Tiempo” proporciona los datos registrados en el ensayo durante un intervalo de 60 segundos. Obtenido del software GÜNT HM 156 GOLPES DE ARIETE Y CHIMENEA DE EQUILIBRIO.

EVALUACIÓN DE FRECUENCIA NATURAL DEL PERIODO

Nivel de chimenea de equilibrio	h = 50 cm
Periodo del diafragma	Texp = 7.6 s
Frecuencia natural del periodo	fexp = 0.131 s^{-1}
Frecuencia natural teórica	fcalc = 0.131 s^{-1}

INTERPRETACIÓN:

La frecuencia natural del ensayo se aproxima al de la frecuencia natural determinada teóricamente. Teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación de la chimenea de equilibrio en relación al vidrio acrílico, se trata de un buen resultado.

4.2 Prueba de normalidad

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se utilizó para evaluar el contraste de un conjunto de datos menores a 50, donde se plantea los siguientes enunciados:

H_0: Los datos tienen una distribución normal.

H_1: Los datos no tienen una distribución normal.

Regla de decisión:

Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor es menor al nivel de significancia (5%).

Tabla 13

Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

	Shapiro-Wilk		
Variable	**Estadístico**	**gl**	**Sign.**
Nivel de chimenea	0.90	15	0.10
Caudal	0.82	15	0.01
Variación de presión	0.63	15	0.00
Variable 1: Estabilidad de chimenea	0.91	15	0.15
Variable 2: Efecto del golpe de ariete	0.86	15	0.03

Nota. Resultados obtenidos del software PSPP.

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a la muestra menor de 50 datos, con las variables en relación a las hipótesis de la investigación, en la que se observó que para la variable Caudal, Variación de presión y Efecto de golpe de ariete tienen una distribución normal de los datos ya que el p-valor es menor al nivel de significancia (0.05), mientras que la variable Nivel de chimenea y Estabilidad de chimenea **no** tienen una distribución normal de los datos ya que el p-valor es mayor al nivel de significancia (0.05).

4.3 Prueba de análisis de varianza

Se trabajó con el análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias entre los cinco grupos o tratamientos para determinar si existen diferencias significativas entre ellas, donde se plantea los siguientes enunciados:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$.

H_1: No todas las varianzas son iguales.

Regla de decisión:

Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor es menor al nivel de significancia (5%).

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Variaciones de presión.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Promedio de los cuadrados	F	Sign.
Entre grupos	0.00	4	9.74E-05	10.72	0.001
Dentro de los grupos	9.08E-05	10	9.08E-06		
Total	0.00	14			

Nota. Resultados obtenidos del software PSPP.

De la Tabla 14 se observa la comparación de las varianzas en las mediciones de variación de presión de cada grupo o tratamiento, donde el resultado contrastó un p-valor de 0.001, ya que este es menor que el nivel de significancia (5%), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, es decir, la varianza de cada grupo es diferente entre sí por tanto existen diferencias significativas entre cada grupo.

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Caudales.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Promedio de los cuadrados	F	Sign.
Entre grupos	0.00	4	0.00	345.83	0.000
Dentro de los grupos	1.57E-05	10	1.57E-06		
Total	0.00	14			

Nota. Resultados obtenidos del software PSPP.

De la Tabla 16 se observa la comparación de las varianzas en las mediciones de caudal de cada grupo o tratamiento, donde la prueba resultó un p-valor de 0.001, ya que este valor es menor que el nivel de significancia (5%), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, es decir, la varianza de cada grupo es diferente entre sí por tanto existen diferencias significativas entre cada grupo.

4.4 Prueba T-Student

Se utilizó la prueba T de Student con un nivel de significancia de 0.05. Esta prueba es una herramienta estadística que permite comparar medias de cada grupo o tratamiento y determinar si existen diferencias significativas. Este valor estadístico se compara con un valor crítico de la distribución T para determinar la significancia estadística de la prueba.

Se utilizó un enfoque con 2 colas ya que se evaluó si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos de medición de variaciones de presión en secciones de tuberías del sistema hidráulico del laboratorio, sin especificar la dirección de esta diferencia.

Para calcular el valor T en la prueba T-Student se debe conocer la media y la desviación estándar de la muestra, además se calcula el error estándar de prueba.

Media. Se refiere al valor promedio de los datos de cada muestra que se somete a una comparación

Desviación estándar. Se refiere a la dispersión o la variabilidad de un conjunto de datos, lo que facilita comprender la dispersión que existe entre los valores de una muestra de la media.

Error estándar. Se refiere a la desviación estándar de la distribución de muestreo de una estadística, generalmente la media, es decir, mide cuán lejos se espera que esté la media de una muestra de la media real de la población de la que se extrajo.

Para interpretar los resultados de esta prueba se debe calcular el valor crítico de distribución (Vc) basado en los grados de libertad del estudio, para determinar si la diferencia observada entre las medias es significativa. Si el valor de t supera el valor crítico, se puede rechazar la hipótesis nula, indicando que existe una diferencia significativa en las medias de los dos grupos, para ello se plantea las siguientes hipótesis:

$\mathrm{H}_0: \mathrm{M}_1 = \mathrm{M}_2$, no existe diferencias significativas en las mediciones de presión.

$\mathrm{H}_1: M_1 \neq M_2,\ M_1 > M_2,\ M_1 < M_2$, existe diferencias significativas en las mediciones de presión, un enfoque con dos colas.

Regla de decisión: Se rechaza la hipótesis nula si el valor t cae en la zona de rechazo establecido por el valor crítico de distribución (Vc).

Tabla 16

Tabla de distribución T-Student de niveles de significancia a dos colas.

Niveles de Significancia DOS COLAS									
	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97

Fuente: William S. G. Student.

