



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,**

**INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SIFÓN PINLLO  
IÑASARI – GUANÑA DEL SISTEMA DE RIEGO CERRO NEGRO  
CHURUCO, DEL CANTÓN SÍGSIG, APLICANDO EL SOFTWARE  
ALLIEVI”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: ANGEL BOLÍVAR CAIVINAGUA LLIVICHUSHCA**

**DIRECTOR: ING. DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO, MSc.**

**CUENCA-ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SIFÓN PINLLO  
IÑASARI – GUANÑA DEL SISTEMA DE RIEGO CERRO NEGRO  
CHURUCO, DEL CANTÓN SÍGSIG, APLICANDO EL SOFTWARE  
ALLIEVI”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: ANGEL BOLÍVAR CAIVINAGUA LLIVICHUSHCA**

**DIRECTOR: ING. DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO, MSc.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

**Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca** portador de la cédula de ciudadanía N° **0107102279**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación **“Evaluación de la operación del sifón Pinlo Iñasari – Guanña del sistema de riego Cerro Negro Churuco, del cantón Sígsig, aplicando el software Allievi”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este proyecto de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 03 de abril del 2024

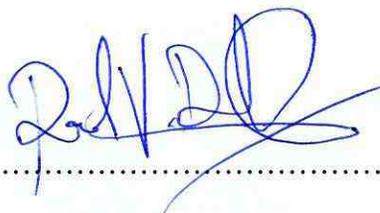


Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca  
0107102279

## CERTIFICACIÓN

Yo, **Ing. Paola Verónica Delgado Garzón** con CI: **0103801973** en calidad de directora de tesis certifico que el trabajo **“Evaluación de la operación del sifón Pinlo Iñasari – Guanña del sistema de riego Cerro Negro Churuco, del cantón Sígsig, aplicando el software Allievi”**, fue realizado por el estudiante Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca, bajo mi supervisión.

Cuenca, 03 de abril del 2024



Ing. Paola Delgado G.

**DIRECTORA**

## DEDICATORIA

A mis padres, Angel y Luzmila, cuyo amor incondicional y constante apoyo han sido mi mayor fortaleza a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí, por alentarme a perseguir mis sueños y por ser mi inspiración diaria.

A mis hermanos mayores Diana y Patricio, quienes han sido un ejemplo a seguir y han estado siempre presentes para apoyarme en todo momento a lo largo de esta trayectoria. Su constante cuidado, atención y aliento han sido un pilar fundamental en mi desarrollo académico y personal.

A mi querida abuelita Targelia, cuyo amor y sabiduría siguen iluminando mi camino desde el cielo. A mi familia, por su apoyo incondicional quienes han sido mi roca y mi inspiración, dedico esta tesis con todo mi amor y gratitud.

Att: Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca

## AGRADECIMIENTO

En este momento trascendental de culminación y gratitud de mi tesis, quiero agradecer a Dios por darme sabiduría y ser guía en cada paso de mi vida, además, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a quienes han sido fundamentales en el camino que me ha llevado hasta aquí.

A mis amados padres, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido el motor que impulsa mis sueños, les dedico un profundo agradecimiento. Su constante apoyo, sus consejos sabios y su ejemplo de rectitud han sido el fundamento sobre el cual he construido mi camino hacia el éxito.

A mis hermanos Diana, Patricio, Jessica y John, cómplices de alegrías y adversidades, les agradezco por su inquebrantable apoyo y por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre. Con ustedes, he compartido risas, lágrimas y sueños, y su apoyo incondicional ha sido mi mayor bendición.

A mi tutor el Ingeniero Diego Coronel, mentor y guía en este viaje académico, le agradezco por su dedicación, paciencia y sabiduría impartida.

Finalmente, a mi universidad, institución de aprendizaje y semillero de sueños, le doy gracias por brindarme las herramientas, oportunidades y el ambiente propicio para alcanzar mis metas académicas.

En este momento de celebración y gratitud, rindo homenaje a todos aquellos que han sido parte de mi viaje hacia la culminación de esta tesis. Con humildad y aprecio, reconozco su contribución invaluable y su presencia significativa en este logro. Que este momento marque el inicio de nuevas oportunidades y desafíos, y que nuestra unión y colaboración continúen fortaleciéndonos en el camino hacia un futuro lleno de éxitos y realizaciones.

Att: Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca

## RESUMEN

La investigación evalúa dos sifones de riego para garantizar su funcionamiento eficiente y seguro, considerando su rol en el suministro hídrico. Son relevantes en áreas con topografías variadas. Se busca entender el impacto de factores como la presión, el golpe de ariete y la integridad de los materiales en su rendimiento, además de identificar mejoras para optimizar su diseño y operación, asegurando un suministro confiable de agua.

Se evalúan dos sifones invertidos en el cantón Sígsig, provincia del Azuay, como parte del sistema de riego Cerro Negro Churuco. Se emplea una metodología integral que aborda aspectos desde la estructura misma de los sifones hasta consideraciones de hidrología local, operación y mantenimiento. Se simulan distintos escenarios utilizando el software Allievi para anticipar posibles puntos críticos, integrando datos obtenidos in situ y mediante tecnología RTK.

En el análisis se plantean diferentes escenarios para cada sifón, incorporando accesorios, y se examinan las presiones máximas en la tubería. Los resultados muestran presiones máximas de hasta 143.96 metros de mca y subpresiones máximas de -215.92 mca, registradas al incluir todos los accesorios en el escenario más apropiado para su funcionamiento. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar medidas correctivas para preservar la integridad del sistema y asegurar su óptimo funcionamiento a largo plazo.

*Palabras clave:* Presiones, sifones, permanente, transitorio.

## ABSTRACT

This research evaluates two irrigation siphons to ensure their efficient and safe operation, considering their role in water supply. They are relevant in areas with diverse topography. It aims to understand the impacts of pressure, water hammer, and material integrity on their performance, as well as to identify improvements to optimize their design and operation, thus ensuring a reliable water supply.

Two inverted siphons in Síg sig canton, Azuay province, were evaluated as part of the Cerro Negro Churuco irrigation system. A comprehensive methodology was used, addressing aspects ranging from the structure of the siphons themselves to local hydrology, including operation and maintenance aspects. Different scenarios were simulated using Allievi software to anticipate possible critical points, integrating data obtained in situ and with Real Time Kinematics (RTK) technology.

The analysis considers different scenarios for each siphon, incorporating accessories, and examining the maximum pressures in the pipeline. The results show a maximum pressure of up to 143.96 meters mca and a maximum underpressure of -215.92 mca, measured by including all the fittings in the most appropriate scenario for their operation. These findings highlight the necessity of implementing corrective measures to preserve the integrity of the system and ensure its optimal long-term performance.

*Keywords:* pressures, siphons, permanent, transitory

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO 1. INFORMACIÓN GENERAL .....	14
1.1 Antecedentes .....	14
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo General .....	16
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
1.3 Planteamiento del Problema y formulación del problema .....	17
1.4 Justificación.....	18
1.5 Descripción del sistema de riego.....	19
1.5.1 Condición del sector.....	19
1.5.2 Población beneficiada .....	20
1.5.3 Área proyectada irrigada .....	20
1.5.4 Localización .....	21
1.5.5 Definición de condiciones geomorfológicas del sector.....	23
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	26
2.1 Transitorios hidráulicos.....	26
2.1.1 Régimen Hidráulico .....	26
2.1.2 Fenómenos Transitorios .....	26
2.1.3 Factores que Gobiernan la Respuesta de un Sistema en Transitorio.....	27
2.1.4 Tipos de Transitorios.....	27
2.2 Análisis de ruptura de tubos .....	28
2.2.1 Golpe de Ariete .....	28
2.2.2 Fundamentos teóricos del golpe de ariete: Ecuaciones y conceptos .....	31

2.3	Válvulas hidráulicas para diferentes fines.....	33
2.4	Materiales apropiados para sifones que trabajan a alta presión .....	35
2.4.1	Materiales Metálicos en Tuberías .....	35
2.4.2	Materiales Plásticos en Tuberías .....	39
CAPÍTULO 3. MATERIALES, MÉTODOS Y APLICACIÓN .....		40
3.1	Factores en el estudio .....	40
3.2	Levantamiento de información in situ.....	42
3.2.1	Revisión de información .....	42
3.2.2	Reconocimiento de campo .....	42
3.2.3	Levantamiento de información.....	43
3.2.4	Procesamiento de información .....	44
3.2.5	Resultado de levantamiento de información .....	45
3.3	Herramientas informáticas para el análisis de transitorios en sistemas hidráulicos	48
3.3.1	Principios teóricos y bases de cálculo en Allievi .....	48
3.4	Operación de los sifones .....	51
3.5	Causas por las que ocurren sobrepresiones. ....	52
3.6	Otros eventos que provocan daño en conducciones.....	53
3.7	Medidas de mitigación del Golpe de Ariete en Sistemas de Tuberías .....	55
3.8	Materiales utilizados para conducciones de alta presión .....	56
3.9	Análisis de válvulas reductoras de presión .....	57
3.10	Análisis de válvulas controladoras de golpe de ariete.....	59
CAPÍTULO 4. RESULTADOS DEL TRABAJO .....		61
4.1	Modelación de sifón No. 1 Iñasari en software Allievi.....	61

4.1.1	Escenario 1: Apertura de válvula en la abscisa 2+800m del sifón No. 1 Iñasari	64
4.1.2	Escenario 2: Apertura de las 2 válvulas de purgas colocadas en la conducción del sifón No. 1 Iñasari	70
4.1.3	Escenario 3: Cierre de la válvula al final de la conducción del sifón No. 1 Iñasari	73
4.1.4	Escenario 4: Operación completa del sifón No. 1 Iñasari	78
4.2	Modelación de sifón No. 2 Guanña en software Allievi	82
4.2.1	Escenario 1: Apertura de la válvula purga en la abscisa 5+200 del sifón No. 2 Guanña	84
4.2.2	Escenario 2: Cierre de la válvula al final de la conducción del sifón No. 2 Guanña	87
4.2.3	Escenario 3: Operación completa del sifón 2 del sifón No. 2 Guanña	89
4.3	Modelación integral de sifón No. 1 Iñasari y sifón No. 2 Guanña	92
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		97
5.1	Conclusiones	97
5.2	Recomendaciones	99
5.3	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

**ÍNDICE TABLAS**

<b>Tabla 1:</b> <i>Sistemas de riego, áreas y población beneficiada</i> .....	20
<b>Tabla 2:</b> <i>Módulos de elasticidad volumétricos en base a la temperatura del medio</i> .....	32
<b>Tabla 3:</b> <i>Parámetros de depósito</i> .....	61
<b>Tabla 4:</b> <i>Parámetros de las tuberías</i> .....	62
<b>Tabla 5:</b> <i>Parámetros de las válvulas de regulación</i> .....	63

## ÍNDICE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Relieve de la zona de riego de Canishpamba</i> .....	14
<b>Figura 2:</b> <i>Cultivos en la parroquia San Bartolomé</i> .....	21
<b>Figura 3:</b> <i>Localización Geográfica del distribuidor de caudales Pinllo y la conducción del sifón 1 y 2</i> .....	22
<b>Figura 4:</b> <i>Estructura geomorfológica</i> .....	25
<b>Figura 5:</b> <i>Descripción del golpe de ariete como aumento en la presión en la línea piezométrica.</i> . .....	29
<b>Figura 6:</b> <i>Atenuación de ondas en el fenómeno del golpe de ariete</i> .....	33
<b>Figura 7:</b> <i>Sistema Leica RTK GNSS Base y Leica GNSS Rover</i> .....	44
<b>Figura 8:</b> <i>Flujograma de cálculo para el software ALLIEVI</i> .....	51
<b>Figura 9:</b> <i>Característica de la curva de funcionamiento de una válvula reductora de presión.</i> ..	59
<b>Figura 10:</b> <i>Dibujo en la interfaz de Allievi</i> .....	61
<b>Figura 11:</b> <i>Configuración del perfil de la conducción del sifón 1</i> .....	62
<b>Figura 12:</b> <i>Válvulas de aire en las distancias correspondientes</i> .....	63
<b>Figura 13:</b> <i>Dibujo del escenario 1 en Allievi.</i> .....	65
<b>Figura 14:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente</i> .....	66
<b>Figura 15:</b> <i>Envolventes de presión para un régimen transitorio a partir de un tiempo de apertura de 4 segundos</i> .....	67
<b>Figura 16:</b> <i>Comportamiento del nudo “N4” en régimen permanente (Tiempo vs Presión)</i> .....	68
<b>Figura 17:</b> <i>Comportamiento del nudo “N4” en régimen transitorio (Tiempo vs Presión)</i> .....	68
<b>Figura 18:</b> <i>Dibujo del escenario 2 en Allievi</i> .....	70
<b>Figura 19:</b> <i>Envolventes de presión para un régimen permanente</i> .....	71

<b>Figura 20:</b> <i>Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de apertura de 8 segundos</i> .....	71
<b>Figura 21:</b> <i>Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de apertura de 8 segundos incorporando las válvulas de admisión de aire</i> .....	72
<b>Figura 22:</b> <i>Dibujo del escenario 3 en la interfaz de Allievi</i> .....	73
<b>Figura 23:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente del escenario 3.</i> .....	74
<b>Figura 24:</b> <i>Envolvente de alturas piezométricas en el Régimen Permanente</i> .....	75
<b>Figura 25:</b> <i>Gráfica caudal vs tiempo de la válvula de regulación para un cierre de 5 segundos</i> .....	76
<b>Figura 26:</b> <i>Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de cierre de 5 segundos</i> .....	76
<b>Figura 27:</b> <i>Dibujo del escenario 4 en Allievi</i> .....	78
<b>Figura 28:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente del escenario 4.</i> .....	79
<b>Figura 29:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Transitorio del escenario 4.</i> .....	80
<b>Figura 30:</b> <i>Comportamiento del nodo “N6” en régimen permanente</i> .....	81
<b>Figura 31:</b> <i>Comportamiento del nodo “N6” en régimen transitorio</i> .....	81
<b>Figura 32:</b> <i>Dibujo en la interfaz de Allievi del sifón 2</i> .....	82
<b>Figura 33:</b> <i>Perfil y válvulas de aire de la conducción del sifón 2</i> .....	83
<b>Figura 34:</b> <i>Dibujo del escenario 1 en Allievi</i> .....	84
<b>Figura 35:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente</i> .....	85
<b>Figura 36:</b> <i>Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de cierre rápido de 8 segundos</i> .....	86
<b>Figura 37:</b> <i>Dibujo del escenario 2 en Allievi</i> .....	87
<b>Figura 38:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente</i> .....	87

<b>Figura 39:</b> <i>Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de cierre de 20 segundos</i> .....	88
<b>Figura 40:</b> <i>Dibujo del escenario 4 en Allievi</i> .....	89
<b>Figura 41:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente</i> .....	90
<b>Figura 42:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen transitorio para la apertura de la válvula en la abscisa 4+200</i> .....	91
<b>Figura 43:</b> <i>Envolvente de Presiones en el Régimen Transitorio para la apertura de la válvula en la abscisa 8+800</i> .....	92
<b>Figura 44:</b> <i>Dibujo de del sistema integral del sifón 1 y sifón 2</i> .....	93
<b>Figura 45:</b> <i>Comportamiento del nudo “N2” en régimen permanente</i> .....	94
<b>Figura 46:</b> <i>Comportamiento del nudo “N4” en régimen permanente</i> .....	94
<b>Figura 47:</b> <i>Comportamiento del nudo “N2” en régimen transitorio</i> .....	95
<b>Figura 48:</b> <i>Comportamiento del nudo “N4” en régimen transitorio</i> .....	96
<b>Figura 49:</b> <i>Gráfica caudal vs tiempo de la válvula de regulación para un cierre de 5 segundos</i>	96

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1:</b> <i>Tiempos de cierre de 9 segundos sifón No. 1 Iñasari</i> .....	105
<b>Anexo 2:</b> <i>Tiempos de cierre de 100 segundos sifón No.1 Iñasari</i> .....	106
<b>Anexo 3:</b> <i>Tiempos de cierre de 300 segundos sifón No.1 Iñasari</i> .....	106
<b>Anexo 4:</b> <i>Tiempos de cierre de 8 segundos sifón No.2 Guanña</i> .....	107
<b>Anexo 5:</b> <i>Tiempos de cierre de 10 segundos sifón No.2 Guanña</i> .....	107
<b>Anexo 6:</b> <i>Tiempos de cierre de 100 segundos sifón No.2 Guanña</i> .....	108
<b>Anexo 7:</b> <i>Coordenadas UTM del tramo Pinllo – Gutún</i> .....	108
<b>Anexo 8:</b> <i>Coordenadas UTM del emplazamiento y fin del sifón 1 y sifón 2</i> .....	108
<b>Anexo 9:</b> <i>Coordenadas UTM de los accesorios existentes en la conducción del sifón</i> .....	108
<b>Anexo 10:</b> <i>Coordenadas UTM de los accesorios existentes en la conducción del sifón 2</i> .....	109

## INTRODUCCIÓN

En el cantón Sígsig perteneciente a la provincia del Azuay, se lleva a cabo la construcción de dos sifones invertidos, los cuales parten de un tanque de distribución de caudales ubicado en Pinllo sector San Antonio de la parroquia Chuchil, la caja de carga ubicada en Pinllo, considerada como abscisa cero hasta la abscisa 3+200 formada por una matriz de tubería pvc. A partir de este punto se emplaza el sifón 1, hasta el sector Iñasari; y el sifón 2 que se dirige hacia el sector Guanña, comunidades de la parroquia San Bartolomé.

Estos sifones atraviesan la depresión topográfica que produce el río Bolo que deposita el agua en el río Santa Bárbara para el cruce de agua de riego. La correcta operación de los sifones es fundamental para satisfacer las necesidades de agua de riego a las comunidades de Iñasari, Rumipamba, Taguan y Guanña. Por lo tanto, en este estudio, se llevará a cabo un análisis del funcionamiento óptimo de los sifones 1 y 2, teniendo en cuenta su operación bajo altas presiones y la integridad de los materiales empleados.

El presente estudio, centrado en la "Evaluación de la Operación del Sifón Pinllo Iñasari – Guanña del Sistema de Riego Cerro Negro Churuco", busca abordar estos desafíos. A través de un enfoque analítico y predictivo, se pretende identificar posibles puntos críticos de los sifones mediante simulaciones de diferentes escenarios a los cual se podría enfrentar las conducciones de los sifones y proponer estrategias para prevenir y gestionar fallos en el sistema. De igual importancia es garantizar la continuidad del suministro de agua a las comunidades del cantón, evitando futuros inconvenientes que puedan afectar su abastecimiento.

Además, como resultado de esta evaluación, se plantean recomendaciones y directrices para la correcta operación y mantenimiento de los sifones. Estas pautas se convertirán en una herramienta para asegurar la eficiencia a largo plazo de la infraestructura, maximizando su beneficio para la comunidad y minimizando los costos de reparación y reemplazo.

## CAPÍTULO 1. INFORMACIÓN GENERAL

### 1.1 Antecedentes

Los antecedentes de la presente investigación están marcados por proyectos similares que han abordado los desafíos relacionados con el suministro de agua de riego en zonas geográficamente desfavorecidas. Un caso relevante es el estudio llevado a cabo por (Mendez Inga, 2020) titulado "Diseño hidráulico del sifón invertido en la progresiva 6+360 Km del canal Ishinca con fines de irrigación – Distrito de Tarica- Huaraz." En esta investigación, se abordó la problemática del desabastecimiento de agua de riego en la zona de Canishpamba, ubicada en el Distrito de Tarica, Huaraz.

La localización y morfología de Canishpamba la posicionaban en un lugar remoto y distante de los canales de riego existentes, lo que dificultaba el acceso a una fuente de agua para la agricultura, como se muestra en la figura 1 el relieve de la zona de estudio. Para resolver este desafío, el estudio de Méndez Inga propuso y desarrolló el diseño hidráulico de una infraestructura que permitiera la conducción eficiente del recurso hídrico. Se consideró un caudal de 109 litros por segundo (l/s) del agua disponible en el canal de riego Ishinca, y se implementó un sifón invertido para transportar este caudal desde el canal hasta la zona de Canishpamba.



**Figura 1:** *Relieve de la zona de riego de Canishpamba.*  
**Fuente:** (Mendez Inga, 2020)

Del mismo modo, un estudio similar que se enfoca en la evaluación del comportamiento hidráulico del tramo "Tanque de Carga - Tanque Chone" del Sistema Regional de Agua Potable de Esmeraldas y su zona de influencia, abordando específicamente los efectos del golpe de ariete. En dicho estudio, se consideraron tanto los estados de flujo permanente como no permanente para comprender integralmente el funcionamiento hidráulico del sistema. La investigación resalta la importancia de analizar estos fenómenos hidráulicos para garantizar un suministro eficiente y seguro de agua potable, y destaca la relevancia de implementar medidas preventivas y correctivas para mitigar los impactos del golpe de ariete en la infraestructura de distribución de agua. Asimismo, se emplearon herramientas de modelado hidráulico para simular diversos escenarios operativos y evaluar el rendimiento del sistema frente a condiciones variables, proporcionando recomendaciones prácticas para mejorar su operación y mantenimiento. Este antecedente establece un marco contextual y metodológico que puede ser útil para la investigación propuesta, brindando información relevante sobre la aplicación de herramientas de modelado hidráulico en el análisis del comportamiento de sistemas de conducción de agua (Ávila, 2018).