Cálculo del valor crítico de la distribución:

Tamaño de muestra: n = 15

Nivel de significancia: α = 5%

Ubicamos el valor crítico (Vc) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Vc(1-\alpha)_{n-1} = Vc(0.95)_{14} = 2.14$$

Tabla 17

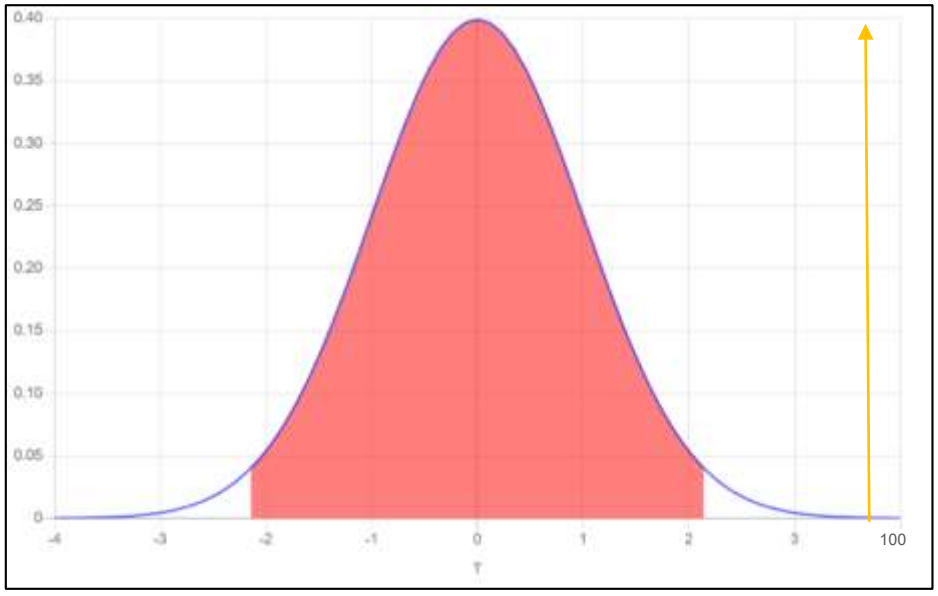
Resultados de la prueba de hipótesis T-Student de muestras emparejadas.

	n	Media	Desviación Estándar	Error Estándar Medio	t	gl	Sign. (2 colas)
Variaciones de presión sin chimenea	15	0.89	0.03	0.01			
Variaciones de presión con chimenea	15	0.06	0.01	0.00			
Prueba de muestras emparejadas					90.77*	14	0.00

Nota. *. El valor estadístico es significativo en el nivel 0.01 (2 colas). Resultados obtenidos del software PSPP.

Figura 26

Valor crítico (Vc) de prueba T-Student entre variaciones de presión en sistema hidráulico sin chimenea y con chimenea de equilibrio.



Nota. La línea amarilla representa la zona donde cae el valor estadístico (t=90.77). Elaboración propia.

De la Figura 26 y la Tabla 17 se observa que el valor estadístico **t** cae en la zona de rechazo, encontrándose en la cola positiva, lo que quiere decir, que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existe una diferencia significativa de variaciones de presión sin chimenea y con chimenea en las secciones de tubería del sistema hidráulico del laboratorio, lo cual indica que la chimenea de equilibrio ayuda a reducir los efectos del golpe de ariete en tuberías del sistema hidráulico del laboratorio.

4.5 Pruebas de hipótesis de correlación

Se aplica la prueba de correlación de Pearson entre dos variables que presentan una distribución normal en los datos, y se aplica la prueba de correlación de Spearman entre dos variables que presentan distinta normalidad, es decir, que una de las variables tiene una distribución normal de los datos y la otra variable **no** tiene una distribución normal de los datos.

Tabla 18

Resultados con respecto a la hipótesis específica 1.

Estadístico de prueba de hipótesis			**Variable: Caudal**
Rho de Spearman	Variable:	Coeficiente de correlación	0.96*
	Nivel de chimenea	Sig. (bilateral)	0.00
		N	15

Nota. *. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral). Resultados obtenidos del software PSPP.

La prueba de hipótesis de correlación de Spearman de las variables Nivel de chimenea y Caudal se determinó que existe una correlación positiva de 0.96 y significativa (p-valor<0.01), lo que revela que existe una relación hidráulica entre las variables, es decir, que un aumento en el nivel de agua del interior de la chimenea de equilibrio ocasionará un mayor caudal de golpe de ariete en las tuberías.

Tabla 19

Resultados con respecto a la hipótesis específica 2.

Estadístico de prueba de hipótesis			Variable: Variaciones de presión
Rho de Spearman	Variable: Nivel de chimenea	Coeficiente de correlación	-0.29
		Sig. (bilateral)	0.286
		N	15

Nota. Resultados obtenidos del software PSPP.

La prueba de hipótesis de correlación de Spearman de las variables Nivel de chimenea y Variaciones de presión se observa en la Tabla 19. Se determinó un coeficiente de correlación negativa de -0.29 y una significancia de 0.286, lo que revela que no existe una correlación entre las variables, porque la correlación es muy baja del 29%, y el p-valor es mayor a 0.05, es decir, que no existe una relación significativa entre el nivel de agua en el interior de la chimenea de equilibrio y las variaciones de presión en las secciones de tubería del ensayo de golpe de ariete.

Tabla 20

Resultados con respecto a la hipótesis específica 3.

Estadístico de prueba de hipótesis			Nivel de chimenea	Caudal	Variaciones de presión
Rho de Spearman	Nivel de chimenea	Coeficiente de correlación	1.00	0.96*	-0.29
		Sig. (bilateral)		0.00	0.286
		N	15	15	15
	Caudal	Coeficiente de correlación	0.96*	1.00	-0.20
		Sig. (bilateral)	0.00		0.475
		N	15	15	15
	Variaciones de presión	Coeficiente de correlación	-0.29	-0.20	1.00
		Sig. (bilateral)	0.286	0.475	
		N	15	15	15

Nota. *. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral). Resultados obtenidos del software PSPP.

La prueba de hipótesis de correlación de Spearman de las variables Nivel de chimenea y Variaciones de presión se observa en la Tabla 20.

Se determinó que existe una correlación positiva de Rho de 0.96 y significativa (p-valor<0.01) entre el nivel de chimenea y el caudal de golpe de ariete en las secciones de tuberías del sistema hidráulico, lo que revela que existe una relación entre estas variables.

Se determinó que no existe una correlación entre el nivel de chimenea y las variaciones de presión, ya que el p-valor = 0.286 es mayor a 0.05, indica que no existe una relación significativa, además que tiene un coeficiente de correlación negativa baja de -0.29.

Se determinó que no existe una correlación entre el caudal del golpe de ariete y las variaciones de presión, ya que el p-valor = 0.475 es mayor a 0.05, indica que no existe una relación significativa, además que tiene un coeficiente de correlación negativa baja de -0.20, lo que revela que no existe una correlación entre estas variables.

Tabla 21

Resultados con respecto a la hipótesis general.

Estadístico de prueba de hipótesis			**Variable: Efecto del golpe de ariete**
Rho de Spearman	Variable: Estabilidad de chimenea	Coeficiente de correlación	-0.98*
		Sig. (bilateral)	0.00
		N	15

Nota. *. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral). Resultados obtenidos del software PSPP.

La prueba de hipótesis de correlación de Spearman de las variables Nivel de chimenea y Variaciones de presión se observa en la Tabla 21. Se determinó un coeficiente de correlación negativa de -0.98 y significativa (p-valor<0.01), lo que revela que existe una relación hidráulica muy alta entre las variables, es decir, que el diseño de chimeneas de equilibrio con indicador de mayor estabilidad podría reducir el efecto del golpe de ariete en

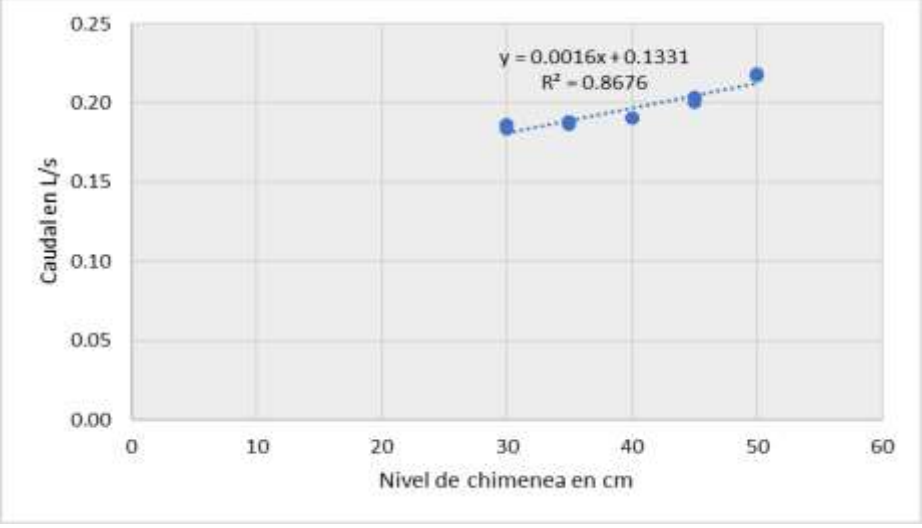
tuberías de un sistema hidráulico en laboratorio. No obstante, se debe tener en consideración las recomendaciones de uso del equipo el mismo que no recomienda incrementar las alturas del ensayo mayores a 50 centímetros del nivel de chimenea ya que puede ocasionar que se dispare el agua de la chimenea.

4.6 Discusión de resultados

El análisis de los datos continuos sobre el grado de correlación de las variables Nivel de chimenea vs. Caudal se observa en la Figura 27. Se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo R^2 = 0.8676 entre las dos variables indicadas, revelando que el 86.76% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 13.24% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en el estudio, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=0.0016x+0.1331, donde la incógnita "x" representa el nivel de agua en el interior de la chimenea en centímetros y la variable "y" representa el caudal del golpe de ariete en L/s.

Figura 27

Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis específica 1.

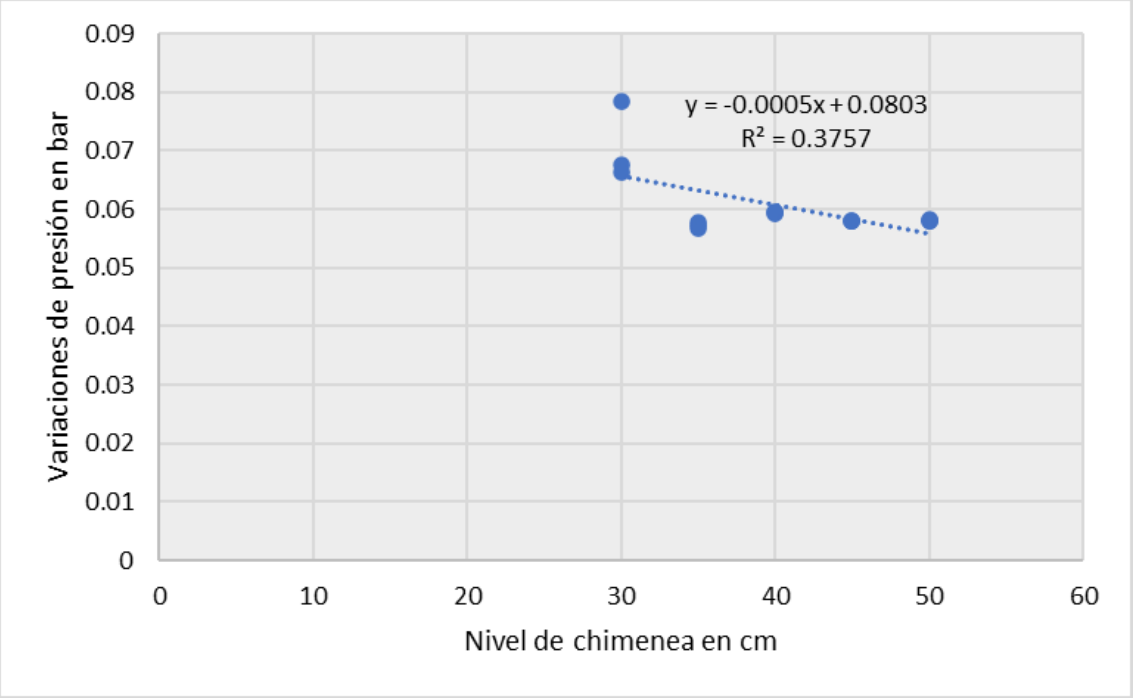


Nota. La ecuación en el gráfico demuestra la dispersión de las variables. La "R^2" es el coeficiente de determinación.