Adicionalmente, (Montalvan, 2021) realizó un estudio sobre la modelación numérica del flujo y comportamiento del Sifón Piura utilizando Ansys. Este estudio combinó modelos numéricos y físicos para entender el comportamiento del flujo de agua y optimizar el diseño hidráulico de la estructura. Se utilizaron planos de la estructura, datos históricos, aforos de campo y cálculos matemáticos como base para la construcción de un modelo numérico utilizando el programa de modelación Ansys. Los resultados obtenidos mediante la simulación en Ansys permitieron observar zonas del sifón que eran inaccesibles y analizar parámetros del flujo de agua, como caudal, velocidad y pérdidas hidráulicas.

Finalmente, (Sánchez, 2020) realizó una investigación sobre la optimización del sifón para riego del Barrio Salazar Gómez, Sector 2. La principal problemática identificada se centra en la ineficiencia del sifón actual, que no optimiza el uso del agua para el riego en el Barrio Salazar Gómez, Sector 2. Se observan pérdidas de agua significativas debido a fugas y desgastes en la estructura del sifón, así como una distribución irregular del agua que no alcanza a cubrir adecuadamente las áreas de cultivo. Para abordar esta problemática, se llevaron a cabo diferentes estudios y análisis, incluyendo inspecciones del sifón, mediciones de caudal, evaluaciones del sistema de riego y análisis de costos. Los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras propuestas fueron significativos, logrando una reducción del 30% en las pérdidas de agua y un aumento del 20% en la cobertura de riego en comparación con el sistema anterior.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar la operación del sifón Pinllo Iñasari-Guanña del sistema de riego Cerro Negro Churuco, del cantón Sígsig, aplicando el software Allievi, buscando un funcionamiento apropiado del sistema.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar datos sobre los accesorios existentes en el área de estudio, tales como tanques de carga, válvulas purga, válvulas de aire, válvulas control golpe de ariete, y cualquier elemento relevante para su posterior integración en el software Allievi.
- Simular diversos escenarios operativos del sifón, tomando en cuenta los accesorios ya existentes en la conducción e incorporando otros posibles elementos.
- Identificar posibles mejoras o modificaciones en el diseño y funcionamiento del sifón, considerando los accesorios óptimos en sistema.

### **1.3 Planteamiento del Problema y formulación del problema**

En las comunidades Iñasari, Rumipamba, Taguan y Guanña del cantón Sígsig de la provincia del Azuay pertenecientes a la provincia del Azuay cantón Sígsig enfrentan a un grave desabastecimiento de agua para la irrigación de cultivos, lo que constituye una problemática de gran envergadura para los habitantes de estas localidades. La carencia de acceso a fuentes hídricas adecuadas limita considerablemente la capacidad de cultivar productos agrícolas y llevar a cabo actividades ganaderas, que son las principales fuentes de ingresos para las comunidades. Esta situación tiene un impacto significativo en la economía local, ya que la imposibilidad de realizar estas actividades reduce los ingresos de las familias que dependen de la agricultura y la ganadería. La escasez de agua no solo afecta la producción de alimentos, sino también la calidad de vida de los habitantes, al limitar sus oportunidades de empleo y desarrollo económico.

Una de las causas fundamentales de este desabastecimiento es la ubicación geográfica y la morfología de estas comunidades. Las fuentes de agua disponibles no permiten una aplicación inmediata del agua para la irrigación de tierras, ya que se encuentran en zonas elevadas o distantes de las áreas de cultivo. Esto genera la necesidad de encontrar soluciones eficientes para transportar y distribuir el agua de manera efectiva.

Para solucionar la falta de agua en los sectores mencionados, el departamento de riego de la prefectura del Azuay, presentó el proyecto de construcción del sistema de riego Cerro Negro ante el Senagua, el mismo que fue aprobado y entregado el financiamiento pertinente. El proyecto atenderá las parroquias de Iudo, la cual ya está con el agua y parroquias San Bartolomé y San Juan del cantón Gualaceo.

## 1.4 Justificación

En el Ecuador es común el problema de desabastecimiento de recursos hídricos en zonas que se encuentran en cotas elevadas, ya que están fuera del alcance de canales de riego o abastecimientos de agua para consumo humano. Las comunidades de Iñazsari, Rumipamba, Taguan y Guanña, pertenecientes al cantón Sígsig, no son ajenas a esta problemática, ya que su geografía y relieve dificultan la aplicación eficiente de agua de riego. En muchas ocasiones, estas zonas se encuentran fuera del alcance de canales de riego tradicionales o de sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano.

El desarrollo de infraestructuras hidráulicas se convierte en una solución ineludible para facilitar la entrega de agua y satisfacer las necesidades básicas de los habitantes. Estas necesidades incluyen la capacidad de cultivar alimentos, desarrollar actividades económicas relacionadas con la agricultura y ganadería, y mejorar la calidad de vida en general.

La investigación propuesta se enfoca en garantizar el correcto funcionamiento de la obra hidráulica, lo que permitirá resolver las necesidades de abastecimiento de agua de riego de las comunidades del cantón. Esto, a su vez, les brindará la tranquilidad y la seguridad de poder llevar a cabo sus actividades diarias sin preocupaciones ni interrupciones. Además, al evaluar en detalle los componentes de los sifones, se podrá proporcionar recomendaciones prácticas a los operadores, asegurando un manejo adecuado de la infraestructura y previniendo posibles errores de operación o bloqueos que puedan afectar la entrega de agua.

La aplicación del software Allievi en esta investigación ofrece una herramienta eficiente para simular diferentes escenarios y evaluar el impacto de cambios en el diseño y la operación del sistema. Esto facilitará la optimización de parámetros hidráulicos vitales, como el diámetro de la tubería, la ubicación de las válvulas y otros aspectos críticos del sistema, contribuyendo así a una gestión más eficiente y efectiva del agua.

Además, los hallazgos y resultados de esta investigación servirán como un aporte a futuros estudios de la misma índole, centrados en el correcto funcionamiento de obras hidráulicas similares. Estos sifones desempeñan un papel crucial en la provisión de agua a comunidades ubicadas en cotas elevadas, aprovechando las depresiones topográficas del terreno. Contribuir a la comprensión y mejora de estas infraestructuras es fundamental para garantizar el acceso sostenible al agua en regiones que dependen de ellas.

Por otra parte, es importante destacar que la organización social en los sistemas de riego puede ser precaria en muchos casos. A pesar de contar con estatutos y reglamentos que establecen derechos y obligaciones, la falta de conciencia y compromiso por parte de los usuarios a menudo dificulta su cumplimiento. Esta falta de concienciación y participación activa puede llevar a la fragilidad de la estructura organizativa de los sistemas de riego, lo que a su vez puede contribuir al colapso de estos sistemas, incluso cuando cuentan con bases legales y normativas sólidas.

## **1.5 Descripción del sistema de riego**

### **1.5.1 Condición del sector**

Las comunidades de Iñasari, Rumipamba, Taguan y Guanña actualmente dependen de sistemas de riego que no son suficientes para atender las necesidades de sus pobladores, en la tabla 1 se muestra los diferentes sistemas de riego existentes para la parroquia. A esta situación se suma el hecho de que el proyecto de sistema de riego Cerro Negro Churuco más significativo en la parroquia San Bartolomé aún no se encuentra en funcionamiento. Este sistema de riego, cuando esté operativo, se espera que proporcione el suministro de agua necesario para la irrigación de las comunidades de estudio, lo que representa una oportunidad significativa para mejorar la disponibilidad de agua en la parroquia (PDOT-Sígsig, 2015).

**Tabla 1:** *Sistemas de riego, áreas y población beneficiada*

Fuente:(Martínez, 2012)

<b>NOMBRE DEL SISTEMA</b>	<b>AREA DE RIEGO</b>	<b>No. SOCIOS</b>	<b>POBLACIÓN BENEFICIADA</b>	<b>AREA DE INFLUENCIA</b>	<b>LONGITUD KM</b>
CERRO NEGRO AVIS CHURUCO	2.000,00	1.000	5.000	CERRO NEGRO	58,00
THARAZHA, PIZATA Y GUAVISAY	19,07	25	100	TURAZHA, PIZATA Y GUAVISAY	4,50
RUIZHO	25,00	55	275	RUIZHO	2,5
GUANÑA TIGAPAL		130	650	GUANÑA TIGAPAL	
YANALLPA	12	12	60	YANALLPA	1
IÑASARI	20	35	175	IÑASARI	2,8
SAN BARTOLOME	90	35	175	SAN BARTOLOME	
TAMBILLO SIGSIG LLANO	50	57	285	SIGSIG LLANO	4
GUANÑA CENTRAL	20	80	400	ZHAMAR	3
GUATICZHA	30	40	200	TAGUAN	3
TUNZHUN	8	18	90	TUNZHUN	1,50
PAMAR CHACRIN	6	69	345	PAMAR CHACRIN	2,50
CULLIZHUNASTE	10	40	200	NUYUZHCA YANALLPA	2
ARUC	22.92	75	375	SAN BARTOLOME	3
NAUCHUN				NAUCHUN	
<b>TOTALES</b>	<b>2.312,99</b>	<b>1.671</b>	<b>8.330</b>		

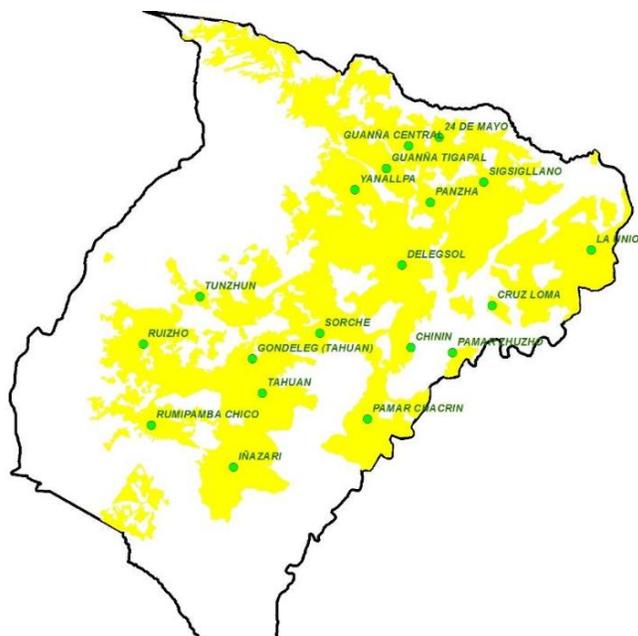
### 1.5.2 Población beneficiada

El sistema de riego tendrá un impacto positivo en un conjunto de 1800 habitantes, quienes se encontrarán distribuidos en 360 usuarios. De esta manera, se le proporcionará acceso a una fuente confiable de agua para sus necesidades agrícolas y consumo, lo que se traducirá en una mejora significativa en su calidad de vida (PDOT-Sígsig, 2015).

### 1.5.3 Área proyectada irrigada

La región destinada para la irrigación abarca aproximadamente 180 hectáreas, incluyendo las áreas correspondientes al Sifón 1 y Sifón 2, las cuales son cruciales debido a la escasez de fuentes de agua en la parroquia. En la figura 2 se plasman los cultivos más destacados de la región,

donde, se encuentran el maíz y la papa. El maíz-frejol, siendo el cultivo principal, se destina tanto al autoconsumo como a la alimentación de animales menores.



**Figura 2:** Cultivos en la parroquia San Bartolomé  
Fuente: (IEE, 2013)

Estas áreas de cultivo se sitúan a altitudes que oscilan entre 2600 y 3000 metros sobre el nivel del mar. El cultivo de maíz-frejol abarca una extensión de 896.73 hectáreas, representando el 24.93% de la superficie total de la parroquia (PDOT-Sígsig, 2015).

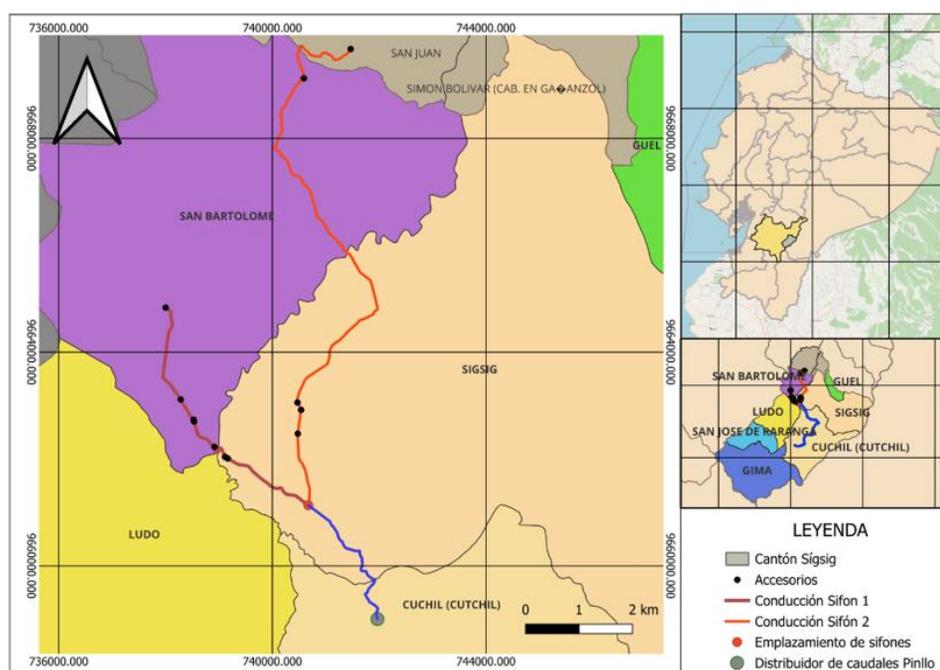
#### 1.5.4 Localización

La parroquia San Bartolomé limita al norte con la parroquia de San Juan perteneciente al cantón Gualaceo, al sur con la parroquia Jima y Ludo perteneciente al cantón Sígsig, al este con la cabecera cantonal de Sígsig, al oeste con la parroquia Santa Ana y Quingeo, perteneciente al cantón Cuenca. Esta localizado a 30 km de distancia por el anillo vial Valle, Santa Ana, Bella Unión, el cruce de Quingeo, también está conectado por la vía Cuenca, Gualaceo, Chordeleg, la unión del Sígsig, San Bartolomé. Finalmente, existe otra vía alterna por Gualaceo San Juan Disha San

Bartolomé. Su extensión territorial es aproximadamente de 36 km<sup>2</sup>, su altitud esta aproximadamente entre los 2790 msnm, y su clima fluctúa entre los 17° y 20° C (PDOT, 2015).

El sistema de riego Cerro Negro se abastece de agua desde el pajonal, aprovechando el cauce de la quebrada Chaulla y reservorios en Cerro Negro, extendiéndose hasta el área de Pinllo, donde se localiza el punto de distribución de caudales. Esta red hidráulica se extiende a lo largo de aproximadamente 16 kilómetros. Los sifones, elementos que transportan del agua, tienen su punto de partida en un tanque distribuidor de caudales situado en Pinllo, específicamente en el sector San Antonio de la parroquia Chuchil con coordenadas geográficas de 741919.00 E y 9659008.00 S.

El sifón 1 comienza en el tanque distribuidor de caudales ubicado en Pinllo, extendiéndose hasta la comunidad de Iñasari, ubicada en las coordenadas 737982.00 E y 9664837.00 S. De manera similar, el sifón 2 tiene su punto de inicio en el mismo tanque distribuidor en Pinllo y finaliza en la comunidad de Guanña, situada en las coordenadas 740628.00 E y 9669123.00 S. La disposición de estos sifones se representa en la figura 3, que ilustra la trayectoria de conducción tanto del sifón 1 como del sifón 2.



**Figura 3:** Localización Geográfica del distribuidor de caudales Pinllo y la conducción del sifón 1 y 2

### **1.5.5 Definición de condiciones geomorfológicas del sector**

Según los datos proporcionados por el (IEE, 2013), el cantón Sígsig presenta una geología que abarca diversas litologías relacionadas con una serie de procesos geológicos, intrusivos, efectos de metamorfismo y la presencia de extensas secuencias volcánicas. Esta composición geológica se asocia tanto a eventos continentales como marinos. En el lado occidental del cantón, específicamente en la parroquia de San Bartolomé, existe un arco de islas que se originó durante el Jurásico Tardío. Este arco de islas forma parte del Terreno Alao, que tiene su origen en un entorno marino. Sin embargo, esta secuencia marina ha sido instruida por plutones relacionados con el Magmatismo Triásico-Jurásico, que forma parte del Terreno Loja de origen continental. Estas unidades litotectónicas están separadas por una falla conocida como el frente Baños, que tiene una orientación NE-SW. La topografía de esta región es notablemente irregular, con los relieves más elevados ubicados en las laderas exteriores de la Cordillera Real. Estos relieves presentan marcados desniveles y pendientes muy pronunciadas.

El cantón Sígsig también está influenciado por una actividad volcánica significativa en el período Terciario y Cuaternario. Predominan las composiciones de riolitas, andesitas y dacitas, que están asociadas con las formaciones geológicas de Saraguro, Nabón y Tarqui. Estas formaciones son el resultado de un volcanismo efusivo que ha dejado una marca distintiva en la geomorfología de la región. Los relieves y las vertientes superiores de esta zona interandina son el producto de grandes derrames volcánicos, cuyas características estructurales han influido en la diversidad de paisajes asociados a la Formación Tarqui y Nabón (Coronel Ramírez et al., 2015). Del mismo modo, presenta una compleja variedad de condiciones geomorfológicas y geológicas que influyen en su paisaje y geodinámica como se ilustra en la figura 4. A continuación, se describen estas condiciones:

**Diversidad Geológica:** El cantón exhibe una diversidad de litologías relacionadas con procesos geológicos, incluyendo intrusiones, metamorfismo y secuencias volcánicas. Estas litologías se relacionan tanto con eventos continentales como marinos, lo que demuestra una compleja historia geológica (PDOT-Sígsig, 2015).

**Formación de Arco de Islas:** En la parroquia de San Bartolomé, en el lado occidental del cantón, se originó un arco de islas durante el Jurásico Tardío. Este arco forma parte del Terreno Alao, que tiene un origen marino, aunque influenciado por plutones relacionados con el Magmatismo Triásico-Jurásico del Terreno Loja de origen continental. La presencia de esta formación impacta en la geología de la región (PDOT-Sígsig, 2015).

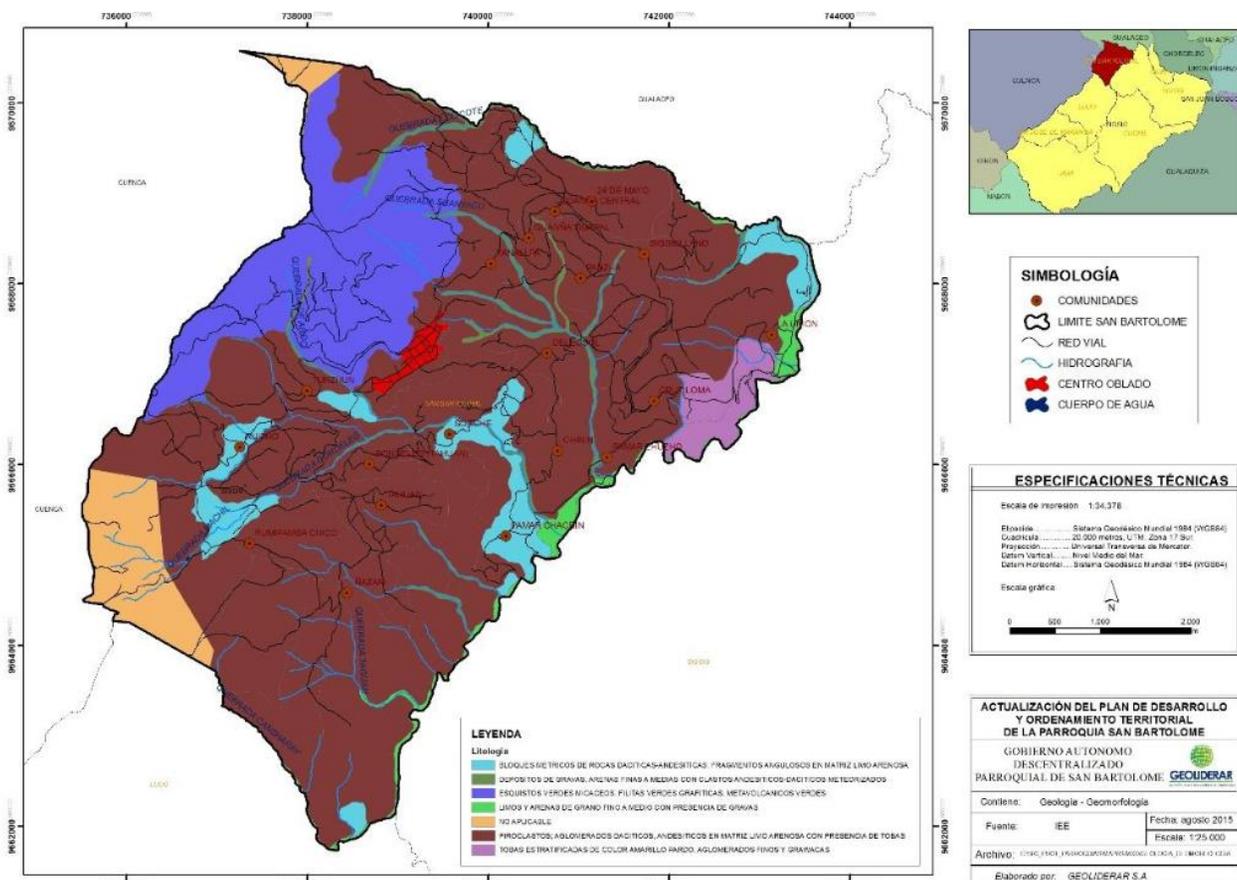
**Estructura Tectónica:** Una falla conocida como el frente Baños, con una orientación NE-SW, separa las unidades litotectónicas en la zona. Esta estructura tectónica influye en la configuración geológica y topográfica. (PDOT-Sígsig, 2015)

**Actividad Volcánica:** La actividad volcánica ha sido significativa en el cantón en el período Terciario y Cuaternario, dando lugar a composiciones de riolitas, andesitas y dacitas asociadas con formaciones geológicas específicas, como Saraguro, Nabón y Tarqui (PDOT-Sígsig, 2015).