Por su lado, el análisis de los datos continuos sobre el grado de correlación de las variables Nivel de chimenea vs. Variaciones de presión se observa en la Figura 28. Se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo $R^2 = 0.3757$ entre las dos variables indicadas, revelando que el 37.57% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 62.43% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en el estudio, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=-0.0005x+0.0803, donde la incógnita "x" representa el nivel de agua en el interior de la chimenea en centímetros y la variable "y" representa las variaciones de presión en una tubería del sistema hidráulico en bar.

Figura 28

Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis específica 2.



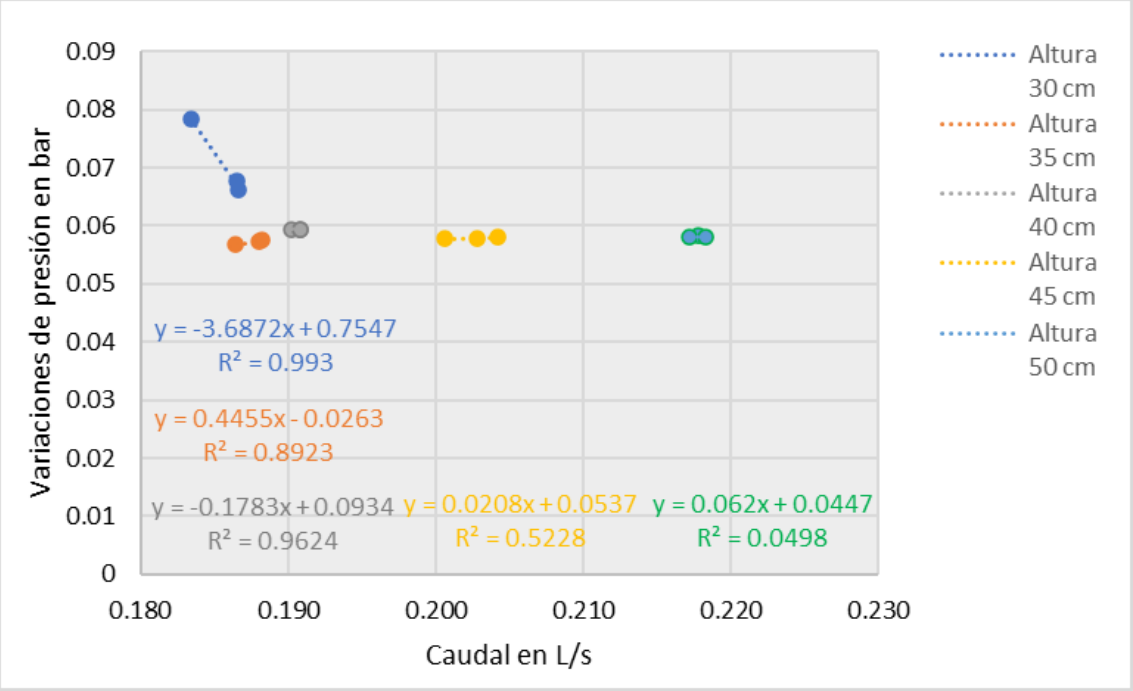
Nota. La ecuación en el gráfico demuestra la dispersión de las variables. La "R²" es el coeficiente de determinación. Elaboración propia.

Esto se discutió con los resultados de Menéndez Fernández (2024) ya que, en su estudio de la determinación del efecto del golpe de ariete, él implementó un tanque hidroneumático para mitigar el efecto del fenómeno, obteniendo un buen desempeño en el control de presiones, siendo este equipo una alternativa muy implementada en la práctica.

El análisis de los datos continuos sobre el grado de correlación de las variables Nivel de chimenea vs. Caudal vs. Variaciones de presión se observa en la Figura 29.

Figura 29

Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis específica 3.



Nota. La ecuación en el gráfico demuestra la dispersión de las variables. La "R²" es el coeficiente de determinación. Elaboración propia.

Para un nivel de chimenea de 30 centímetros se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo $R^2 = 0.993$, revelando que el 99.3% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 0.7% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en el estudio, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=-3.6872x+0.7547.

Para un nivel de chimenea de 35 centímetros se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo R^2 = 0.8923, revelando que el 89.23% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 10.77% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en el estudio, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=0.4455x-0.0263.

Para un nivel de chimenea de 40 centímetros se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo R^2 = 0.9624, revelando que el 96.24% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 3.76% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en la investigación, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=-0.1783x+0.0934.

Para un nivel de chimenea de 45 centímetros se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo R^2 = 0.5228, revelando que el 52.28% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 47.72% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en el estudio, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=0.0208x+0.0537.

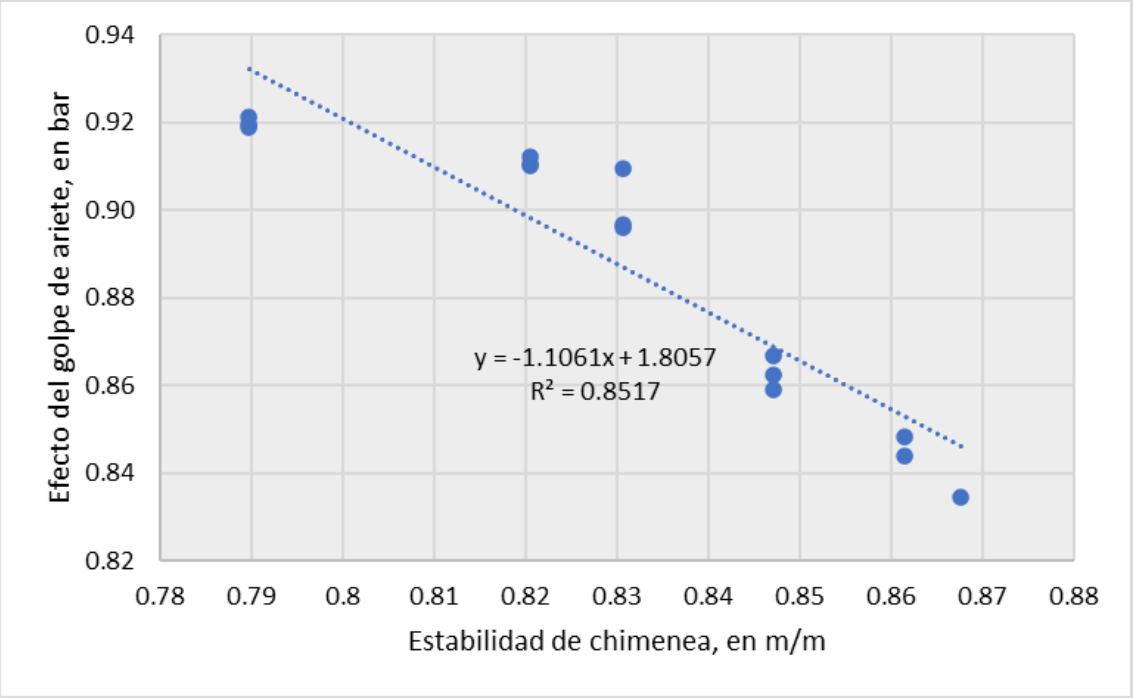
Para un nivel de chimenea de 50 centímetros se determinó que existe un coeficiente de determinación positivo R^2 = 0.0498, revelando que casi el 5% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 95% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en la investigación, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=0.062x+0.0447.