**Topografía Irregular:** La topografía del cantón Sígsig se caracteriza por su irregularidad, con relieves más altos en las laderas exteriores de la Cordillera Real. Estos relieves presentan pendientes pronunciadas y desniveles notables, lo que afecta la distribución y el flujo del agua (PDOT-Sígsig, 2015).

**Depósitos Superficiales:** En la región se encuentran diversos tipos de depósitos superficiales datados del Holoceno, incluyendo depósitos aluviales, coluvio-aluviales y coluviales, que rellenan valles y cuencas hidrográficas (PDOT-Sígsig, 2015).

**Unidades Geomorfológicas:** Diversas unidades geomorfológicas, como el Relieve Colinado Volcánico Muy Alto, Alto, Medio y Bajo, así como Coluvión Antiguo, Terrazas y Valles Fluviales, están presentes en el cantón y se asocian con los procesos geológicos y topográficos mencionados (PDOT-Sígsig, 2015).



**Figura 4: Estructura geomorfológica**  
**Fuente: (IEE, 2013)**

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Transitorios hidráulicos**

Los fenómenos transitorios se refieren a cambios no permanentes en las condiciones definitorias del flujo, como la presión (P), la velocidad (V) o el caudal (Q), y son críticos para el correcto funcionamiento y la integridad de los sistemas hidráulicos. En este marco teórico, se abordarán los conceptos relacionados con los transitorios hidráulicos y su importancia en la operación de los sifones que servirán al sistema de riego (Abreu J., Cabrera E. Espert V., B., 2016).

#### **2.1.1 Régimen Hidráulico**

Tradicionalmente, los flujos hidráulicos se clasifican en función del tiempo en dos categorías principales: régimen hidráulico permanente y régimen hidráulico transitorio. El régimen hidráulico permanente, también conocido como estacionario, se caracteriza por tener variables definitorias constantes (caudal, velocidad y presión) en todas las secciones de la tubería, y estas no dependen del tiempo. Por el contrario, un flujo es considerado transitorio cuando sus variables definitorias varían con el tiempo y no son constantes en cada sección de la tubería (Abreu J., Cabrera E. Espert V., B., 2016).

#### **2.1.2 Fenómenos Transitorios**

Un fenómeno transitorio en mecánica de fluidos ocurre cuando las condiciones definitorias y los parámetros del movimiento, como la presión, la velocidad o el caudal, experimentan variaciones en el tiempo. En el contexto de los sistemas hidráulicos, el caudal es una variable fundamental, dado que es el resultado de la velocidad multiplicada por la sección transversal, y su ventaja radica en que permanece constante en cualquier punto de la tubería a pesar de las fluctuaciones en el área de la sección del conducto y/o la velocidad del fluido (Abreu J., Cabrera E. Espert V., B., 2016).

Un cambio brusco en el caudal y, por ende, en la presión en un flujo transitorio, se conoce como "Golpe de Ariete". Este fenómeno puede tener repercusiones significativas en la integridad de las tuberías y otros componentes del sistema hidráulico.

### **2.1.3 Factores que Gobiernan la Respuesta de un Sistema en Transitorio**

La respuesta dinámica de un sistema hidráulico ante una situación brusca que lo aleja de su estado de equilibrio en flujo permanente se rige por tres factores principales:

- **Compresibilidad del fluido y la tubería:** La compresibilidad del fluido y la tubería se manifiesta a través de sus respectivos módulos elásticos, lo que afecta la capacidad del sistema para adaptarse a cambios en las condiciones.
- **Fuerzas de inercia:** Las fuerzas de inercia son responsables de la resistencia al cambio de movimiento del fluido y la tubería.
- **Disipación energética debida a la fricción:** La fricción en las tuberías juega un papel importante en la disipación de energía en el sistema, lo que puede influir en la respuesta transitoria (Abreu J., Cabrera E. Espert V., B., 2016).

### **2.1.4 Tipos de Transitorios**

Según la velocidad de cambio en los parámetros definitorios del flujo, se pueden distinguir tres tipos de transitorios:

- **Transitorio Cuasi-Estático o Lento:** En este tipo de transitorio, el cambio en las variables definitorias del flujo es lento o muy lento. Se estudia mediante la aplicación repetida y sucesiva del Modelo Estático por escalones incrementales finitos (Paredes Carmona & Aguilar Moreno, 1987).
- **Transitorios Rápidos:** Estos transitorios, también conocidos como oscilación en masa, se caracterizan por cambios rápidos en los parámetros que definen el flujo. El

Modelo Rígido se utiliza para abordar el estudio de estos transitorios (Paredes Carmona & Aguilar Moreno, 1987).

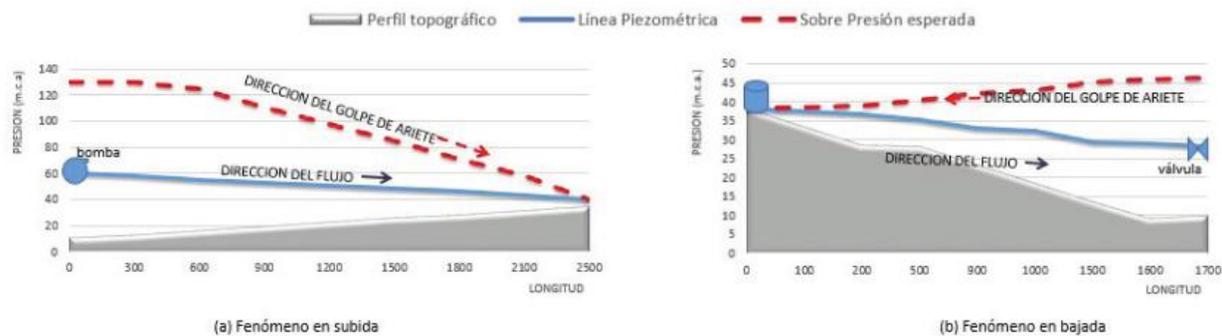
- Transitorios Muy Rápidos o Golpe de Ariete: Los transitorios muy rápidos, a menudo denominados Golpe de Ariete, se caracterizan por perturbaciones violentas en la presión. La respuesta a estos transitorios involucra tanto la compresibilidad del fluido como la respuesta elástica de la tubería, y se aborda mediante el Modelo Elástico(Paredes Carmona & Aguilar Moreno, 1987).

## **2.2 Análisis de ruptura de tubos**

### **2.2.1 Golpe de Ariete**

El fenómeno conocido como golpe de ariete, también denominado transitorio hidráulico, se origina debido a la variación de las presiones del agua, generada por el movimiento ondulatorio en el interior de una tubería o conducto. La magnitud de los incrementos de presión debe considerarse al dimensionar tuberías y conductos de flujos continuos, ya que el riesgo de roturas o colapsos es inminente. Este peligro se intensifica durante maniobras rutinarias, como detenimientos de fluido totales, donde se generan los golpes de ariete más intensos al transformar la energía de movimiento del líquido en energía de presión, la figura 5 describe el fenómeno del golpe de ariete (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s. f.).

El cálculo y estudio adecuado de este fenómeno son fundamentales para el diseño y dimensionamiento apropiado de las tuberías, evitando sobredimensionamientos innecesarios que encarecerían la construcción del proyecto o, en casos extremos, podrían provocar colapsos por roturas espontáneas debido a sobrepresiones no consideradas (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s. f.).



**Figura 5.** Descripción del golpe de ariete como aumento en la presión en la línea piezométrica.

**Fuente:** (Guevara-Rodríguez et al., 2021).

## Formulación del golpe de ariete

### Descripción del fenómeno de golpe de ariete en abastecimientos por gravedad

En abastecimientos por gravedad, la reducción abrupta de velocidad al cerrar una válvula provoca la detención brusca de la parte del fluido más cercana a la válvula. Esto genera una onda expansiva de compresión que se traslada hacia el origen de la conducción, convirtiendo la energía cinética en energía de presión. La descompresión subsiguiente crea un comportamiento oscilatorio, generando variaciones ondulatorias de presión que constituyen el fenómeno del golpe de ariete (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s. f.).

### Causas del golpe de ariete

El golpe de ariete se origina por variaciones abruptas de presión en un conducto a presión. Las principales causas incluyen operaciones de bombas (arranque y detenimiento) y operación de válvulas (apertura y cierre), donde las maniobras de detención brusca del flujo generan cambios súbitos en la presión del sistema, desencadenando el fenómeno del golpe de ariete (Navarra Plana & Martínez García, 2019).

## **Efectos producidos por el golpe de ariete**

Debido al repentino aumento de presión en un sistema de distribución de agua, se desencadena el fenómeno del golpe de ariete, resultando en efectos adversos para la tubería y el sistema en general. Estos efectos se detallan a continuación:

### **a) Vibraciones:**

La variación de presión generada en el sistema de agua provoca vibraciones que, en su mayoría, son absorbidas por las tuberías y accesorios cercanos al tramo afectado. Estas vibraciones debilitan la estructura global, disminuyen la resistencia, ocasionan agrietamientos en las paredes de la tubería y, consecuentemente, provocan fugas de líquido. Las vibraciones recurrentes pueden inducir inestabilidad en el terreno, interfiriendo con la cohesión del suelo y generando desplazamientos, hundimientos e inestabilidades que amenazan la integridad del proyecto (Parra & Patiño Jefe, 2021).

### **b) Falla y colapso de válvulas, bombas y accesorios:**

A pesar de que cada elemento en un proyecto de agua está diseñado para resistir una presión máxima específica con factores de seguridad, el aumento repentino de presión del golpe de ariete tiende a superar estos límites. Esto ocasiona fallas y daños en equipos y accesorios cruciales para el sistema. En tales circunstancias, se requieren reparaciones de emergencia o incluso la sustitución de componentes afectados, acciones que suelen implicar la interrupción del servicio de agua para la comunidad (Ortiz, 2006).

### **c) Colapso y rotura de tuberías:**

El escenario más crítico resulta en la rotura o colapso de un tramo de la tubería debido al golpe de ariete. Esto conlleva a la suspensión inmediata del servicio hasta que se resuelva el problema, lo cual a menudo implica el reemplazo del tramo afectado y prolonga la interrupción del suministro de agua para la comunidad. Este incidente no solo representa una emergencia operativa

sino también un costo económico considerable para la empresa si no se considera y calcula adecuadamente en el diseño del sistema (Ortiz, 2006).

### 2.2.2 Fundamentos teóricos del golpe de ariete: Ecuaciones y conceptos

Para abordar el cálculo del golpe de ariete, es esencial comprender que este fenómeno se manifiesta como una sucesión de ondas de presión. Iniciar el análisis y el cálculo del golpe de ariete implica la formulación de ecuaciones representativas de dicho fenómeno.

#### Velocidad de propagación para las ondas de presión.

**Ecuación 1:** *Ecuación general de la velocidad de onda*

$$c = \sqrt{\frac{g}{\gamma * \left( \frac{1}{Ev} + \frac{D}{e * E} \right)}}$$

Donde:

- Ev es el módulo de compresibilidad volumétrica del fluido.
- E es el módulo de elasticidad o módulo de Young del material.
- D es el diámetro interno de la tubería.
- e es el espesor de la tubería.

**Ecuación 2:** *Ecuación de la velocidad de onda para el agua.*

$$c = \frac{9.900}{\sqrt{48.3 + Ev * \frac{D}{e}}}$$

En la tabla 2 se muestra los módulos de elasticidad volumétrica de acuerdo a las temperaturas del medio (Ortiz, 2006).

**Tabla 2:** Módulos de elasticidad volumétricos en base a la temperatura del medio  
**Fuente:** (Ortiz, 2006)

TEMPERATURA °C	DENSIDAD DEL FLUIDO (Kg/m <sup>3</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDAD VOLUMÉTRICO (MPa)
0	1000.33	1981.62
5	1000.23	2050.29
10	1000.13	2109.15
15	999.44	2158.20
20	998.58	2107.44
25	997.38	2236.68
30	996.01	2266.11
35	994.44	2275.92
40	992.58	2285.73
50	988.46	2295.54

### Tiempo de propagación de la onda de presión

El tiempo que lleva la onda de presión desde el punto inicial del fenómeno hasta el inicio de la tubería y de regreso al punto de origen se determina mediante la ecuación:

**Ecuación 3:** Ecuación de tiempo de propagación de onda

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

Dónde:

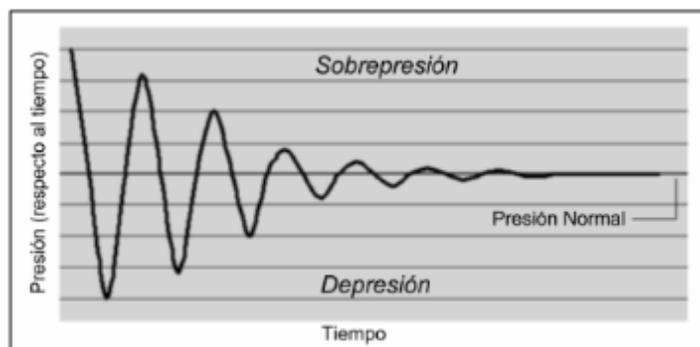
T<sub>cr</sub> = es el tiempo de propagación de la onda (s).

L = es la longitud de la tubería (m).

C = es la celeridad o velocidad de onda de presión (m/s).

Este tiempo, conocido como tiempo crítico o de fase, representa el instante en el cual la onda de presión se mantiene constante, siendo crucial para determinar el valor máximo del golpe

de ariete (Ortiz, 2006). Después de este periodo, la onda comienza a disminuir su magnitud, experimentando pérdidas de energía en función de la resistencia de la tubería como se visualiza en la figura 6.



**Figura 6:** Atenuación de ondas en el fenómeno del golpe de ariete  
*Fuente:* (Navarra Plana & Martínez García, 2019)

### 2.3 Válvulas hidráulicas para diferentes fines

Las válvulas hidráulicas desempeñan un papel esencial en sistemas de riego y en el control de flujo de líquidos en general. Estas válvulas, que varían en tipo y funcionalidad, son fundamentales para garantizar la operación eficiente de los sistemas de riego y otros sistemas hidráulicos. A continuación, se describen varios tipos de válvulas hidráulicas y sus funciones.

**Válvulas de aire:** Las válvulas de aire son dispositivos hidromecánicos que permiten controlar el ingreso y salida de aire en un sistema hidráulico. Su instalación es crucial para el control de la formación y acumulación de bolsas de aire, especialmente en los puntos altos de los sistemas de tuberías cuando operan a presión. Estas válvulas son eficientes en la conducción de agua a presión, ya que expulsan el aire interno de la tubería, manteniendo solo el fluido en su interior. Además, desempeñan un papel vital en el llenado y vaciado de tuberías, evitando problemas de presión negativa y succión en la tubería (Jaramillo Tello & Vásquez Witt, 2013).

Las ventosas, como componentes esenciales en sistemas de tuberías y conductos, desempeñan un papel vital en el control y mantenimiento de la presión hidráulica. Su capacidad

para ser de doble o triple acción, brindando alivio de presión, vacío y acción según sea necesario, les permite adaptarse a una variedad de situaciones y condiciones operativas. Estas características hacen que las ventosas sean una herramienta valiosa en la gestión de sistemas de fluidos, garantizando un funcionamiento eficiente y la integridad de las tuberías (Jaramillo Tello & Vásquez Witt, 2013).

**Válvulas distribuidoras:** Estas válvulas son esenciales para redirigir el flujo de agua hacia diferentes áreas o secciones del sistema de riego, garantizando una distribución equitativa del agua. Además, estas válvulas desempeñan un papel fundamental al permitir la selección precisa de áreas de riego y la optimización de los recursos hídricos en la agricultura moderna (Guevara-Rodríguez et al., 2021).

**Válvulas de cierre o bloqueo:** Controlan el flujo de agua en tuberías o canales específicos y son vitales para tareas de mantenimiento, reparaciones y control del flujo operativo. Estas válvulas son esenciales para garantizar un control total sobre el flujo de agua en el sistema de riego, lo que facilita las operaciones de mantenimiento, así como la gestión de la distribución del agua en tiempo real (Rovira et al., 2017).

**Válvulas reguladoras de caudal:** Mantienen un caudal constante en el sistema, independientemente de las variaciones de presión o demanda, lo que optimiza la eficiencia del riego (Curillo et al., 2016). Estas válvulas desempeñan un papel crítico en la agricultura al garantizar que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua, lo que contribuye a una producción agrícola sostenible.

**Válvulas de presión:** Controlan y mantienen la presión en el sistema de riego, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro (Curillo et al., 2016). La regulación precisa de la presión del agua es esencial para prevenir daños en el sistema y garantizar que los componentes del riego funcionen de manera óptima

**Válvulas de control de presión:** Monitorean y regulan la presión del agua en puntos específicos del sistema para mantenerla dentro de valores preestablecidos (Curillo et al., 2016). Estas válvulas son cruciales para garantizar una presión constante en áreas específicas del sistema, lo que es esencial para un riego uniforme y eficiente.

**Válvulas de control de flujo:** Permiten ajustar el flujo de agua en tuberías o canales según sea necesario, optimizando el rendimiento del sistema (Curillo et al., 2016). Estas válvulas son fundamentales para adaptar la distribución de agua a las necesidades cambiantes de riego en diferentes momentos y áreas.

**Válvulas direccionales:** Controlan la dirección del flujo de agua, permitiendo redirigir el agua hacia áreas específicas que requieren riego (Curillo et al., 2016). La capacidad de direccionar el agua de manera precisa es fundamental para la eficiencia y la economía de recursos en sistemas de riego modernos.

**Válvulas Check o de cierre:** Evitan el flujo inverso del agua, lo que es crucial para prevenir daños o fallos en el sistema de riego (Bastidas, 2011) Estas válvulas garantizan la integridad del sistema y protegen contra el flujo no deseado en direcciones no planificadas.

## **2.4 Materiales apropiados para sifones que trabajan a alta presión**

Los sifones son componentes esenciales en sistemas de riego y distribución de agua que trabajan bajo condiciones de alta presión. La elección de materiales adecuados para estos sifones es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente y duradero. A continuación, se describen los materiales metálicos y no metálicos que son apropiados para sifones que operan a alta presión:

### **2.4.1 Materiales Metálicos en Tuberías**

Los materiales metálicos tienen propiedades deseables para sifones que trabajan a alta presión, como resistencia mecánica y durabilidad. Estos son algunos de los materiales metálicos comunes utilizados en tuberías y sifones:

**El hierro fundido:** según (Paúl & Cañizares, 2013), el hierro fundido es una aleación que resulta de la combinación de hierro, carbono y otros elementos. Esta aleación posee una alta resistencia y dureza, lo que la hace adecuada para resistir tanto la presión como la abrasión. Esto la convierte en un material de elección para su utilización en aplicaciones que involucran el transporte de agua y sistemas de riego. La durabilidad inherente del hierro fundido lo hace especialmente adecuado para aplicaciones donde se necesita resistencia a largo plazo, como en redes de tuberías que suministran agua y gestionan sistemas de riego en condiciones diversas y a menudo desafiantes.

- Propiedades: Alta resistencia
- Hierro Fundido: resistencia al desgaste y a la corrosión.
- Clasificaciones según la norma ASTM: A 74, C 564, C 1277, C 1540.

**Hierro Dúctil:** El hierro dúctil es un material preferido en sistemas de conducto para el transporte de agua, gas y drenaje debido a sus notables propiedades de resistencia y su facilidad de manejo. Su ductilidad y resistencia a la corrosión lo convierten en una elección destacada en aplicaciones que antes empleaban hierro forjado. Este material es ampliamente utilizado en sistemas de acueducto, alcantarillado y riego, donde se requiere una tubería capaz de soportar las demandas de transporte de fluidos a lo largo del tiempo. Su durabilidad y flexibilidad lo convierten en un material esencial para la infraestructura de sistemas de distribución y evacuación de agua y otros líquidos (Paúl & Cañizares, 2013).

**Acero:** Los tubos de acero juegan un papel fundamental en sistemas hidráulicos y son componentes esenciales en diversas industrias. Estos tubos se clasifican según su número de cédula, que indica la presión permisible de operación. En muchas aplicaciones que involucran condiciones de alta presión, se emplean aceros aleados debido a su capacidad para proporcionar una resistencia adicional. Estos aceros aleados ofrecen una ventaja significativa en términos de integridad y

durabilidad en entornos exigentes. Su capacidad para soportar presiones considerables los convierte en una elección preferida en aplicaciones hidráulicas donde la resistencia y la fiabilidad son críticas para un rendimiento óptimo (Paúl & Cañizares, 2013).

**Acero Inoxidable:** Los tubos de acero inoxidable son componentes esenciales en una amplia gama de aplicaciones, incluidos los sistemas de sifones hidráulicos. Estos tubos se destacan por su notable resistencia a la corrosión, lo que los convierte en una elección preferida para aplicaciones que involucran el transporte de agua y fluidos en entornos desafiantes. La composición especial de acero inoxidable, que incluye cromo, níquel y otros elementos, confiere a estos tubos una capacidad sobresaliente para resistir la oxidación y la corrosión, incluso en presencia de sustancias químicas agresivas. Esta resistencia es fundamental para garantizar la integridad estructural y la longevidad de los sistemas de sifones hidráulicos, lo que, a su vez, contribuye a la eficiencia y fiabilidad de la operación del sistema. El uso de tubos de acero inoxidable en sistemas de sifones hidráulicos es una elección inteligente para mantener un flujo fluido y una operación sin problemas en una variedad de entornos industriales y aplicaciones de ingeniería civil (Cabrera et al., 2012).

**Níquel y sus Aleaciones:** El níquel y sus aleaciones desempeñan un papel fundamental en la industria de tuberías para sistemas de sifones hidráulicos. El níquel, por sí solo, es conocido por su destacada resistencia a la corrosión, lo que lo convierte en un material valioso en aplicaciones que involucran sustancias alcalinas y cáusticas. Estas características son particularmente importantes en entornos industriales y químicos donde las condiciones son rigurosas y las sustancias transportadas pueden ser altamente corrosivas. Sin embargo, lo que hace que el níquel y sus aleaciones sean aún más versátiles es su capacidad para resistir una variedad de temperaturas, lo que permite su uso en una amplia gama de aplicaciones que incluyen sistemas de sifones hidráulicos. La resistencia del níquel y sus aleaciones a la corrosión y a las condiciones adversas es un atributo esencial para garantizar la longevidad y el rendimiento óptimo de las tuberías

utilizadas en sistemas de sifones hidráulicos. Estas cualidades hacen que el níquel y sus aleaciones sean materiales confiables y duraderos en una variedad de aplicaciones industriales (Cabrera et al., 2012).

**Plomo y sus Aleaciones:** Las tuberías de plomo y sus aleaciones tienen aplicaciones particulares en la industria de sistemas de sifones hidráulicos, especialmente en situaciones que involucran la manipulación y el transporte de sustancias altamente corrosivas. El plomo, por sí mismo, es conocido por su resistencia a la corrosión en ambientes químicos específicos. Su composición única y su capacidad para resistir ciertas sustancias corrosivas hacen que sea una opción valiosa en aplicaciones específicas

En el caso de las aleaciones de plomo, como el plomo-antimonio, la incorporación de antimonio refuerza aún más la resistencia mecánica y durabilidad de estas tuberías (Paúl & Cañizares, 2013). El antimonio se combina con el plomo para mantener la integridad estructural de las tuberías bajo el estrés de operación en aplicaciones químicas rigurosas. Esta combinación de plomo y antimonio proporciona un sistema de transporte confiable y duradero para sustancias corrosivas en la industria química y otras aplicaciones específicas.

**Estaño y sus Aleaciones:** El estaño y sus aleaciones se utilizan en tuberías para sifones hidráulicos en aplicaciones que involucran el transporte de agua purificada y productos alimenticios debido a su excepcional resistencia química y su capacidad para mantener la calidad del fluido. La composición única de estaño, a menudo combinada con otros metales como el plomo o el antimonio en aleaciones, proporciona una excelente barrera contra la corrosión y garantiza que no se contaminen los líquidos transportados (Sánchez, 2020). Estas propiedades hacen que las tuberías de estaño sean esenciales en aplicaciones donde se requiere mantener la pureza del fluido transportado.

### 2.4.2 Materiales Plásticos en Tuberías

Los materiales plásticos se han convertido en una elección común en la fabricación de tuberías para sifones hidráulicos debido a su versatilidad y durabilidad. Polímeros como el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno) se utilizan ampliamente en sistemas de sifones para el transporte de agua y otros fluidos. Estos materiales plásticos son resistentes a la corrosión y a la abrasión, lo que los hace ideales para una variedad de aplicaciones en sistemas de riego y conducción de fluidos (López, 2013). Además, su ligereza y facilidad de instalación han contribuido a su popularidad en la construcción y el mantenimiento de sistemas de sifones hidráulicos. Algunos de los materiales plásticos comunes utilizados en sistemas de tuberías incluyen:

- El polietileno (PE): es una elección común en tuberías para sifones hidráulicos debido a su flexibilidad y alta resistencia a la corrosión. Este material es adecuado para el transporte de productos corrosivos y abrasivos.
- El cloruro de polivinilo (PVC): es ampliamente utilizado en sistemas de tuberías debido a su alta resistencia química, especialmente en aplicaciones que involucran agua y productos alimenticios.
- El cloruro de polivinilo clorado (CPVC): es similar al PVC, pero puede soportar temperaturas más altas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de agua de riego (Zhunio Vega, 2015).
- El polipropileno (PP): se destaca por su alta resistencia química y se utiliza en aplicaciones de drenaje químico y transporte de gas (Zhunio Vega, 2015).

## CAPÍTULO 3. MATERIALES, MÉTODOS Y APLICACIÓN

### 3.1 Factores en el estudio

En la evaluación de la operación del sifón Pinllo Iñasari – Guanña y su impacto en el sistema de riego Cerro Negro Churuco, se abordan varios factores interrelacionados que son esenciales para comprender y analizar su funcionamiento. Estos factores se consideran importantes en la investigación y se desglosan a continuación:

**Estructura del Sifón y Componentes:** La evaluación detallada de la estructura del sifón y sus componentes garantizan su correcto funcionamiento y durabilidad. La inspección puede abarcar desde la calidad de los materiales utilizados en la construcción del sifón hasta la integridad estructural de sus componentes. Los análisis de resistencia, durabilidad y eficiencia hidráulica son críticos para comprender cómo la estructura se desempeña bajo diferentes condiciones operativas.

**Hidrología Local:** La hidrología local desempeña un papel importante en la operación del sistema de riego, ya que determina la disponibilidad y la calidad del agua. Los aspectos hidrogeológicos, como la recarga de acuíferos y la disponibilidad de agua subterránea, deben ser examinados minuciosamente. Además, los patrones de flujo superficiales y la variabilidad meteorológica son elementos que afectan la cantidad y el flujo del agua disponible para el sistema de riego.

**Condiciones Ambientales:** Las condiciones ambientales locales, como la temperatura, la humedad y la exposición a la intemperie, pueden tener un impacto significativo en la vida útil y el rendimiento del sifón. Las fluctuaciones de temperatura, en particular, pueden causar tensiones en los materiales y componentes del sifón, lo que a su vez puede afectar su integridad estructural. La humedad y la exposición a la intemperie también deben ser consideradas, ya que pueden influir en la corrosión y la degradación de los materiales.

**Operación y Mantenimiento:** La forma en que se opera y se realiza el mantenimiento del sifón tiene un impacto directo en su rendimiento y durabilidad. Las prácticas de operación, como la

regulación de caudales y la respuesta a variaciones en la demanda, deben ser evaluadas. Además, los protocolos de mantenimiento, como la limpieza, la inspección y la reparación de posibles daños, garantizan que el sifón funcione de manera óptima. El análisis de registros históricos de operación proporciona información valiosa sobre el desempeño pasado y las áreas que requieren atención.

### **Software Allievi:**

Allievi se destaca como una herramienta ingenieril desarrollada y propiedad de la Universidad Politécnica de Valencia, diseñada especialmente para la evaluación de transitorios hidráulicos en sistemas tanto presurizados como a superficie libre. Reconocido por la precisión y confiabilidad de sus resultados, este software ha sido concebido para operar en el entorno del sistema operativo Windows, ofreciendo una interfaz gráfica intuitiva que incluye elementos como ventanas, cuadros de texto e íconos, entre otros.

La integración del software Allievi al estudio desempeña un papel fundamental al permitir el análisis de datos y la toma de decisiones fundamentadas. Es fundamental detallar los métodos específicos para utilizar el software, abarcando desde la entrada de datos hasta la generación de informes y la interpretación de resultados. El uso de Allievi posibilitará la realización de análisis avanzados y modelado que respalden la evaluación de la operación del sifón, proporcionando una comprensión profunda del comportamiento hidráulico del sistema.

**Sostenibilidad Ambiental:** La sostenibilidad ambiental es un factor importante a considerar en la operación del sistema de riego. Evaluar cómo el sistema de riego afecta el entorno circundante, incluyendo la calidad del suelo, el uso del agua y la flora y fauna locales, es esencial. Esto permitirá identificar medidas para minimizar cualquier impacto negativo y promover prácticas sostenibles en la agricultura y la gestión del agua.

**La geografía y la topografía:** son factores críticos que influyen en la operación del sifón y la distribución del agua. En este contexto, es importante considerar las características específicas de

la región. La topografía, incluyendo pendientes, altitudes y áreas de captación de agua, puede afectar significativamente la presión y el flujo de agua en el sistema de riego. Una topografía compleja podría requerir un diseño y operación más cuidadosos del sifón para garantizar que el agua llegue a su destino final con una distribución equitativa del agua.

## **3.2 Levantamiento de información in situ**

### **3.2.1 Revisión de información**

En el área del proyecto (Cantón Sígsig, parroquia San Bartolomé), se dispone únicamente de las cartas nacionales a una escala de 1:50,000. Como complemento a estas cartas nacionales, se empleó el programa SIG para llevar a cabo las investigaciones de campo relacionadas con el estudio.

Posteriormente, se llevaron a cabo las labores de levantamiento de información geográfica en la zona de emplazamiento de los dos sifones, así como en la tubería de la conducción principal existente y sus accesorios. Estas operaciones se realizaron utilizando coordenadas geodésicas del Sistema WGS 84, para una correcta ubicación espacial de los elementos estudiados.

### **3.2.2 Reconocimiento de campo**

Durante el desarrollo de la investigación, se realizaron visitas en terreno y se llevaron a cabo levantamientos in situ, con el objetivo de obtener planos de mayor detalle. Estos planos se convirtieron en una herramienta fundamental para la ubicación y análisis de los accesorios del sistema de riego en el área de estudio. Además, estas visitas en terreno fueron esenciales para la validación y cotejo de la información resultante del procesamiento de datos con la realidad del levantamiento del terreno.

El reconocimiento del área del proyecto es una etapa de importancia en el proceso de levantamiento de información, ya que sienta las bases para la obtención de datos esenciales sobre la zona del proyecto. Algunos de los aspectos clave que se abordan durante esta etapa son:

- La determinación del área aproximada que será irrigada por el proyecto.
- La estimación del trazado aproximado de los sifones hidráulicos.
- Levantamiento del emplazamiento de los sifones
- La identificación de las características del terreno, como cárcavas, rocas, puquiales, y otros elementos relevantes.
- Ubicación de accesorios que son parte de los sifones
- Perfil y planta de los sifones, con sus accesorios

### **3.2.3 Levantamiento de información**

Se realiza el levantamiento topográfico desde el distribuidor de caudales ubicado en Pinllo, hasta el lugar donde se depositará el agua para luego abarcar la conducción tanto del sifón 1 como del sifón 2. Para llevar a cabo este proceso, se emplea la tecnología RTK (Real-Time Kinematic), la cual se compone de una integración sinérgica entre el Sistema Leica RTK GNSS Base, Leica GNSS Rover y las controladoras Leica Geosystems, las cuales se ilustran en la figura 7. Esta implementación permite la ejecución de labores topográficas con una precisión elevada gracias a la solución RTK. Este método de posicionamiento se basa en la comunicación bidireccional a través de radiofrecuencia UHF, facilitada entre los receptores mencionados.



**Figura 7:** Sistema Leica RTK GNSS Base y Leica GNSS Rover

Durante el proceso de levantamiento de información, se lleva a cabo el seguimiento de la ruta que abarcan los sifones, desde su punto de origen en el distribuidor de caudales ubicado en Pinllo hasta el final de cada uno de ellos. Para el sifón 1, esta ruta incluye los puntos de paso por Pinllo, Yee, Tolapa, el río Pamar y finalmente Iñasari. En cuanto al sifón 2, la ruta abarca los siguientes puntos: Pinllo, Yee, Gutún, Cachi, Pamar, Delegsol, Sigsillano y Guanña.

Durante este seguimiento, se emplea un equipo topográfico RTK para registrar y documentar la trayectoria seguida en el terreno, así como para identificar y documentar los accesorios existentes a lo largo de la ruta.

#### **3.2.4 Procesamiento de información**

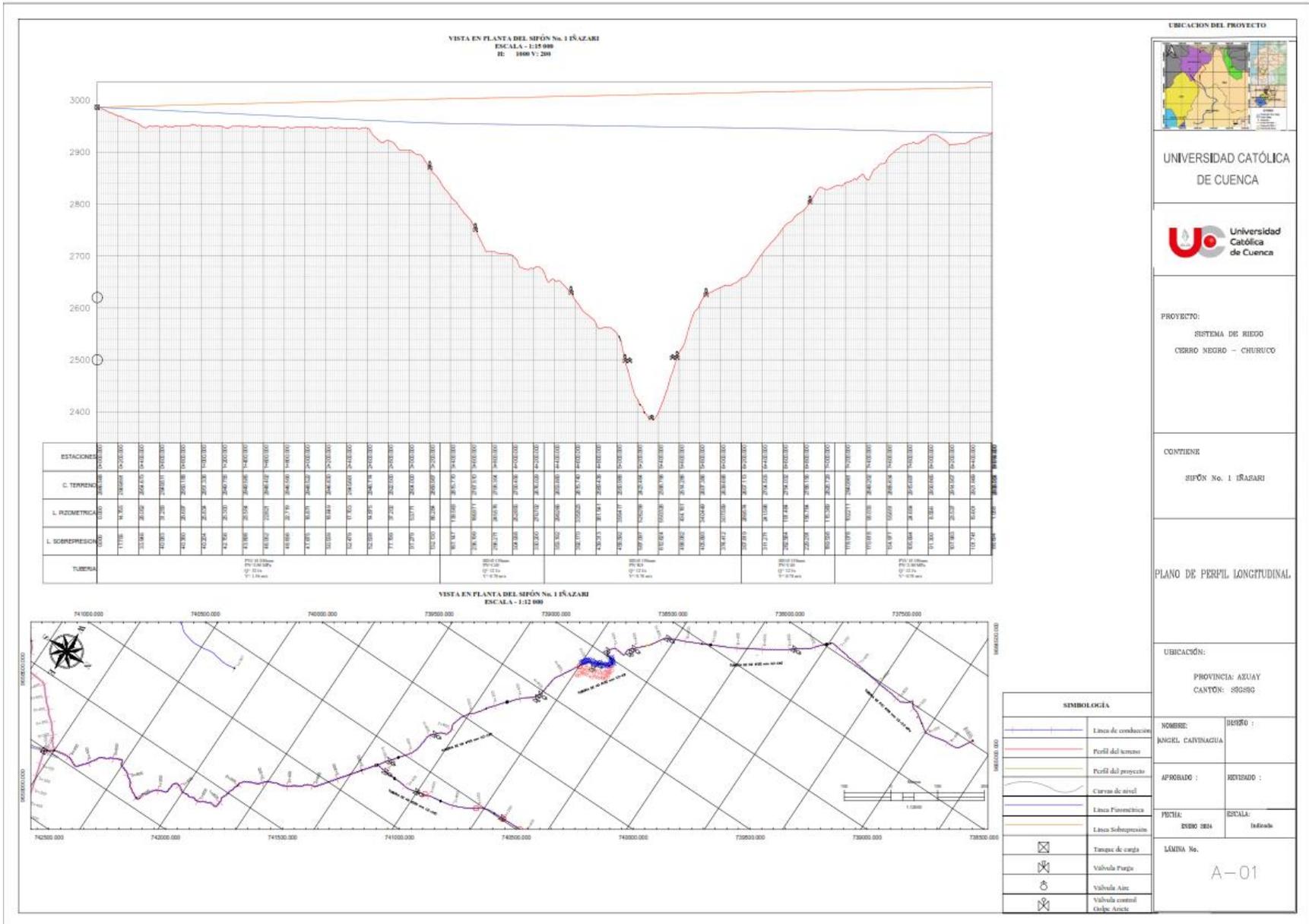
El procesamiento de la información recolectada en campo mediante el RTK, es transcendental para su posterior utilización en el software Allievi, y requiere una correcta organización. Los datos para el análisis en Allievi incluyen elevaciones, distancias, ordenadas y abscisas tanto de la conducción como de los accesorios.

La primera fase del procesamiento de la información mediante RTK implica la importación de los datos recopilados durante el levantamiento de campo al software Civil 3D. En esta etapa, se realiza la corrección de datos para abordar posibles inexactitudes originadas por factores como la calidad de la señal GPS, interferencias o errores humanos. Además, se generan los perfiles longitudinales correspondientes a los sifones 1 y 2.

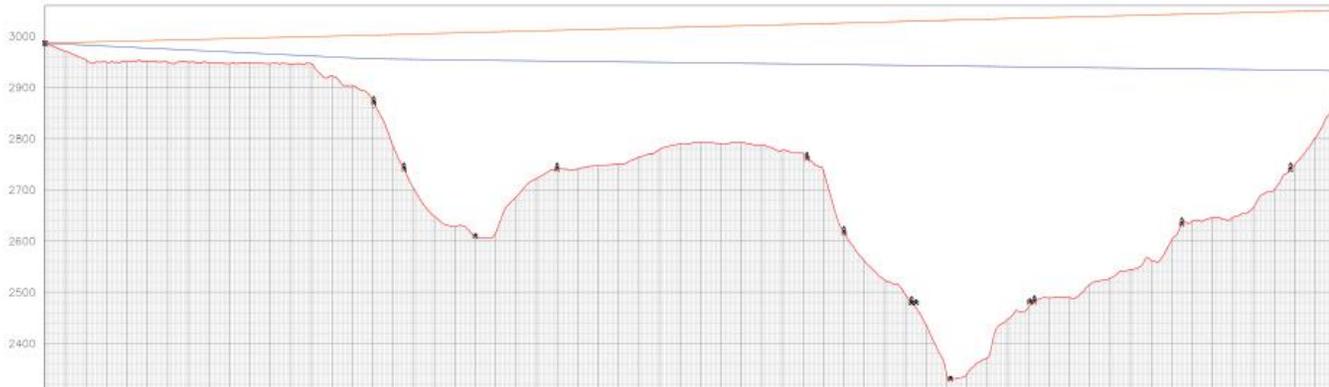
Posteriormente, los datos obtenidos en Civil 3D se exportan a Excel, facilitando la organización clara y accesible de la información para su integración en el software Allievi. Este proceso asegura la precisión y coherencia de los datos, preparándolos para su aplicación en el análisis.

### **3.2.5 Resultado de levantamiento de información**

Utilizando los datos recopilados en campo, se llevó a cabo la exportación a Civil 3D, donde se generaron los perfiles longitudinales de los sifones. Sin embargo, con el objetivo de lograr una apreciación más detallada de dichos perfiles, se decidió segmentarlos en dos perfiles. De esta manera, se obtuvo un primer tramo desde el tanque de carga ubicada en Pinllo hasta Iñasari y desde Pinllo hasta Guanña.