El análisis de los datos continuos sobre el grado de correlación de las variables Estabilidad de chimenea vs. Efecto del golpe de ariete se observa en la Figura 30. Se

determinó que existe un coeficiente de determinación positivo R^2 = 0.8517 entre las dos variables indicadas, revelando que el 85.17% del procesamiento de datos de la investigación explica el valor de la variable de respuesta, mientras que el 14.83% de los datos no tuvieron relación y fueron afectados por otros factores no manejados directamente en el estudio, como se observa en la ecuación matemática del modelo y=-1.1061x+1.8057, donde la incógnita “x” representa la estabilidad de la chimenea de equilibrio y la variable “y” representa el efecto del golpe de ariete en la sección de tuberías del sistema hidráulico.

Figura 30

Gráfico de dispersión con respecto a la hipótesis general.



Nota. La ecuación en el gráfico demuestra la dispersión de las variables. La “R²” es el coeficiente de determinación. Elaboración propia.

Esto se discutió con los resultados de Pineda Bardalez (2024) donde en su estudio del fenómeno del golpe de ariete aplicado con tres tratamientos a tres diferentes alturas obtuvo una correlación positiva muy alta de 0.897 y significativa, además él observó que el volumen tiende a aumentar directamente en relación con la altura.

CONCLUSIONES

- Existe una relación negativa muy alta entre la estabilidad de chimenea de equilibrio y el efecto del golpe de ariete en sistemas hidráulicos en el Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali, lo que significa que el diseño de chimeneas de equilibrio con indicador de mayor estabilidad podría contribuir a la reducción del efecto del golpe de ariete producido en tuberías del sistema hidráulico en laboratorio, además, se concluye en base a los resultados de la prueba T-Student, que existe una diferencia significativa entre las medias de las variaciones de presión sin chimenea y con chimenea en las secciones de tubería del sistema hidráulico del laboratorio, se observó que el valor estadístico t cayó en la zona de rechazo de la cola positiva, lo cual explica la relación entre la ocurrencia del golpe de ariete y sus factores, y la respuesta de la estabilidad de chimenea.
- Hay una relación positiva muy alta entre el nivel de chimenea y el caudal del golpe de ariete en sistemas hidráulicos en el laboratorio de la universidad, ya que se obtuvo un coeficiente Rho de Spearman de 0.96 y significativa (p-valor<0.01), lo que sugiere que un aumento en el nivel de agua del interior de la chimenea de equilibrio ocasionará un mayor caudal de golpe de ariete en las secciones de tuberías.
- No existe una relación entre el nivel de chimenea y las variaciones de presión en las secciones de tubería del sistema hidráulico en el laboratorio de la universidad, ya que se obtuvo una significancia de 0.286 (p-valor>0.05) en la prueba de correlación y un coeficiente Rho de Spearman negativo de -0.29, además, se concluye en base al análisis de varianza (ANOVA) de las variaciones de presión, el cual se obtuvo un nivel de significancia menor al 5%, lo que indica que en cada grupo o tratamiento de la investigación, la varianza de cada grupo es diferente entre sí, por tanto, existen

diferencias significativas entre cada grupo o tratamiento.

- No hay una relación entre el nivel de chimenea, caudal y variación de presión por golpe de ariete en sistemas hidráulicos en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali, ya que se obtuvo una significancia de 0.475 (p-valor>0.05) en la prueba de correlación de hipótesis, obteniendo un coeficiente Rho de Spearman negativo de -0.20.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

- Realizar una calibración periódica y certificada de los equipos y complementos como sensores de presión y probetas graduadas para futuras investigaciones y prácticas de laboratorio. Se sugiere a la facultad la adquisición de un sistema de adquisición de datos (DAQ) más moderno que permita un registro de datos a una frecuencia de muestreo mayor, lo cual es vital para capturar la naturaleza transitoria del fenómeno del golpe de ariete.
- La implementación de diferentes tipos de válvulas de cierre para futuras investigaciones, ya que además de la válvula de cierre rápido actual, se podría estudiar el efecto de una maniobra controlada en las magnitudes de la sobrepresión, validando la influencia del tiempo de cierre (Tc) respecto al tiempo característico.
- Se sugiere a la facultad instalar otros módulos adicionales además del módulo básico actual en el laboratorio para el ensayo de otros elementos de protección de sistemas y circuitos hidráulicos contra el fenómeno del golpe de ariete, tales como válvulas anticipadoras de onda o tanques hidroneumáticos de aire comprimido, permitiendo a los estudiantes comparar la eficacia y el costo de diferentes soluciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ccencho Lima, R. (2024). *Atenuación del golpe de ariete en líneas de conducción de agua, analizados mediante métodos computacionales, Chupaca, Junín 2021* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Repositorio Institucional: https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11825

Erbessd, T. (s.f.). Monitoreo de Condición: Resonancia y Frecuencia Natural. *ERBESSD INSTRUMENTS*. https://www.erbessd-instruments.com/es/articulos/resonancia-y-frecuencia-natural/

Farinango Pabón, L. A. y Villacís Padilla, J. D. (2014). *Automatización de la adquisición de datos para el banco de pruebas de la chimenea de equilibrio del laboratorio de Turbomaquinaria hidráulica de la facultad de mecánica* [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Quito, Ecuador. Dirección de Bibliotecas y Recursos Para el Aprendizaje y la Investigación: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3524

Gallardo Armijos, P. y Zambrano Vera, F. A. (2020, julio 15). *Determinación del golpe de ariete en tuberías a presión mediante un modelo hidráulico de laboratorio* [Tesis de pregrado]. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. Repositorio Digital UNESUM: https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2281/1/ZAMBRANO%20VERA%20FREDDY%20ANTONIO.pdf

García Hernández, Á. y Castro Fresno, D. (2005). Diseño de una chimenea de equilibrio inclinada en el aprovechamiento hidroeléctrico del río Cenza (Orense). *Ingeniería Civil, 138, 89-100*. https://www.giteco.unican.es/pdf/publicaciones/IngenieriaCivil_138.pdf

G.U.N.T. (2021). *Manual de experimentos, HM 156 Golpes de ariete y chimenea de equilibrio*. G.U.N.T. Gerätebau, Barsbüttel, Alemania.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill: México, D.F.

Huamán Gutiérrez, J. (2021). *Diseño y cálculo de un sistema de bombeo económico y sostenible para tierras eriazas en la Asociación Huamán Tapara, de la localidad de Nuñoa* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/db1ec30d-72c6-4182-aa9b-899a705bd779/content

Martínez Alzamora, F. (1995, enero). *Chimeneas de equilibrio. El problema de la estabilidad hidráulica en las Centrales*. ResearchGate.

Menéndez Fernández, J. C. (2024). *Estudio numérico con el programa Hammer para determinar el golpe de ariete en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, y HD* [Tesis de licenciatura]. Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Repositorio Institucional USS: https://hdl.handle.net/20.500.12802/13387

Montes Pastrán, K. X. y Sabogal Urcuqui, L. A. (2019). *Trabajo de investigación y análisis hidráulico del golpe de ariete en la conducción y llegada a la PCH de Santa Ana* [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C. https://hdl.handle.net/10983/24348

Ortiz Masek, G. A. (2006). *El golpe de ariete en sistemas de abastecimiento de agua potable* [Tesis de pregrado] Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2611_C.pdf

Pineda Bardales, C. W. A. (2024). *Evaluación del fenómeno de golpe de ariete a tres diferentes alturas en el circuito hidráulico del laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Ucayali. https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/47a52e77-3584-4c21-9fd5-555955cef673/content

Ramírez Alzate, J. J. (2024). *Evaluación del impacto del golpe de ariete en la estabilidad de una tubería, estudio de caso: Transporte de petróleo crudo* [Tesis de pregrado]. Universidad Cooperativa de Colombia, Antioquía, Medellín, Colombia. Repositorio Institucional de Universidad Cooperativa de Colombia: https://hdl.handle.net/20.500.12494/57001

Robayo Araque, R. M. (2021). *Estructuras para el amortiguamiento de golpe de ariete en sistemas de distribución de agua potable* [Tesis de maestría]. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá, Ecuador. https://pavcowavin.com.co/estructuras-para-el-amortiguamiento-del-golpe-de-ariete-en-sistemas-de-distribucion-de-agua-potable

Rojas Morón, R. K. & Cajas Campos, E. A. J. (2023). *Análisis y evaluación del coeficiente de gasto en vertederos triangular y rectangular con contracción y sin contracción de pared delgada en canal de ensayo del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ucayali. Repositorio Institucional: https://hdl.handle.net/20.500.14621/6240

Román Claros, W. G. (2018). *Pautas para elaborar proyecto de Tesis y trabajos de investigación en ingeniería, Parte I* (1ª ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Lima, Perú.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*. Editorial Limusa: México D.F.

Twyman Q., J. (2018). Golpe de ariete en una red de distribución de agua. *PAIDEIA XXI, 6(7), 53-68*.

https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/download/1576/1453

Varas B., E., y Uribe C., H. (2000). *Golpe de ariete.* Biblioteca Digital, Temuco: INIA.

https://hdl.handle.net/20.500.14001/39954

ANEXOS

Anexo N°01 – Matriz de consistencia

TÍTULO: ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA
Problema General: ¿Cuáles son los efectos del fenómeno de golpe de ariete y la estabilidad de chimenea de equilibrio en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali? **Problemas específicos** • ¿Cuál es el efecto del nivel de chimenea en el caudal del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali? • ¿Cuál es el efecto del nivel de chimenea en la variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali? • ¿Cuál es la relación entre el nivel de chimenea, caudal, y variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali?	**Objetivo General:** Analizar los efectos de la estabilidad de una chimenea de equilibrio en el golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. **Objetivos específicos** • Determinar el efecto del nivel de chimenea en el caudal del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. • Determinar el efecto del nivel de chimenea en la variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. • Determinar si existe una relación entre el nivel de chimenea, caudal, y variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.	**Hipótesis General:** La estabilidad de chimenea de equilibrio tiene un efecto significativo en el efecto del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. **Hipótesis Específicas:** • El nivel de chimenea tiene un efecto significativo en el caudal del golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. • El nivel de chimenea tiene un efecto significativo en la variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali. • Existe una relación significativa entre el nivel de chimenea, caudal y variación de presión por golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.	**Variable Independiente** Estabilidad de chimenea de equilibrio	Nivel de chimenea	Altura de la columna de agua en la chimenea según tratamiento (30, 35, 40, 45, 50 cm)	Razón continua	Regla o flexómetro	**Tipo:** Aplicada **Enfoque:** Cuantitativa **Nivel:** Descriptivo-explicativo **Diseño** Pre experimental de laboratorio **Población** Todas las posibles corridas experimentales **Muestra** 15 ensayos con diseño aleatorio **Procesamiento y tratamiento de datos** Microsoft Excel Software HM 156 WATER HAMMERS AND SURGE CHAMBER GNU PSPP
					Duración de la medición de presión en P3 durante el ensayo	Razón continua	Cronómetro	
					Medición de presión en P3 durante el ensayo	Razón continua	Sensor de presión	
			Variable Dependiente Golpe de ariete en un sistema hidráulico	Tiempo	Tiempo que tarda en ocurrir el golpe de ariete	Razón continua	Cronómetro	
				Volumen	Cantidad de fluido que desplaza el golpe de ariete	Razón continua	Depósito y probeta graduada	
				Caudal	Caudal de fluido que mueve el golpe de ariete	Razón continua	Cronómetro y depósito y probeta graduada	
				Variaciones de presión hidráulica	Medición de presión en P1 durante el ensayo	Razón continua	Sensor de presión	
					Medición de presión en P2 durante el ensayo	Razón continua	Sensor de presión	