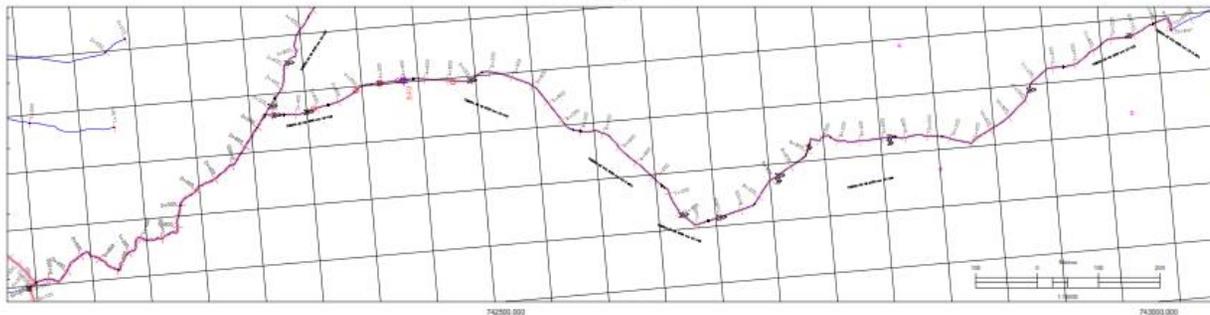


VISTA EN PLANTA DEL SIPÓN No. 2 GUANÑA  
 ESCALA - 1:20 000  
 H: 1000 V: 200



ESTACIONES	ESTACION	PARALELA
	11500	13.300
	12000	13.300
	12500	13.300
	13000	13.300
	13500	13.300
	14000	13.300
	14500	13.300
	15000	13.300
	15500	13.300
	16000	13.300
	16500	13.300
	17000	13.300
	17500	13.300
	18000	13.300
	18500	13.300
	19000	13.300
	19500	13.300
	20000	13.300
	20500	13.300
	21000	13.300
	21500	13.300
	22000	13.300
	22500	13.300
	23000	13.300
	23500	13.300
	24000	13.300
	24500	13.300
	25000	13.300
	25500	13.300
	26000	13.300
	26500	13.300
	27000	13.300
	27500	13.300
	28000	13.300
	28500	13.300
	29000	13.300
	29500	13.300
	30000	13.300

VISTA EN PLANTA DEL SIPÓN No. 2 GUANÑA  
 ESCALA - 1:10 000



SIMBOLOGÍA	
	Línea de conducción
	Perfil del terreno
	Perfil del proyecto
	Curvas de nivel
	Línea Planimétrica
	Línea Sobrepresión
	Tanque de carga
	Válvula Purga
	Válvula Aire
	Válvula control Caudal: Antic

UBICACION DEL PROYECTO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

PROYECTO:  
 SISTEMA DE RIEGO  
 CERRO NEGRO - CHURUICO

CONTIENE  
 SIPÓN No. 2 GUANÑA

PLANO DE PERFIL LONGITUDINAL

UBICACION:  
 PROVINCIA: AZUAY  
 CANTON: ISGUISG

NOMBRE: DANIEL CAYIBAGUA      DISEÑO: \_\_\_\_\_

APROBADO: \_\_\_\_\_      REVISADO: \_\_\_\_\_

FECHA: 02/05/2014      ESCALA: 1:10000

LÁMINA No. **A-02**

### **3.3 Herramientas informáticas para el análisis de transitorios en sistemas hidráulicos**

ALLIEVI, un software desarrollado por el ITA (Instituto Tecnológico del Agua) de la Universidad Politécnica de Valencia, tiene como objetivo simular y analizar los efectos del golpe de ariete en sistemas de conductos a presión. Este programa, creado a partir de la versión base diseñada por Edmundo Koelle en QuickBasic, permite la simulación de escenarios típicos en sistemas hidráulicos (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).

En sistemas de tuberías a presión, se utilizan válvulas para regular presión, velocidad y caudal. En operaciones rutinarias y de control, como arranque y detenimiento de bombas o apertura y cierre de válvulas, el golpe de ariete puede desarrollarse con mayor probabilidad. Este fenómeno representa un peligro para la integridad del sistema debido a cambios bruscos en la presión.

Los problemas derivados del golpe de ariete pueden abordarse mediante el fortalecimiento mecánico del sistema o diseñando protecciones adecuadas para atenuar las ondas de presión. ALLIEVI se destaca como un programa versátil que permite realizar simulaciones precisas y obtener resultados detallados, facilitando el análisis y diseño de sistemas hidráulicos en diversas fases del proyecto, desde el diseño hasta la verificación y operación (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).

#### **3.3.1 Principios teóricos y bases de cálculo en Allievi**

El software ALLIEVI se fundamenta en el método de las características para calcular y simular el fenómeno del golpe de ariete en sistemas de conductos o tuberías a presión. En este método, se modela la onda expansiva de presión que se desplaza a lo largo de la tubería mediante las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento aplicadas a un volumen de líquido. Estas ecuaciones resultan en un sistema de dos ecuaciones diferenciales parciales no lineales, expresadas en función de dos incógnitas: la altura piezométrica ( $H$ ) y la velocidad ( $V$ ),

ambas variables en función de las coordenadas espaciales (x) y el tiempo (t) (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).

**Ecuación 4:** Diferenciales parciales no lineales

$$H = H(x; t)$$

$$V = V(x; t)$$

El sistema de ecuaciones diferenciales parciales adopta la siguiente forma:

**Ecuación 5:** Sistema de ecuaciones para conductos a presión

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

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

El sistema de ecuaciones diferenciales no tiene una solución analítica, por lo que se adoptan condiciones iniciales y finales basadas en el tiempo y puntos específicos de la tubería. Esto da lugar a un sistema de dos ecuaciones algebraicas equivalentes con dos incógnitas. El Método de las Características, implementado por ALLIEVI, utiliza estas ecuaciones para calcular los valores de H y V en cualquier punto y momento del tramo de tubería, excepto en los extremos, donde se asumen condiciones de terminación o conexión con otros elementos (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).

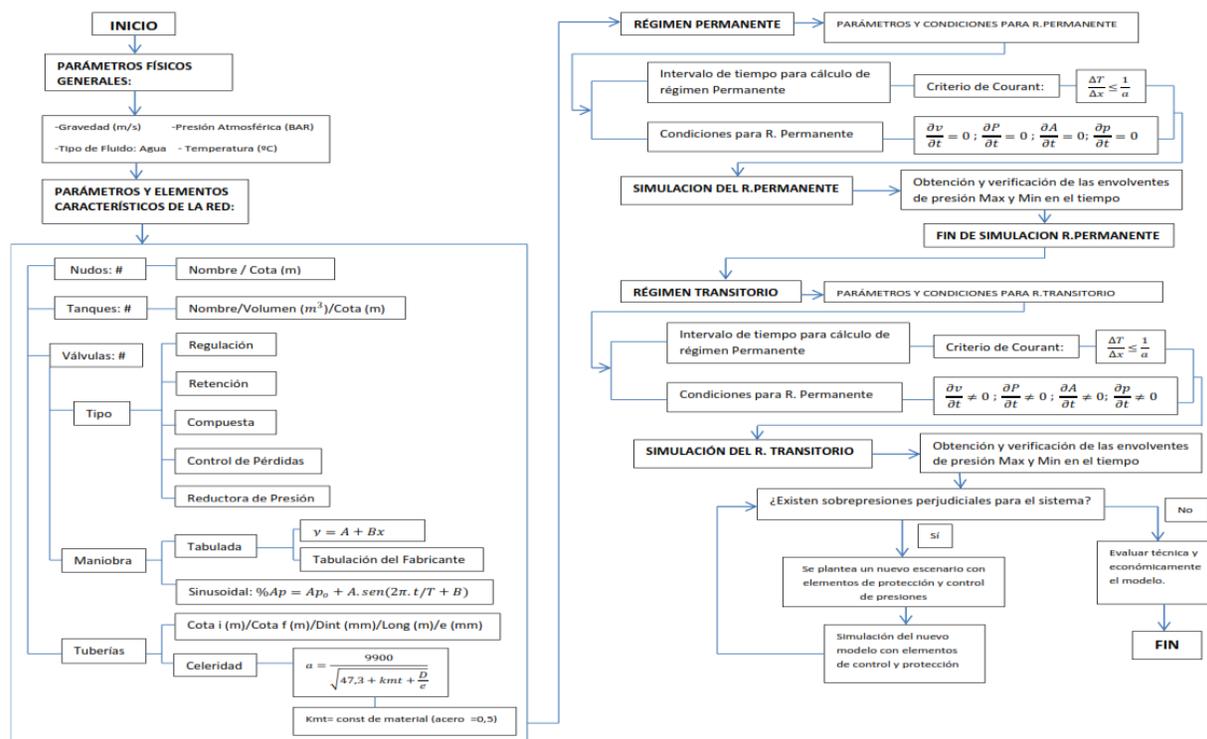
**Ecuación 6:** Ecuación del método de las características

$$H_i^{n+1} - H_{i-1}^n + \frac{a}{g} (V_i^{n+1} - V_{i-1}^n) + \frac{f_{i-1}^n \Delta x}{D} V_{i-1}^n |V_{i-1}^n| = 0$$

$$H_i^{n+1} - H_{i+1}^n + \frac{a}{g} (V_i^{n+1} - V_{i+1}^n) + \frac{f_{i+1}^n \Delta x}{D} V_{i+1}^n |V_{i+1}^n| = 0$$

Con base en estas ecuaciones, es posible calcular tanto el valor de la altura piezométrica (H) como el de la velocidad (V) en cualquier punto, denotado como (i), en cualquier instante de tiempo (n+1), a partir de las condiciones iniciales establecidas para los valores de (H) y (V) en cualquier punto. Este proceso, conocido como el Método de las Características, implica la aplicación de un sistema de dos ecuaciones algebraicas. Este método permite resolver el sistema para todos los puntos del tramo de la tubería en cuestión, a excepción de los puntos extremos, donde se asume que termina el tramo o se conecta con otro elemento, finalizando así los elementos diferenciales que lo componen. Por consiguiente, se observa que en los extremos puede faltar una ecuación, la cual puede ser sustituida por una ecuación o un conjunto de ecuaciones que representen el comportamiento esperado en ese punto específico. Estas ecuaciones adicionales se conocen como ecuaciones de contorno (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).

A través de la aplicación de los fundamentos teóricos y matemáticos, el programa ALLIEVI finalmente posibilita la realización de la simulación del fenómeno de golpe de ariete en sistemas a presión. Con el propósito de brindar una comprensión más clara, se presenta la figura 8 que ilustra el proceso de modelación llevado a cabo con el software. Este flujograma detalla los pasos para realizar el cálculo de cada parámetro necesario para ejecutar la simulación de los efectos transitorios en la conducción de los sifones (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).



**Figura 8:** Flujograma de cálculo para el software ALLIEVI  
**Fuente:** (Montes & Sabogal, 2019)

### 3.4 Operación de los sifones

La operación de sifones es un aspecto crítico en la gestión de sistemas de riego, ya que desempeñan un papel fundamental en el transporte eficiente del agua de un punto a otro, superando obstáculos topográficos, como colinas o depresiones.

**Principio de Funcionamiento de Sifones:** Los sifones son estructuras hidráulicas diseñadas para elevar y transportar agua sobre obstáculos topográficos. Operan aprovechando la diferencia de altura entre el punto de entrada y salida del agua, lo que permite el flujo continuo a través de una tubería sellada (Zubieta, 2013).

**Mantenimiento y Limpieza:** El mantenimiento regular y la limpieza de los sifones son esenciales para garantizar su operación eficiente. Los sedimentos y las obstrucciones pueden reducir

significativamente el rendimiento de un sifón y, por lo tanto, es necesario un programa de mantenimiento adecuado (Zubieta, 2013).

**Operación de válvulas:** En un sistema de riego, el empleo de válvulas es esencial para satisfacer requisitos, tales como la regulación del caudal transportado y la prevención de inversiones en el sentido del flujo en determinadas secciones del sistema. Además, se utilizan para absorber excesos de presión en el sistema. En términos generales, las válvulas proporcionan un control del flujo dentro del conducto y en muchos casos, estos accesorios deben cumplir la función de detener el flujo, dando lugar a variaciones en la presión y originando el fenómeno conocido como golpe de ariete (Moltavan, 2021).

### **3.5 Causas por las que ocurren sobrepresiones.**

Las sobrepresiones, también conocidas como transitorios de presión, son un fenómeno hidráulico crítico que puede ocurrir en sistemas de tuberías, incluyendo aquellos utilizados en sistemas de riego. Estas sobrepresiones pueden causar daños a la infraestructura y afectar la operación de los sistemas. A continuación, se presentan algunas de las causas comunes de las sobrepresiones:

**Cierre Rápido de Válvulas:** Uno de los principales desencadenantes de sobrepresiones es el cierre rápido de válvulas en un sistema de tuberías. Cuando una válvula se cierra bruscamente, se detiene el flujo de agua, lo que puede resultar en un aumento de la presión en el sistema. Para mitigar este efecto, se recomienda la implementación de dispositivos de control, como válvulas de cierre gradual o la utilización de sistemas de control automatizados que regulen el cierre de las válvulas de manera más suave (Moltavan, 2021).

**Arranque y Parada de Bombas:** El arranque y la parada de bombas en sistemas de riego también pueden dar lugar a sobrepresiones. Cuando una bomba se pone en marcha o se detiene, se generan ondas de presión que se desplazan por las tuberías. Es fundamental incorporar dispositivos de

protección, como válvulas de alivio de presión, para mitigar el impacto de estas ondas y evitar posibles daños en la infraestructura. Además, el diseño adecuado de los sistemas de arranque y parada, considerando la velocidad gradual del flujo, puede contribuir a reducir los efectos negativos en la red hidráulica (Daza, 2023).

**Cambios en la Velocidad del Flujo:** Los cambios bruscos en la velocidad del flujo de agua, como la apertura o cierre de compuertas, también pueden causar sobrepresiones. Es importante considerar estos cambios dinámicos en la velocidad durante el diseño del sistema, ya que las variaciones repentinas pueden generar ondas de presión que contribuyen al fenómeno del golpe de ariete. Se recomienda emplear estrategias de diseño que minimicen estos cambios abruptos, como la implementación de perfiles de entrada y salida suavizados, y utilizar dispositivos de control de velocidad para regular el flujo de manera gradual, reduciendo así los impactos negativos en la integridad del sistema hidráulico.

**Obstrucciones y Aire en el Sistema:** La presencia de obstrucciones en el sistema o la acumulación de aire atrapado también pueden contribuir a las sobrepresiones. Las obstrucciones, como depósitos de sedimentos o elementos extraños en las tuberías, pueden causar cambios en el flujo del agua, generando aumentos súbitos de presión. Es necesario realizar inspecciones periódicas y limpiezas del sistema para prevenir la acumulación de obstrucciones. Además, la ventilación adecuada para liberar el aire atrapado en la tubería y la instalación de dispositivos de eliminación de aire son prácticas recomendadas para mantener un funcionamiento eficiente y prevenir sobrepresiones inesperadas (Gandarillas Prieto, 2019).

### **3.6 Otros eventos que provocan daño en conducciones**

**Deslizamientos de Terreno:** En áreas con terrenos inestables por donde transcurren las conducciones, los deslizamientos de terreno representan una amenaza significativa. La

inestabilidad del suelo puede comprometer la integridad de las tuberías y afectar la estabilidad del sistema hidráulico.

**Exposición No Soterrada:** En casos donde la tubería no está adecuadamente enterrada, existe el riesgo de daños causados por animales o actos de vandalismo. Esto podría incluir excavaciones no autorizadas o interferencias humanas que comprometan la integridad de las conducciones.

**Fenómenos Sísmicos:** Terremotos o movimientos sísmicos pueden inducir fuerzas dinámicas en la infraestructura, lo que podría resultar en deformaciones o rupturas de las conducciones. El diseño sísmico adecuado es crucial para mitigar estos efectos.

**Erosión y Sedimentación:** La acción constante del agua puede generar erosión en las paredes de las tuberías, debilitando progresivamente su estructura. Además, la sedimentación puede obstruir las conducciones, afectando el rendimiento hidráulico del sistema.

**Impactos Externos:** Golpes, impactos o excavaciones cercanas a la infraestructura hidráulica pueden generar daños físicos. Esto puede ocurrir durante trabajos de construcción cercanos o incidentes involuntarios.

**Corrosión:** La corrosión, un proceso natural que afecta a los materiales metálicos con el tiempo, puede debilitar las tuberías y reducir su vida útil. La selección de materiales resistentes a la corrosión y medidas preventivas son esenciales para mitigar este riesgo

**Anclajes:** Los anclajes son importantes en la estabilidad y seguridad de la conducción de los sifones, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Estas estructuras son elementos diseñados para sujetar y sostener la tubería de manera estratégica. La colocación adecuada de los anclajes evita que las conducciones sufran desplazamientos no deseados o daños debidos a la gravedad y las fuerzas inducidas por la topografía del terreno.

**Aire:** La existencia de aire en las tuberías de presión, conlleva una serie de efectos con repercusiones en el rendimiento y la integridad de la conducción. En primer lugar, la acumulación de aire en puntos críticos, como codos o válvulas, puede ocasionar bloqueos temporales que interfieren con el flujo continuo del agua, afectando la eficiencia del sifón y aumentando la posibilidad de irregularidades en la conducción. Asimismo, la presencia de aire contribuye a fluctuaciones en la presión del sistema, generando cambios bruscos que pueden dar lugar al fenómeno del golpe de ariete, con impactos negativos en la integridad de las tuberías. Además, se incrementa el riesgo de cavitación, fenómeno en el que burbujas de aire colapsan, generando ondas de choque que provocan erosión en las superficies internas de las tuberías. En el caso específico de los sifones, la presencia de aire puede alterar su operación normal, influenciando la altura piezométrica y la presión del sistema, comprometiendo su estabilidad y eficiencia.

### **3.7 Medidas de mitigación del Golpe de Ariete en Sistemas de Tuberías**

Para contrarrestar los efectos adversos del golpe de ariete en sistemas de tuberías a presión, es fundamental implementar medidas de control que salvaguarden la integridad del sistema y garanticen la seguridad necesaria para evitar cualquier interrupción en el suministro de agua de riego a las comunidades. A continuación, se presentan las formas más comunes para combatir el fenómeno del golpe de ariete:

**Chimeneas de equilibrio:** Se trata de una tubería de diámetro mayor que la tubería original, colocada generalmente de forma vertical y abierta en su extremo. Su función es disipar la energía de presión concentrada en ciertos puntos críticos del sistema, donde se puedan producir oscilaciones que pongan en riesgo la integridad de la tubería (Ríos Cando, 2016).

**Válvulas de Alivio Rápido:** Estos dispositivos permiten la liberación instantánea de un volumen específico de agua del sistema para aliviar las presiones internas y mantener la presión máxima del sistema constantemente regulada (Ríos Cando, 2016).

**Calderines:** Consisten en cilindros metálicos sujetos a una presión interna, que actúan como amortiguadores de las oscilaciones de presión al permitir la expansión y contracción del aire en su interior (Ríos Cando, 2016) .

**Válvulas anticipadoras de onda:** Diseñadas para detener anticipadamente las bombas, estas válvulas reducen el impacto de las ondas de presión generadas al detener una bomba de impulsión, disipando casi por completo la onda al regresar al punto de partida (Ríos Cando, 2016).

**Válvulas tipo Ventosa:** Permiten la expulsión de aire acumulado en el sistema y, en algunos casos, la entrada de aire cuando la presión interna es menor que la atmosférica (Ríos Cando, 2016).

**Válvulas de retención:** Estas válvulas, también conocidas como válvulas anti retorno, permiten el flujo en un solo sentido, impidiendo el retorno del fluido y reduciendo así el efecto del golpe de ariete (Ríos Cando, 2016).

### **3.8 Materiales utilizados para conducciones de alta presión**

Las conducciones de alta presión requieren materiales que puedan resistir las tensiones y demandas específicas asociadas con sistemas hidráulicos y de fluidos a alta presión. Estos materiales deben exhibir propiedades mecánicas y químicas superiores para garantizar la seguridad y eficiencia operativa de la infraestructura hidráulica. Algunos de los materiales comúnmente utilizados en conducciones de alta presión incluyen:

**Hierro Fundido Dúctil (HFD):** Las tuberías fabricadas en hierro fundido dúctil representan elementos de alta tecnología, calidad y rendimiento, siendo ampliamente empleadas en sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado, así como en instalaciones industriales y sistemas de riego. Este tipo de tubería fusiona la resistencia característica del acero con la durabilidad propia del hierro gris fundido (Pérez Ayme, 2022).

En contraste con las tuberías de hierro fundido gris convencionales, las tuberías de hierro fundido dúctil exhiben notables propiedades mecánicas, incluyendo elasticidad, alargamiento y resistencia al impacto, lo que les confiere la capacidad de resistir de manera eficaz un manejo inapropiado, impactos o condiciones de suelo inestables. Estas tuberías superan las expectativas en términos de durabilidad, ya que se estima que su vida útil se extiende aproximadamente a 100 años. Además, su instalación resulta sencilla, requiriendo menos soporte en comparación con otros tipos de tuberías.

**Acero al Carbono y Acero Inoxidable:** Estos tipos de acero son conocidos por su resistencia y durabilidad. El acero al carbono es utilizado en aplicaciones de alta presión, mientras que el acero inoxidable, con su resistencia a la corrosión, es particularmente útil en entornos agresivos (Rundman, 2016).

**Polietileno de Alta Densidad (PEAD):** Este polímero termoplástico es conocido por su resistencia química y durabilidad. Se utiliza comúnmente en tuberías de agua a alta presión y es apreciado por su capacidad para resistir la abrasión y la corrosión (Ramírez, 2015).

**Concreto Pretensado:** Las tuberías de concreto pretensado son adecuadas para aplicaciones de alta presión. El concreto se refuerza con cables de acero para mejorar su resistencia y durabilidad (Vargas, 2017) .

### **3.9 Análisis de válvulas reductoras de presión**

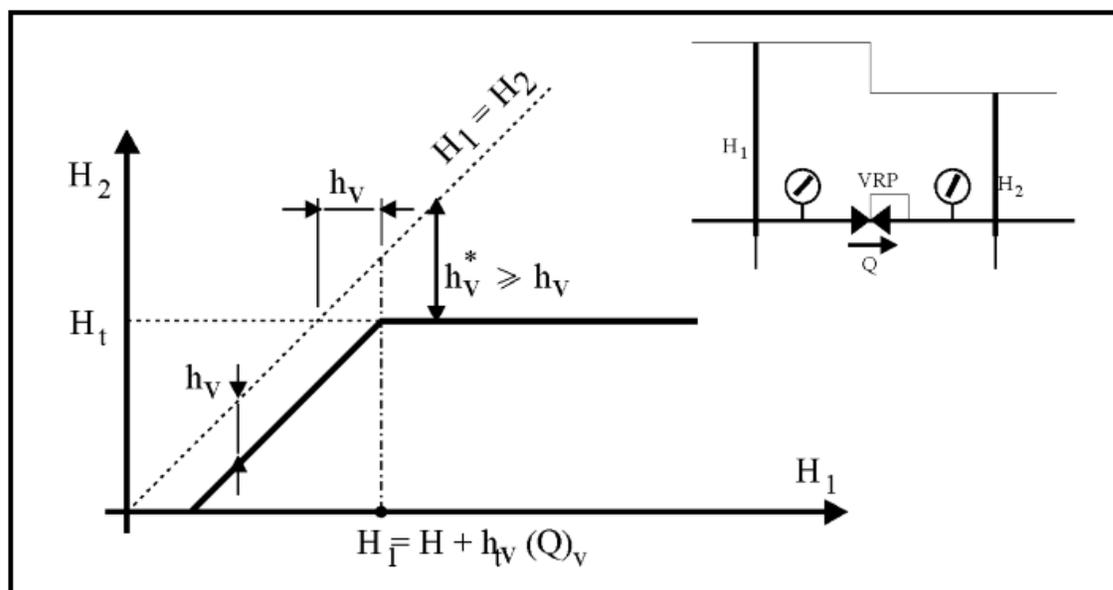
La propiedad fundamental de una Válvula Reductora de Presión (VRP) radica en su capacidad para mantener una presión constante a la salida dentro de un amplio rango de caudales, incluso en situaciones de caudal nulo. Esta característica la convierte en un componente altamente atractivo para una variedad de aplicaciones, entre las que se incluyen la reducción de presiones excesivas que podrían resultar perjudiciales para el funcionamiento de equipos hidráulicos, la sectorización de zonas de presión en redes escalonadas, la disminución del volumen de fugas, el

mantenimiento de una presión de alimentación constante ante cambios significativos en la demanda, y la limitación del caudal extraído(Salcedo, 2014) .

En cuanto a su funcionamiento, una VRP es un dispositivo unidireccional que permite mantener la presión aguas abajo en un valor determinado, conocido como presión de tarado, incluso en ausencia de circulación de caudal (según el modelo), siempre que la presión aguas arriba de la válvula sea mayor que este valor. Si la presión aguas arriba es menor que la presión de tarado, la presión aguas abajo será igual a la presión aguas arriba menos la pérdida de carga provocada por la propia válvula ( $h_v$ ), como se ilustra en la Figura 9. En caso de que la presión aguas abajo supere el valor de tarado o el valor de la presión aguas arriba, la VRP actuará como una válvula de retención, evitando el flujo en sentido inverso (Salcedo, 2014) .

Además, las válvulas reguladoras de presión se instalan estratégicamente en una conducción para controlar y mantener la presión dentro de rangos aceptables. Estas válvulas se colocan típicamente en puntos críticos del sistema, como en las salidas de las estaciones de bombeo, en los puntos de intersección de diferentes redes de tuberías, en las entradas a zonas residenciales o industriales, y en lugares donde se producen cambios bruscos en la topografía o en el diámetro de la tubería (Escobar, 2009).

La capacidad de controlar la presión de manera constante en la salida, independientemente de las condiciones variables de caudal y presión en la entrada, se logra de manera automática, utilizando la energía inherente al propio fluido. Este mecanismo de acción permite una regulación precisa y eficiente de la presión en sistemas hidráulicos, garantizando un funcionamiento óptimo y seguro en diversas aplicaciones industriales y comerciales.



**Figura 9:** Característica de la curva de funcionamiento de una válvula reductora de presión.  
*Fuente:* (Pérez, 1993)

### 3.10 Análisis de válvulas controladoras de golpe de ariete

Las válvulas anticipadoras de golpe de ariete son dispositivos fundamentales en sistemas hidráulicos para mitigar los efectos del golpe de ariete. Las cuales están diseñadas para cerrarse rápidamente en respuesta a una variación brusca en la velocidad del flujo de agua, previniendo así la formación de ondas de presión que podrían dañar las tuberías y componentes del sistema. Su funcionamiento se basa en la capacidad de cerrarse en fracciones de segundo, anticipándose a la llegada de la onda de choque generada por el cambio repentino en el flujo. Al cerrarse de manera rápida, estas válvulas evitan que la onda de ariete se propague y cause presiones excesivas en el sistema. Las válvulas anticipadoras de golpe de ariete son esenciales en aplicaciones donde las variaciones de flujo son frecuentes, como en sistemas de suministro de agua, redes de distribución y conducciones de fluidos a alta velocidad. Su implementación contribuye significativamente a la protección y estabilidad de las infraestructuras hidráulicas, asegurando un funcionamiento eficiente y duradero (Guevara-Rodríguez et al., 2021).

Algunos parámetros asociados con estas válvulas incluyen:

**Tiempo de Respuesta:** Es el tiempo que tarda la válvula en cerrarse completamente en respuesta a una variación brusca de presión. Un tiempo de respuesta rápido es esencial para anticipar y contrarrestar eficazmente las ondas de ariete (Guevara-Rodríguez et al., 2021).

**Diámetro de la Válvula:** El diámetro de la válvula afecta directamente la capacidad de manejar grandes flujos de agua y, por lo tanto, su eficacia para controlar el golpe de ariete. Válvulas con diámetros adecuados son fundamentales para un rendimiento óptimo (Fisher, 2017).

**Presión de Cierre:** Es la presión mínima necesaria para cerrar la válvula. Esta presión debe ser lo suficientemente baja para cerrar rápidamente en respuesta a cambios repentinos de presión, pero no tan baja que cause cierres no deseados (Fisher, 2017).

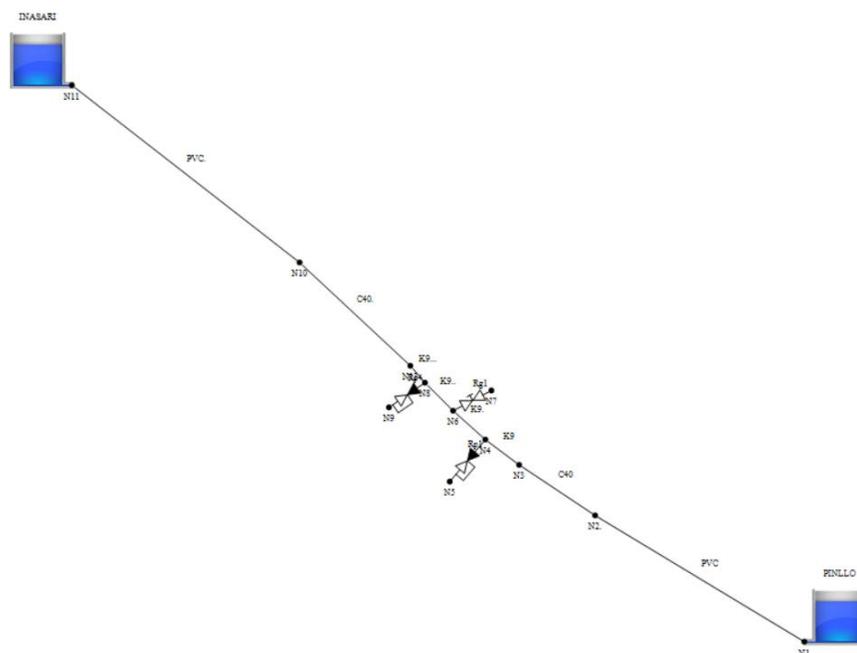
**Presión de Apertura:** Es la presión mínima necesaria para abrir la válvula después de un cierre. Esta presión determina cuándo la válvula vuelve a abrirse para permitir el flujo normal del agua.

**Material de Construcción:** El material de la válvula debe ser resistente a la corrosión y duradero, ya que estará expuesto a las condiciones del sistema hidráulico a lo largo del tiempo (Fisher, 2017).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS DEL TRABAJO

### 4.1 Modelación de sifón No. 1 Iñasari en software Allievi

Se realiza el dibujo de la conducción en el software Allievi, donde se colocan las ventosas, diámetros de tubería, tipo de tubería y el perfil de la conducción, en la figura 10 se ilustra el dibujo realizado en la interfaz del software.



**Figura 10:** Dibujo en la interfaz de Allievi

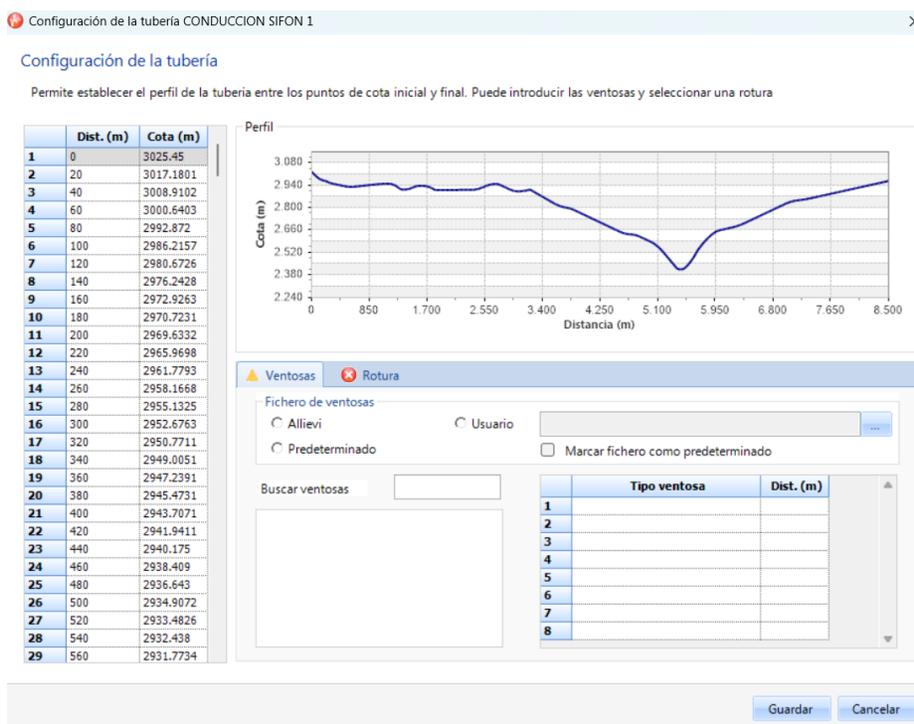
**Tabla 3:** Parámetros de depósito

Depósitos - Datos básicos								
	Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m <sup>2</sup> )	Z0 (m)	Zvar
	PINLLO	N1	---	2986.568	GD		2989.568	
	IÑASARI	---	N11	2967.08	GD		2970.08	

Para el depósito, se opta por un tamaño de grandes dimensiones (GD) debido a que la abscisa de la superficie del agua en el reservorio permanece constante. Los parámetros se presentan en la tabla 3.

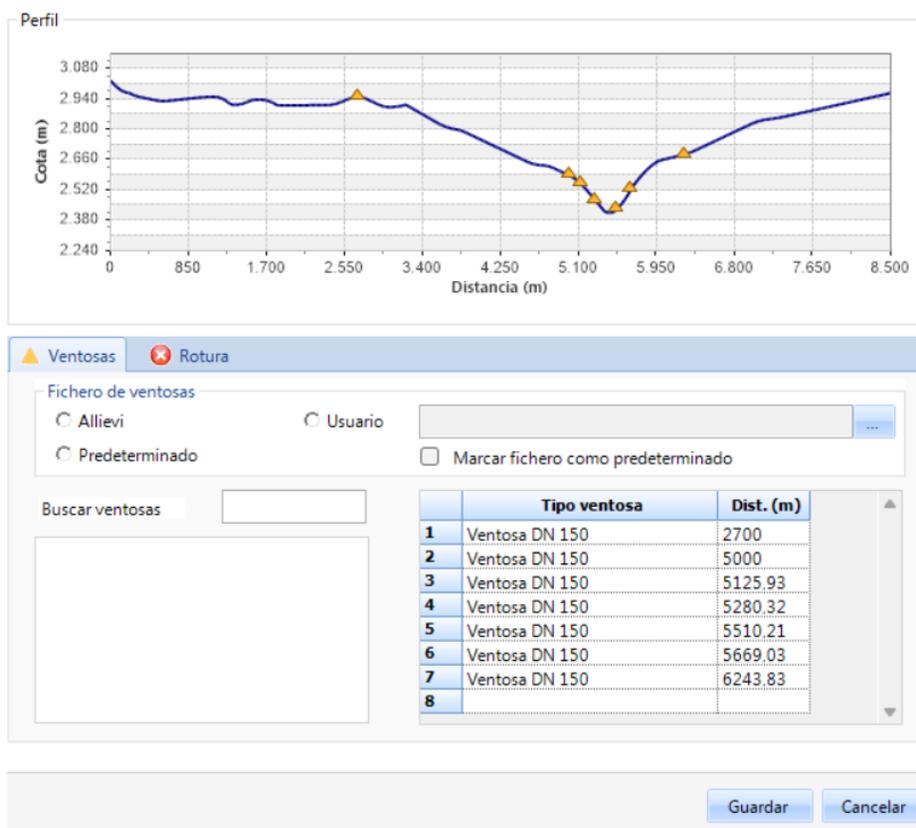
**Tabla 4: Parámetros de las tuberías**

	Tuberías - Datos básicos										Pérdidas	
	Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Perfil	Rug (mm)	k
PVC	N1	2986.568	N2.	2869.987	200	3200	4.9	154.0638	Calc.	-^Λ-/-	0.1	1
C40	N2.	2869.987	N3	2676.029	150	800	6	1251.2613	Calc.	-^Λ-/-	0.125	1
K9	N3	2676.029	N4	2514.8	150	700	6	1251.2613	Calc.	-^Λ-/-	0.125	1
K9.	N4	2514.8	N6	2390	150	200	6	1251.2613	Calc.	-^Λ-/-	0.125	1
K9..	N6	2390	N8	2514.28	150	300	6	1251.2613	Calc.	-^Λ-/-	0.125	1
K9...	N8	2514.28	N13	2639.698	150	400	6	1251.2613	Calc.	-^Λ-/-	0.125	1



**Figura 11: Configuración del perfil de la conducción del sifón 1**

En el análisis de las tuberías, el software realiza automáticamente el cálculo de la celeridad empleando la ecuación 2 previamente expuesta. Además, se efectúa el ingreso manual de las distancias y abscisas de cada perfil de la tubería, junto con los diámetros internos, espesores de rugosidad y pérdidas de cada tramo como se visualizan en la tabla 4 y figura 11.



**Figura 12:** Válvulas de aire en las distancias correspondientes.

El software proporciona la capacidad de ajustar las válvulas para controlar el caudal y la inclusión de estructuras de protección como chimeneas, calderín y tanques, ya sea con sección constante o variable para un régimen transitorio, así como también, permite incorporar válvulas de aire en la conducción como se muestra en la figura 12. La tabla 5 ilustra los parámetros que se usan para la válvula de regulación tipo compuerta.

**Tabla 5:** Parámetros de las válvulas de regulación

Válvula Regulación - Datos básicos								Maniobra
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo	Tipo
Rg1	N6	N7	2390	150	0.2	De compuerta		Tabulada

Se llevará a cabo el cálculo considerando diferentes escenarios, siendo seleccionados los más críticos para un análisis detallado, mientras que los demás se incluirán en el Anexo 1.

### **Escenario 1**

En el primer escenario planteado, se prevé la instalación de una válvula de regulación en la abscisa 2+800, ubicada antes de la yee tanto del sifón 1 como del sifón 2. Esta intervención tiene como objetivo simular un collarín que facilitará el suministro de agua a las comunidades circundantes.

### **Escenario 2**

En el escenario 2, se colocarán válvulas de purga en distintos puntos de la conducción del Sifón 1, con el propósito de facilitar el mantenimiento del sistema al liberar la carga de agua, permitiendo así realizar trabajos en la parte inferior del sistema.

### **Escenario 3**

En el escenario 3, se ubicará una válvula al final de la conducción para evaluar su impacto en el funcionamiento general del sifón.

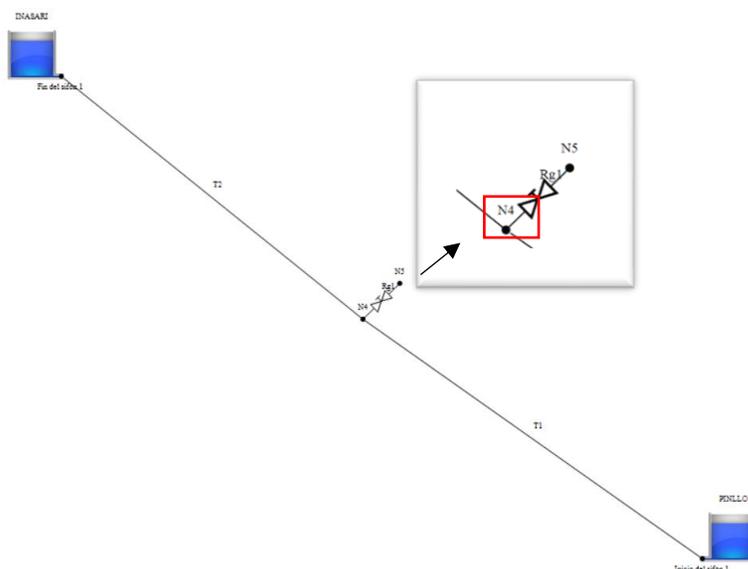
### **Escenario 4**

Finalmente, en el escenario 4 se considerarán todos los accesorios existentes en la conducción, incluyendo válvulas de purga, válvulas de aire y válvulas de regulación de presión, junto con la información sobre el diámetro y el material correspondiente a cada tramo de la conducción del sifón 1.

A continuación, se detallarán los dos escenarios más críticos de cada simulación, los cuales mostraron posibles problemas de golpe de ariete debido a los tiempos de cierre más cortos.

#### **4.1.1 Escenario 1: Apertura de válvula en la abscisa 2+800m del sifón No. 1 Iñasari**

Para la simulación del escenario 1 se procede a realizar el dibujo en el software Allievi como se muestra en la figura 13, donde se colocará una válvula de regulación en la abscisa 2+800, ubicada antes de la yee tanto del sifón 1 como del sifón 2.