Anexo N°02 – Ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	10	10
Tiempo	t (s)	53.62	53.62
Caudal	Q (L/s)	0.186497576	0.186497576

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.30	0.30
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.83	0.83
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.567	7.567
Periodo experimental	Tex (s)	7.30	7.30
Desviación	%	104%	104%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de compresibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	FIRMA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Calleria - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	10	10
Tiempo	t (s)	54.53	54.53
Caudal	Q (L/s)	0.183385292	0.183385292

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.30	0.30
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.83	0.83
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.567	7.567
Periodo experimental	Tex (s)	7.30	7.30
Desviación	%	104%	104%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	ASESOR TESIS
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	10	10
Tiempo	t (s)	53.6	53.6
Caudal	Q (L/s)	0.186567164	0.186567164

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.30	0.30
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.83	0.83
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.567	7.567
Periodo experimental	Tex (s)	7.27	7.27
Desviación	%	104%	104%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	FIRMA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.6	26.6
Caudal	Q (L/s)	0.187969925	0.187969925

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.35	0.35
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.829	0.829
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.58	7.58
Periodo experimental	Tex (s)	7.70	7.70
Desviación	%	98%	98%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI	
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.56	26.56
Caudal	Q (L/s)	0.188253012	0.188253012

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.35	0.35
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.829	0.829
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.58	7.58
Periodo experimental	Tex (s)	7.69	7.69
Desviación	%	99%	99%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.82	26.82
Caudal	Q (L/s)	0.186428039	0.186428039

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.35	0.35
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.829	0.829
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.58	7.58
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.28	26.28
Caudal	Q (L/s)	0.190258752	0.190258752

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.40	0.40
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.827	0.827
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.594	7.594
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de compresibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI	
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.2	26.2
Caudal	Q (L/s)	0.190839695	0.190839695

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.40	0.40
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetru interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.827	0.827
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.594	7.594
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.21	26.21
Caudal	Q (L/s)	0.190766883	0.190766883

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.40	0.40
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.827	0.827
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.594	7.594
Periodo experimental	Tex (s)	7.56	7.56
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	ι (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	FIRMA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Heracio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	24.92	24.92
Caudal	Q (L/s)	0.200642055	0.200642055

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.45	0.45
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.826	0.826
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.607	7.607
Periodo experimental	Tex (s)	8.10	8.10
Desviación	%	94%	94%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	ε (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	24.65	24.65
Caudal	Q (L/s)	0.202839757	0.202839757

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.45	0.45
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	w (s-1)	0.826	0.826
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.607	7.607
Periodo experimental	Tex (s)	8.10	8.10
Desviación	%	94%	94%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	24.49	24.49
Caudal	Q (L/s)	0.204164965	0.204164965

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.45	0.45
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s^{-1})	0.826	0.826
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.607	7.607
Periodo experimental	Tex (s)	8.02	8.02
Desviación	%	95%	95%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO A CARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	22.96	22.96
Caudal	Q (L/s)	0.217770035	0.217770035

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.50	0.50
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.825	0.825
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.62	7.62
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	ε (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	23.02	23.02
Caudal	Q (L/s)	0.217202433	0.217202433

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.50	0.50
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.825	0.825
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.62	7.62
Periodo experimental	Tex (s)	7.66	7.66
Desviación	%	99%	99%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Heracio Soriano Alava	Dr. Heracio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	22.9	22.9
Caudal	Q (L/s)	0.218340611	0.218340611

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.50	0.50
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.825	0.825
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.62	7.62
Periodo experimental	Tex (s)	7.70	7.70
Desviación	%	99%	99%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	10	10
Tiempo	t (s)	53.62	53.62
Caudal	Q (L/s)	0.186497576	0.186497576

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.30	0.30
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.83	0.83
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.567	7.567
Periodo experimental	Tex (s)	7.30	7.30
Desviación	%	104%	104%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	10	10
Tiempo	t (s)	54.53	54.53
Caudal	Q (L/s)	0.183385292	0.183385292

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.30	0.30
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.83	0.83
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.567	7.567
Periodo experimental	Tex (s)	7.30	7.30
Desviación	%	104%	104%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de compresibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	10	10
Tiempo	t (s)	53.6	53.6
Caudal	Q (L/s)	0.186567164	0.186567164

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.30	0.30
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.83	0.83
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.567	7.567
Periodo experimental	Tex (s)	7.27	7.27
Desviación	%	104%	104%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de compresibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Heracio Soriano Alava	Dr. Heracio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.6	26.6
Caudal	Q (L/s)	0.187969925	0.187969925

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.35	0.35
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.829	0.829
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.58	7.58
Periodo experimental	Tex (s)	7.70	7.70
Desviación	%	98%	98%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.56	26.56
Caudal	Q (L/s)	0.188253012	0.188253012

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.35	0.35
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.829	0.829
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.58	7.58
Periodo experimental	Tex (s)	7.69	7.69
Desviación	%	99%	99%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.82	26.82
Caudal	Q (L/s)	0.186428039	0.186428039

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.35	0.35
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.829	0.829
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.58	7.58
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de compresibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00
Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.28	26.28
Caudal	Q (L/s)	0.190258752	0.190258752

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.40	0.40
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.827	0.827
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.594	7.594
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.2	26.2
Caudal	Q (L/s)	0.190839695	0.190839695

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.40	0.40
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.827	0.827
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.594	7.594
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Heracio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	26.21	26.21
Caudal	Q (L/s)	0.190766883	0.190766883

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.40	0.40
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.827	0.827
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.132	0.132
Periodo teórico	Tth (s)	7.594	7.594
Periodo experimental	Tex (s)	7.56	7.56
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00
Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Ltx)	5	5
Tiempo	t (s)	24.92	24.92
Caudal	Q (L/s)	0.200642055	0.200642055