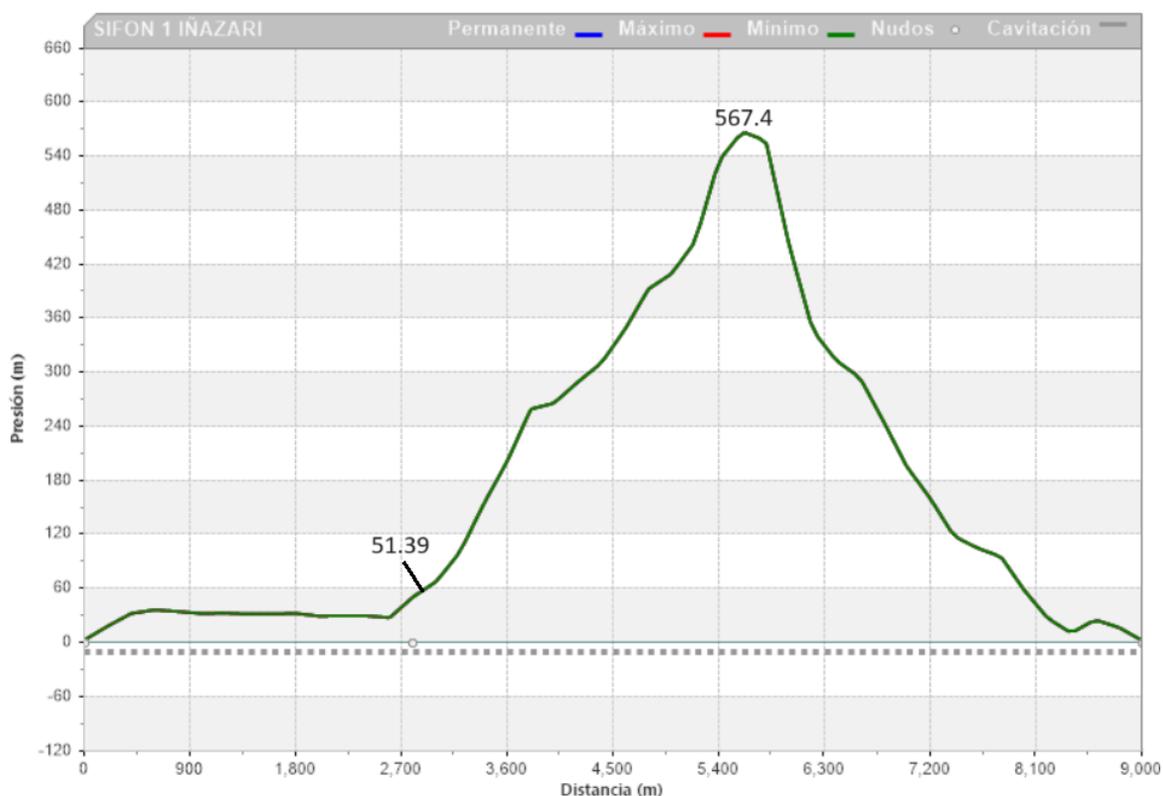


**Figura 13:** Dibujo del escenario 1 en Allievi.

Durante la simulación del régimen permanente, se emplearon los datos de entrada previamente definidos. Es crucial señalar que en este régimen no se pueden incorporar maniobras especiales de cierre o apertura de válvulas, ya que el software considera el régimen permanente como un escenario base y presupone el correcto funcionamiento y ejecución de los componentes y maniobras a lo largo del tiempo.

### **Régimen permanente**

Con los datos de entrada establecidos, se procedió a ejecutar el modelo para el régimen permanente, generando así la gráfica de envolventes de presión.

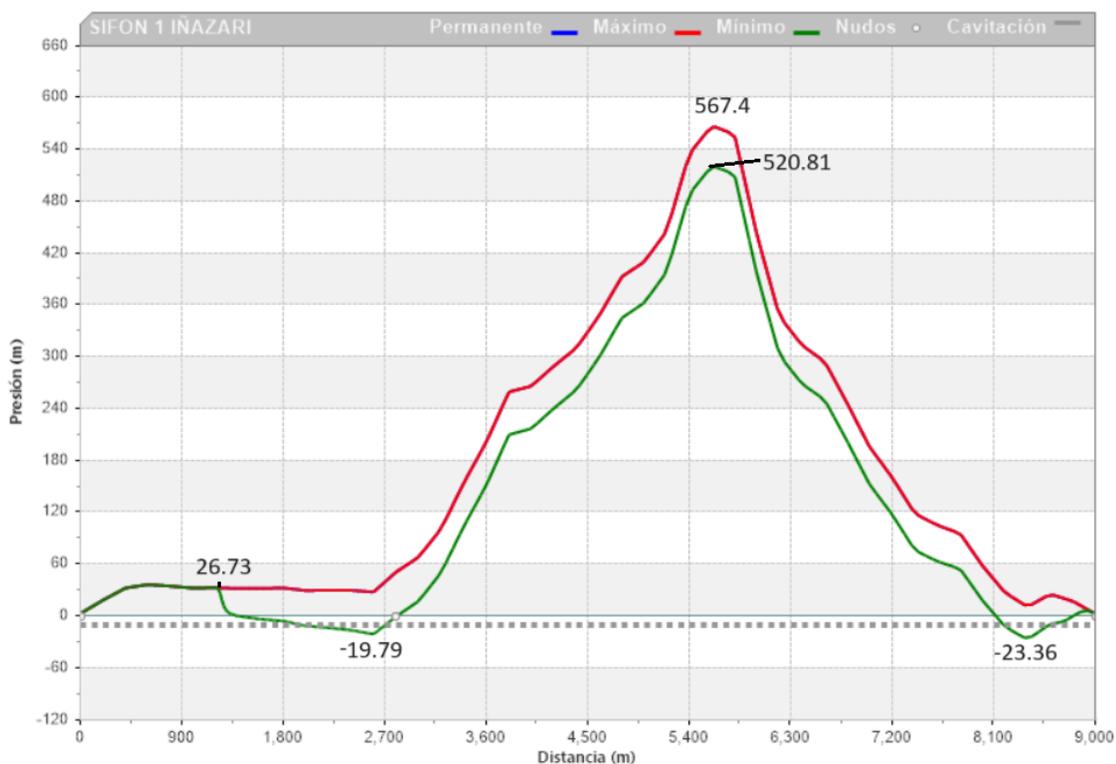


**Figura 14:** Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente

Como se puede apreciar en la Figura 14, elaborada para el análisis del régimen permanente, se resalta que la envolvente de presión y altura piezométrica del sistema se sitúa a un nivel similar al de la envolvente de presión generada por el golpe de ariete. En condiciones de régimen permanente, se constata que la máxima presión a la que está expuesta la tubería alcanza los 567.4 metros de columna de agua (mca) en la abscisa 5+806.05 m. De igual manera, se observa una presión de 51.39 mca en la abscisa 2+800m, punto donde está ubicada la válvula, la cual se encuentra completamente cerrada.

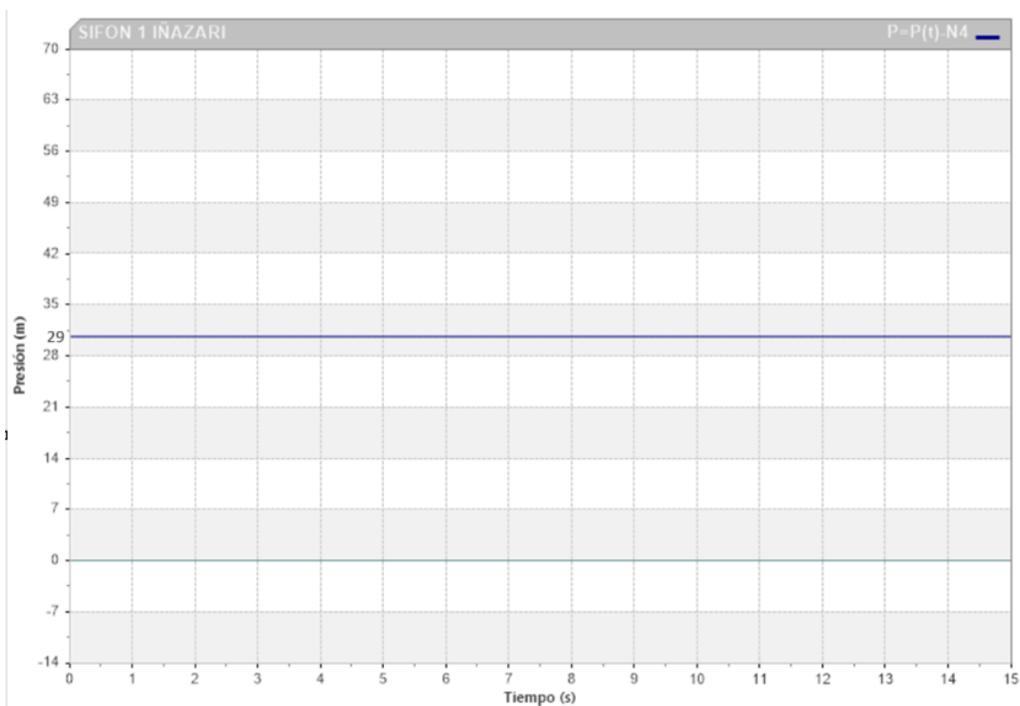
### Régimen transitorio

Para la simulación del régimen transitorio se adoptó un tiempo de apertura para la válvula de regulación de 4 segundos. Como resultado de este proceso, se obtuvieron la envolvente correspondiente a la presión y altura piezométrica generada por la maniobra de cierre ejecutada.

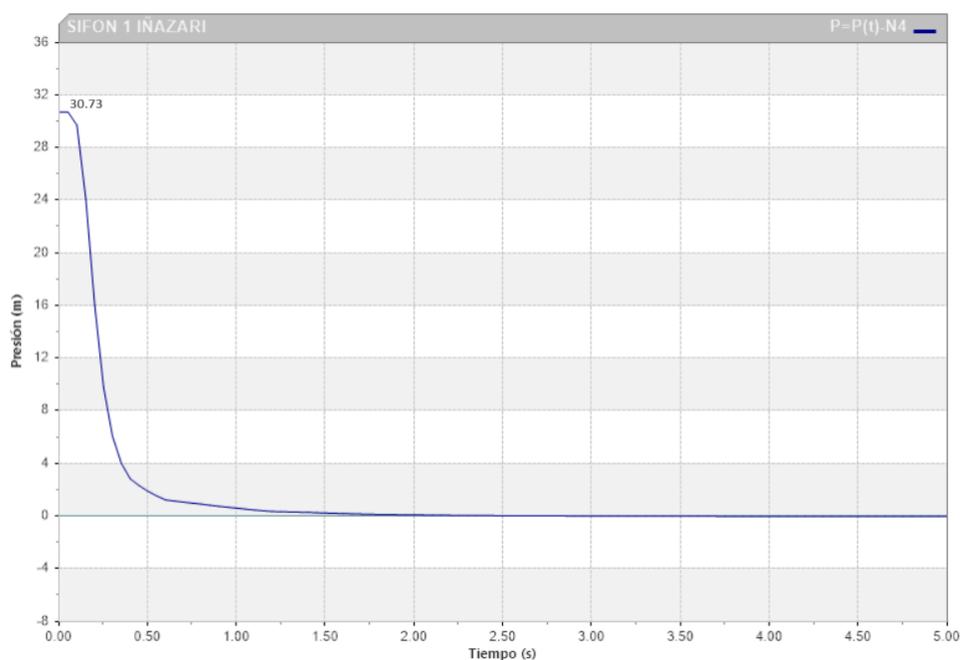


**Figura 15:** Envolventes de presión para un régimen transitorio a partir de un tiempo de apertura de 4 segundos

Al analizar la figura 15, que representa el régimen transitorio, se destacan un valor máximo para el golpe de ariete, indicados por la línea de color rojo. El valor, de 567.4 m.c.a, se encuentra en la abscisa 5+618.18 m. Además, se identifica un punto crítico en la red donde se señala la posibilidad de problemas de subpresión, evidenciando un valor máximo negativo de -23.36 metros de columna de agua (m.c.a). Este fenómeno se manifiesta en la abscisa 8+373.74 m, donde la envolvente piezométrica experimenta un descenso significativo, situándose 23.36 metros por debajo del perfil de la tubería. Asimismo, se registra una subpresión de -19.79 mca en la abscisa 2+606.9, ubicada a una distancia de 193.1 metros por encima de la posición de la válvula.



**Figura 16:** Comportamiento del nodo “N4” en régimen permanente (Tiempo vs Presión)



**Figura 17:** Comportamiento del nodo “N4” en régimen transitorio (Tiempo vs Presión)

En la figura 17, se evidencia el incremento de presión ocasionado por el golpe de ariete en el nodo “N4”, ubicado al inicio de la válvula. Para una comprensión más clara, se realizará una comparación con la figura 16, que representa el régimen permanente en el mismo nodo.

La representación del comportamiento del nodo "N4" en el estado permanente, como se ilustra en la Figura 16, muestra un incremento inicial de la presión como resultado de la apertura de la válvula y el funcionamiento regular del sistema, alcanzando un valor máximo constante de 29 m.c.a. Sin embargo, al analizar la Figura 17, que corresponde al mismo nodo "N4" durante el régimen transitorio, se evidencia que la presión experimenta un aumento a 30.73 m.c.a en el instante inicial (0 segundos). Posteriormente, en el primer segundo, comienza a disminuir gradualmente hasta alcanzar una presión de 0 m.c.a, esto como consecuencia de la apertura de la válvula y la disipación subsiguiente de la presión.

#### **Análisis y comparación de resultados entre régimen permanente – régimen transitorio**

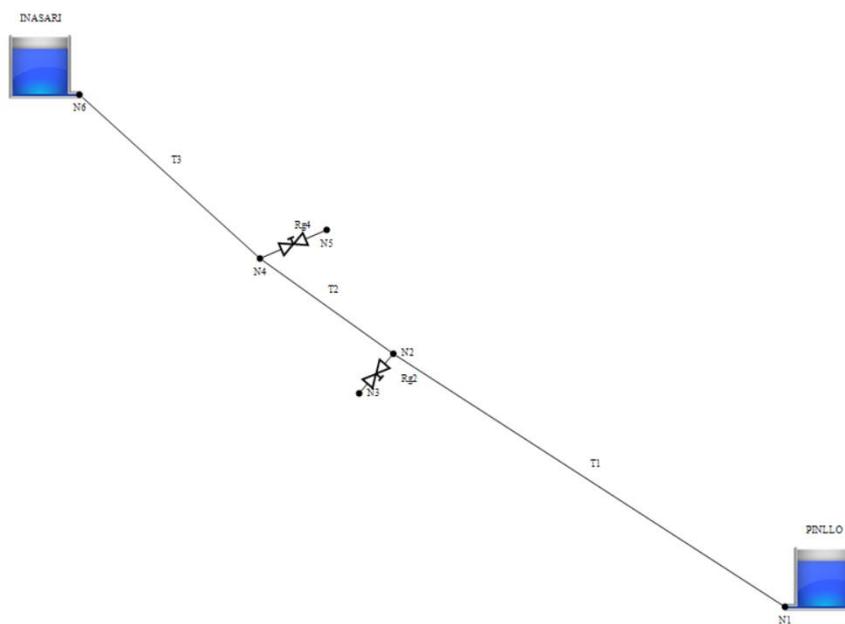
En la Figura 14 del análisis en régimen permanente, se observa que la tubería experimenta una presión máxima de 567.4 mca en la abscisa 5+483.96m, ubicada en el punto más bajo del sifón. Este valor supera los límites admisibles de presión para tuberías de hierro fundido. Por otro lado, en el régimen transitorio, representado en la figura 15, las presiones máximas permanecen estables, pero se observa cómo las presiones mínimas, representadas por la línea de color verde, comienzan a disminuir desde la abscisa 1+222.29 m con un valor de 26.73 mca hasta alcanzar la abscisa 2+606.9 m, donde se registra una subpresión de -19.79 mca. Este fenómeno se debe a la apertura de la válvula en la abscisa 2+800, lo que genera presiones y subpresiones que podrían comprometer la integridad de la tubería.

Este análisis sugiere que la presencia de una válvula en esta abscisa podría poner en riesgo la integridad del sistema. Sin embargo, con una manipulación adecuada de la válvula, es posible mitigar los efectos del golpe de ariete. Además, se podrían implementar dispositivos de protección como chimeneas, calderines o válvulas anticipadoras de golpe de ariete, para evitar daños en la conducción del sifón.

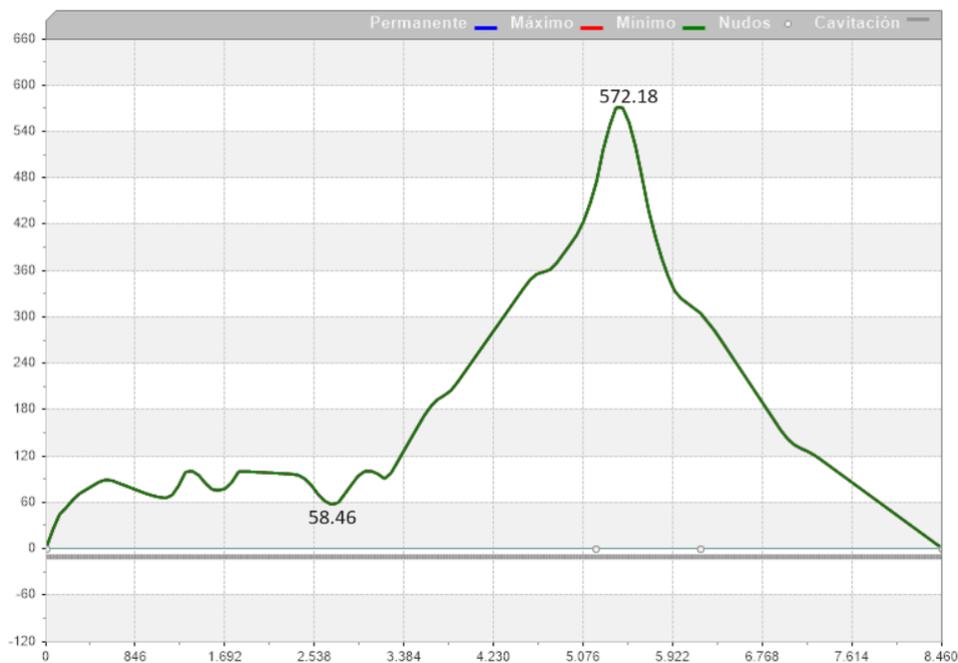
#### 4.1.2 Escenario 2: Apertura de las 2 válvulas de purgas colocadas en la conducción del sifón

##### No. 1 Iñasari

En la figura 18 y 19 se exhiben el escenario y los resultados del régimen permanente simulado. En este escenario, se implementó una válvula purga en las abscisas 5+200 y 6+180, con el propósito de desfogar agua durante el mantenimiento del sifón y reducir la presión en su parte baja. Durante el régimen permanente, se observan valores significativos de sobrepresión, alcanzando un máximo de 572.33 mca, específicamente en la abscisa 5+464.