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.45	0.45
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.826	0.826
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.607	7.607
Periodo experimental	Tex (s)	8.10	8.10
Desviación	%	94%	94%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	24.65	24.65
Caudal	Q (L/s)	0.202839757	0.202839757

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.45	0.45
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s^2)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.826	0.826
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.607	7.607
Periodo experimental	Tex (s)	8.10	8.10
Desviación	%	94%	94%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de compresibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00
Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	24.49	24.49
Caudal	Q (L/s)	0.204164965	0.204164965

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.45	0.45
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.826	0.826
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.607	7.607
Periodo experimental	Tex (s)	8.02	8.02
Desviación	%	95%	95%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	22.96	22.96
Caudal	Q (L/s)	0.217770035	0.217770035

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.50	0.50
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.825	0.825
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.62	7.62
Periodo experimental	Tex (s)	7.60	7.60
Desviación	%	100%	100%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	ε (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	23.02	23.02
Caudal	Q (L/s)	0.217202433	0.217202433

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.50	0.50
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.825	0.825
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.62	7.62
Periodo experimental	Tex (s)	7.66	7.66
Desviación	%	99%	99%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
SOLICITANTE	HOMARTH ULDARICO ROJAS BERNARDO JOE BORIS POVES LEÓN
UBICACIÓN	C.F.B. Km 6 - Pucallpa, Callería - Coronel Portillo - Ucayali
FECHA	Lunes, 06 de octubre de 2025

RECOLECCIÓN DE DATOS

N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Volumen	V (Lts)	5	5
Tiempo	t (s)	22.9	22.9
Caudal	Q (L/s)	0.218340611	0.218340611

ENSAYO DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Altura de chimenea	H (m)	0.50	0.50
Longitud de tubo	L (m)	5.885	5.885
Diámetro interior de chimenea	D (mm)	40.00	40.00
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Gravedad	g (m/s²)	9.81	9.81
Velocidad angular	ω (s-1)	0.825	0.825
Frecuencia de oscilación	f (Hz)	0.131	0.131
Periodo teórico	Tth (s)	7.62	7.62
Periodo experimental	Tex (s)	7.70	7.70
Desviación	%	99%	99%

ENSAYO DE GOLPE DE ARIETE			
N° de Prueba	Unidad	P-1	P-2
Velocidad del sonido en el agua	C (m/s)	1483.00	1483.00
Módulo de comprensibilidad del fluido	K (Pa)	2.08E+09	2.08E+09
Módulo elástico del tubo	Ep (Pa)	1.30E+11	1.30E+11
Diámetro interior del tubo	d (mm)	26.00	26.00
Grosor de la pared	s (mm)	1.00	1.00
Distancia entre P1 y P2	L (m)	3.00	3.00

Velocidad de propagación de onda	cp (m/s)	1,246	1,246
Duración teórica	Tth (s)	0.002407	0.002407
Duración experimental	Tex (s)	0.002	0.002

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS E HIDRAULICA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORISTA	INGENIERO ENCARGADO DEL LABORATORIO	JEFATURA
Ing. Rosita Katherine Rojas Moron	Dr. Horacio Soriano Alava	Dr. Horacio Soriano Alava

Anexo N°03 – Guía de observación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

GUIA DE OBSERVACION N°01

Proyecto: "ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS Y LA ESTABILIDAD DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI"
Autores: Homarth Rojas Bernardo y Joe Poves León **Ubicación:** Callería - Coronel Portillo - Ucayali
Instrucciones: En este instrumento se va registrar las mediciones de las variables de acuerdo al diseño de la tesis.

Objetivo: • Analizar los efectos de la estabilidad de una chimenea de equilibrio en el golpe de ariete en un sistema hidráulico en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ucayali.

N°	Tratamiento, Repetición	Altura en cm	Caudal en L/s	Presión P1 en bar	Presión P2 en bar	Presión P3 en bar	Variaciones de presión	Estabilidad de chimenea	Efecto de golpe de ariete
1	T1 R1	30	0.186	0.84379	0.46680	0.06763	0.06763	0.862	0.84379
2	T1 R2	30	0.183	0.83464	0.44641	0.07852	0.07852	0.868	0.83464
3	T1 R3	30	0.187	0.84814	0.46735	0.06625	0.06625	0.862	0.84814
4	T2 R1	35	0.188	0.85888	0.48900	0.05724	0.05724	0.847	0.85888
5	T2 R2	35	0.188	0.86671	0.48602	0.05767	0.05767	0.847	0.86671
6	T2 R3	35	0.186	0.86240	0.48790	0.05674	0.05674	0.847	0.86240
7	T3 R1	40	0.190	0.89601	0.47482	0.05948	0.05948	0.831	0.89601
8	T3 R2	40	0.191	0.90928	0.48473	0.05937	0.05937	0.831	0.90928
9	T3 R3	40	0.191	0.89670	0.47524	0.05940	0.05940	0.831	0.89670
10	T4 R1	45	0.201	0.91021	0.48714	0.05790	0.05790	0.821	0.91021
11	T4 R2	45	0.203	0.91042	0.48736	0.05789	0.05789	0.821	0.91042
12	T4 R3	45	0.204	0.91202	0.48897	0.05799	0.05799	0.821	0.91202
13	T5 R1	50	0.218	0.92122	0.49848	0.05836	0.05836	0.790	0.92122
14	T5 R2	50	0.217	0.91882	0.49782	0.05805	0.05805	0.790	0.91882
15	T5 R3	50	0.218	0.91936	0.49763	0.05812	0.05812	0.790	0.91936

Anexo N°04 – Panel fotográfico



Foto Nº 01 – Se observa el llenado del depósito de agua del módulo básico.



Foto Nº 02 – Se visualiza la instalación completa del CD y la interfaz del software.



Foto Nº 03 – Se observa la medición del caudal por el método volumétrico.



Foto Nº 04 – Se observa los instrumentos para la medición de variables.



Foto Nº 05 – Recolección de datos del ensayo del golpe de ariete.



Foto Nº 06 – Recolección de datos del ensayo de chimenea de equilibrio.



Foto Nº 07 – Se observa la medición de altura de agua en la chimenea.



Foto Nº 08 – Procesamiento de datos obtenidos del software.