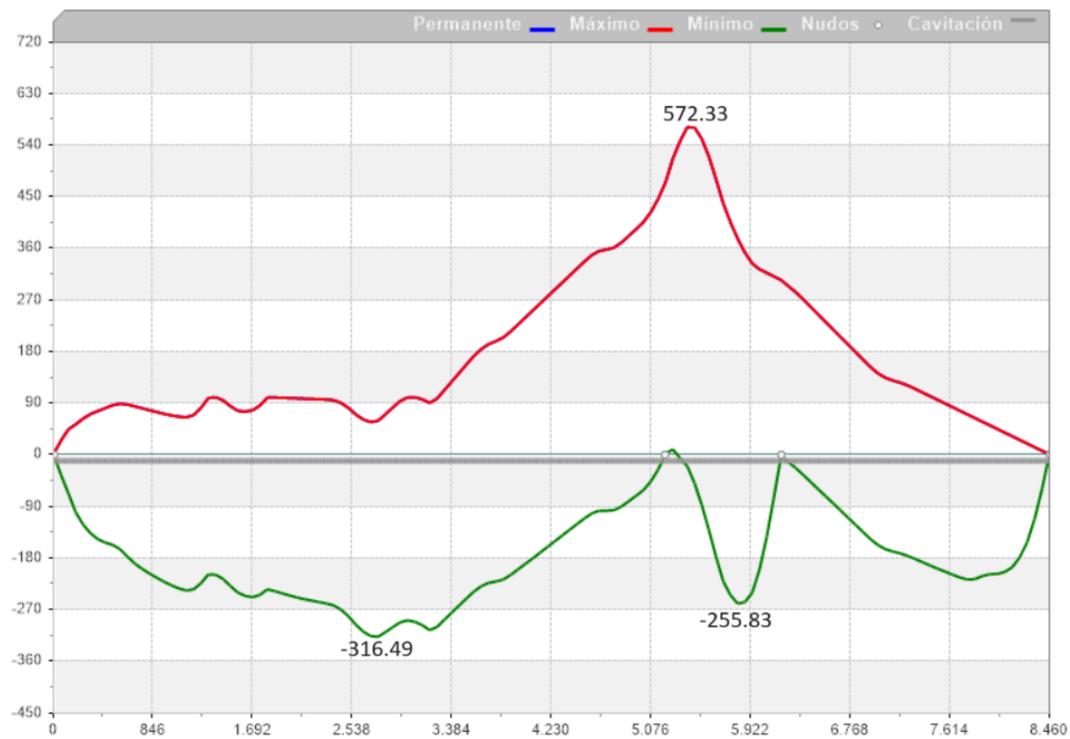


**Figura 18:** Dibujo del escenario 2 en Allievi



**Figura 19:** Envolventes de presión para un régimen permanente

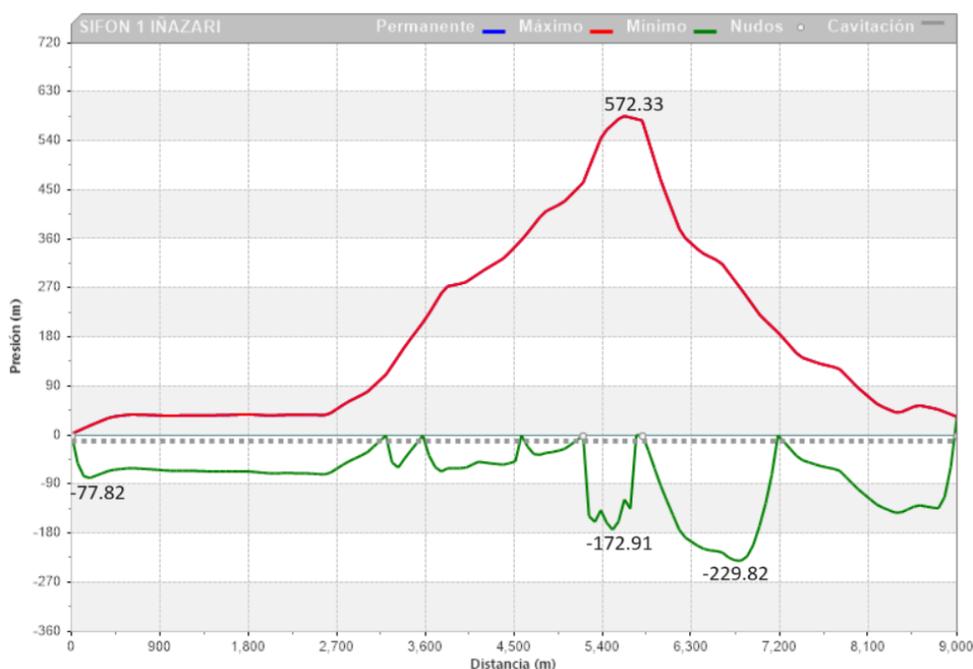
### Régimen transitorio



**Figura 20:** Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de apertura de 8 segundos

Al analizar la figura 20, que ilustra el régimen transitorio, se destacan un valor máximo para el golpe de ariete, identificado por la línea de color rojo. Este valor, alcanzando los 572.33 m.c.a, se ubica en la abscisa 5+401.18m que es la parte del fondo del sifón. Adicionalmente, se identifica un punto en la red que sugiere la posibilidad de problemas de subpresión, con un valor negativo de -316.49 m.c.a. Este fenómeno se produce en la abscisa 2+698.25 metros, donde la envolvente piezométrica experimenta una disminución, quedando 316.49 metros por debajo del perfil de la tubería.

Al incorporar las ventosas o válvulas de admisión de aire en el software Allievi, las cuales están presentes en la conducción, se observa una notable disminución de las subpresiones. Por lo tanto, se recomienda la instalación de este tipo de elementos. Como se puede apreciar en la figura 21, las subpresiones son considerablemente menores, con valores de 0 en las ubicaciones donde se han colocado las válvulas de admisión de aire, es decir, en las abscisas 3+200, 3+600, 4+600, 5+800 y 6+800.



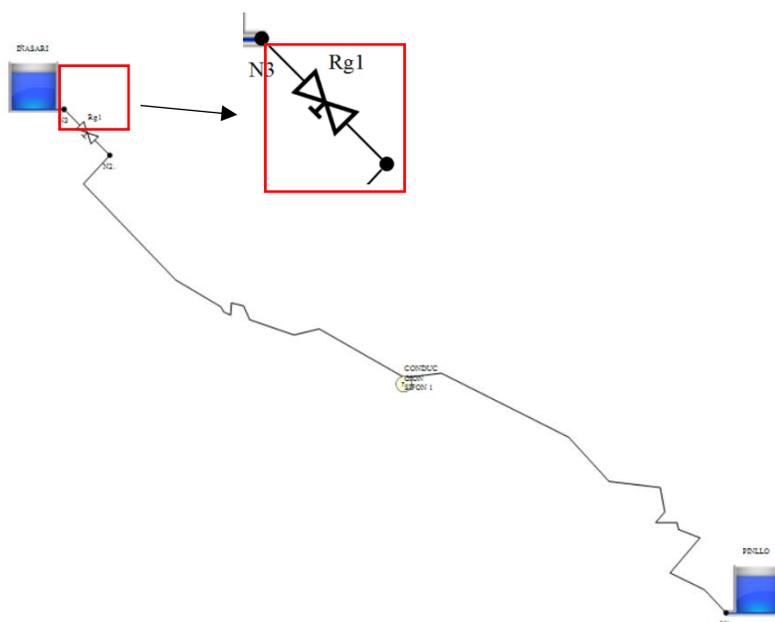
**Figura 21:** *Envolturas de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de apertura de 8 segundos incorporando las válvulas de admisión de aire*

## Análisis y comparación de resultados entre régimen permanente – régimen transitorio

En la figura 19 se presentan los resultados del régimen permanente, donde se observa que el valor máximo de presión se mantiene constante en comparación con el régimen transitorio mostrado en la figura 20. Sin embargo, al abrir estas válvulas, se generan subpresiones bastante elevadas, de 316.49 y 255.83 mca respectivamente, lo que podría representar un riesgo para la integridad de la conducción. No obstante, estas subpresiones podrían mitigarse mediante la implementación de elementos de protección como válvulas de admisión de aire, chimeneas y con la adecuación de los tiempos de maniobra.

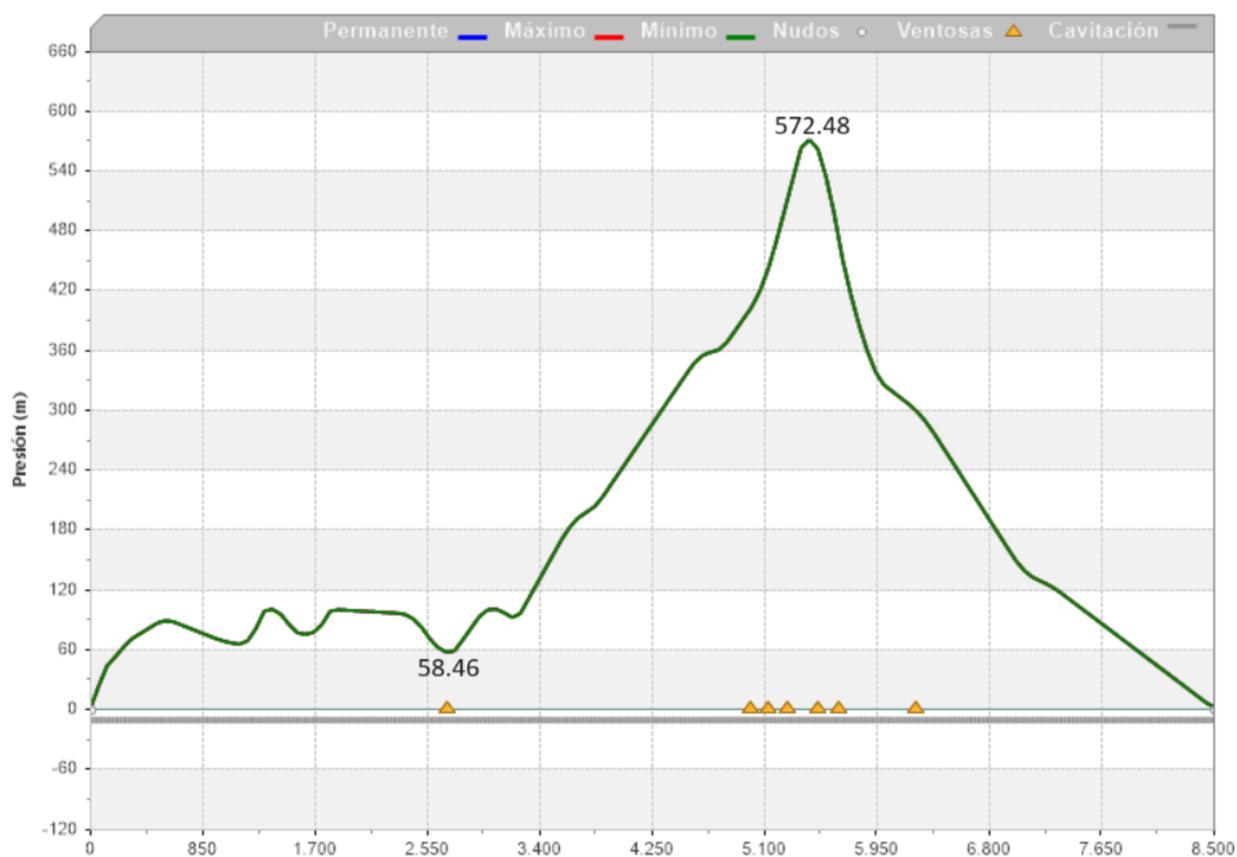
### 4.1.3 Escenario 3: Cierre de la válvula al final de la conducción del sifón No. 1 Iñasari

En la figura 22 se muestra el esquema del escenario 3 en el software Allievi, el cual ha sido configurado con los datos de entrada pertinentes. En este escenario, se ha decidido ubicar una válvula de regulación al final de la conducción, específicamente en la abscisa 9+000 m y a una cota de 2935,587 m.



**Figura 22:** Dibujo del escenario 3 en la interfaz de Allievi

## Régimen permanente



**Figura 23:** *Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente del escenario 3.*

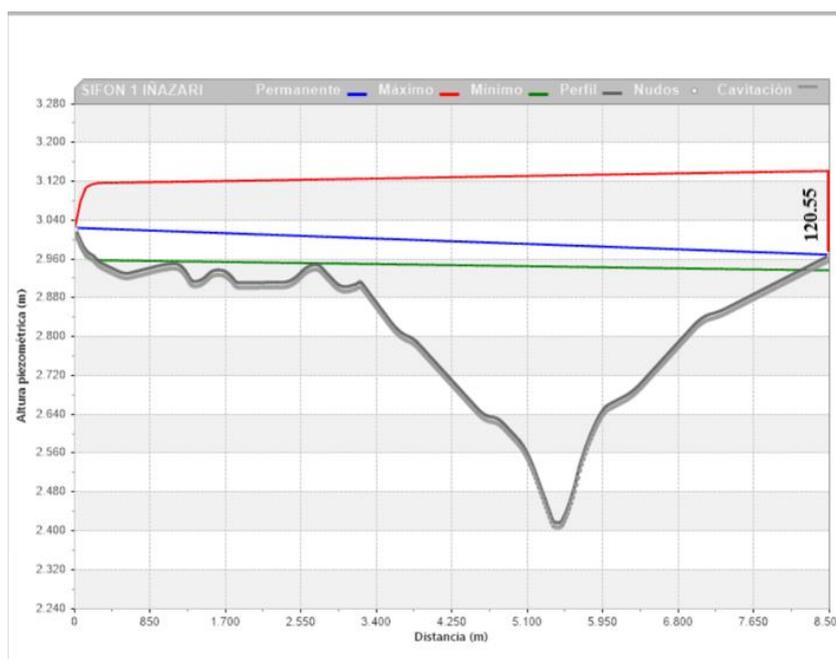
Como se puede apreciar en la Figura 23, generada para el régimen permanente, se observa que la envolvente de presión se sitúa al mismo nivel que de la envolvente de presión por golpe de ariete por lo que la tubería trabaja en condiciones normales. La presión máxima que se expondrá la tubería es de 572.48 mca esto en la abscisa 5+464.

## Régimen transitorio

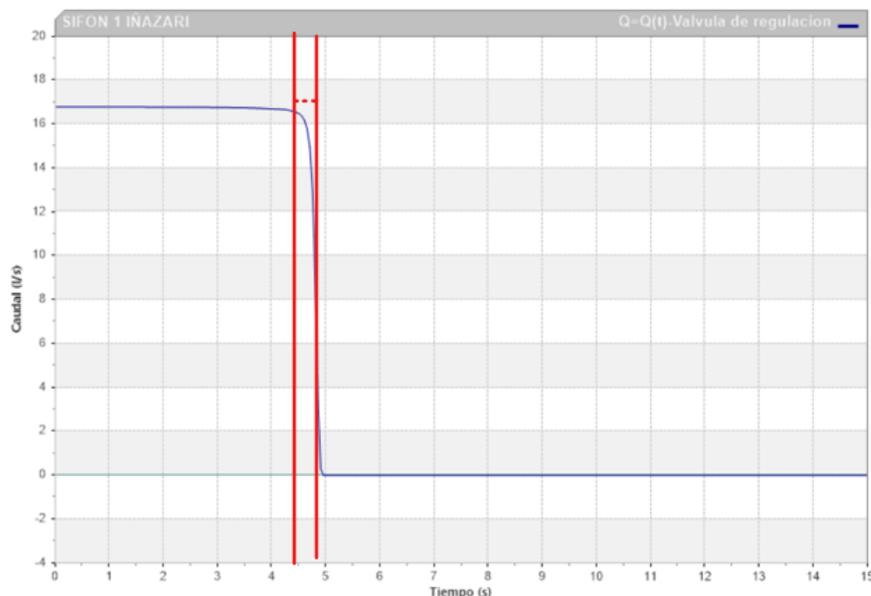
Para la simulación del régimen transitorio se adoptó un tiempo de cierre para las válvulas de regulación de 5 segundos, el software ALLIEVI permitió el ingreso de los tiempos de cierre en función del porcentaje de apertura de la válvula durante la ejecución de la maniobra.

El cierre rápido de la válvula a los 5 segundos produce una máxima sobrepresión de 120.557 metros y afecta una longitud máxima de 5389.19 metros como se muestra en la figura 24. No obstante, tras la ejecución del programa Allievi, se presenta la gráfica de caudal vs tiempo para la válvula de regulación que se muestra en la figura 25. En dicha representación, se evidencia un comportamiento lineal, sin afectar el caudal hasta el segundo 4.5, pero experimenta un cambio drástico en el caudal entre el segundo 4.5 y el segundo 4.9, es decir, en un intervalo de 0.4 segundos.

Reevaluando los cálculos con el intervalo analizado de 0.4 segundos, que representa el tiempo efectivo de cierre de la válvula, se obtiene una sobrepresión constante de 120.557 metros. No obstante, la longitud máxima afectada experimenta un aumento, alcanzando los 8251.135 metros. Este resultado sugiere un impacto significativo en la longitud afectada durante ese breve periodo de cierre de la válvula de regulación.

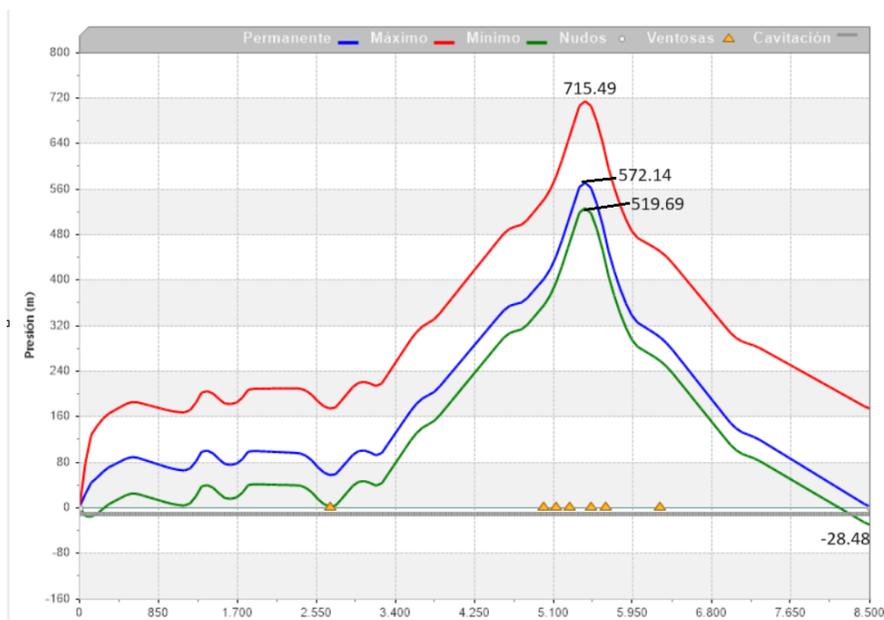


**Figura 24:** *Envolvente de alturas piezométricas en el Régimen Permanente*



**Figura 25:** Gráfica caudal vs tiempo de la válvula de regulación para un cierre de 5 segundos

La ejecución del modelo en régimen transitorio se llevó a cabo considerando los porcentajes de apertura especificados para la válvula de regulación. Como resultado de este proceso, se obtuvieron la envolvente correspondiente a la presión y altura piezométrica generada por la maniobra de cierre ejecutada.



**Figura 26:** Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de cierre de 5 segundos

Al analizar la figura 26, que representa el régimen transitorio, se destacan un valor máximo para el golpe de ariete, indicados por la línea de color rojo. El valor, de 715.49 m.c.a, se encuentra en la abscisa 5+437 m. Además, se observa un punto en la red donde se indica la posibilidad de problemas de subpresión, con un valor negativo de -28,48 m.c.a. Este fenómeno se presenta en la abscisa 8+500m, donde la envolvente piezométrica experimenta una caída, quedando 28.48 metros por debajo del perfil de la tubería.

### **Análisis y comparación de resultados entre régimen permanente – régimen transitorio**

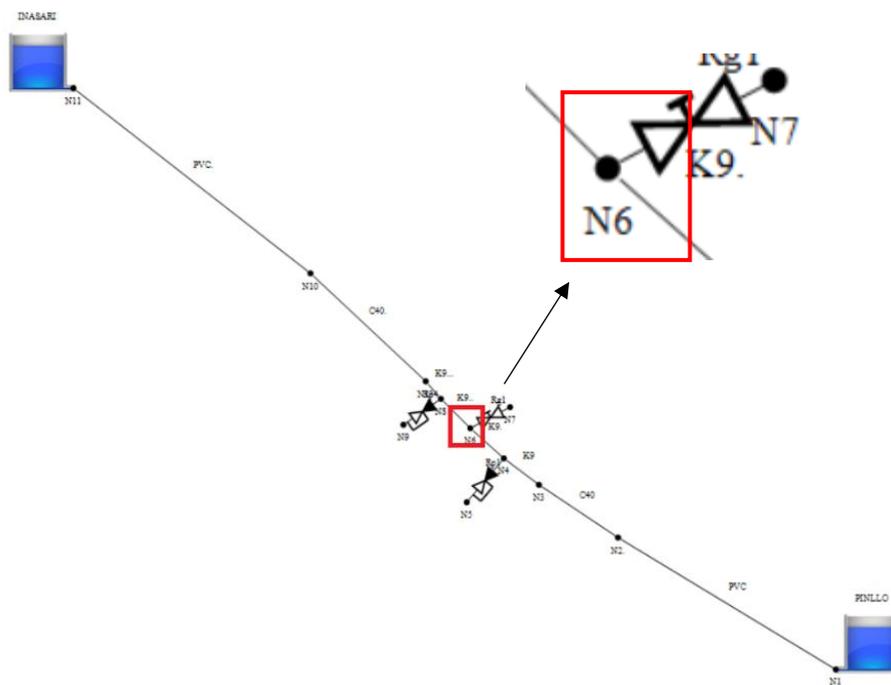
Considerando que la simulación del régimen permanente sirve como la base fundamental para el análisis del régimen transitorio, particularmente en la maniobra de cierre con un tiempo de 5 segundos, se ha optado por realizar una comparación entre estos dos regímenes. Esta comparación permite visualizar de manera clara las variaciones de presión generadas al introducir efectos transitorios en la conducción del sifón. Se observa cómo las ondas de presión se desplazan a gran velocidad a lo largo del sistema, desarrollando varios ciclos. En ciertos puntos de la conducción, estas ondas son disipadas gracias a la elasticidad del material, pero en otros casos, la tubería no puede disiparlas completamente, superando los valores admisibles de presión interna y potencialmente causando daños significativos en el sistema. La acción de estos ciclos de expansión y contracción de la sección puede provocar fatiga en el material, resultando en roturas y posiblemente el colapso del sistema.

La Figura 23 ilustra los resultados obtenidos para el régimen permanente, donde se registra una presión máxima de 572.48 mca en la parte inferior del sifón. En contraste, el régimen transitorio, representado en la Figura 26, exhibe un pico significativo en el mismo punto que el régimen permanente, alcanzando una presión máxima de 715.49 mca. Esta diferencia de 143.01 mca indica que la energía de presión generada en dicho punto debido al golpe de ariete no se disipa

adecuadamente, lo que podría ocasionar daños a la integridad del sistema y, potencialmente, provocar fatiga en el material, roturas e incluso el colapso del sistema.

#### 4.1.4 Escenario 4: Operación completa del sifón No. 1 Iñasari

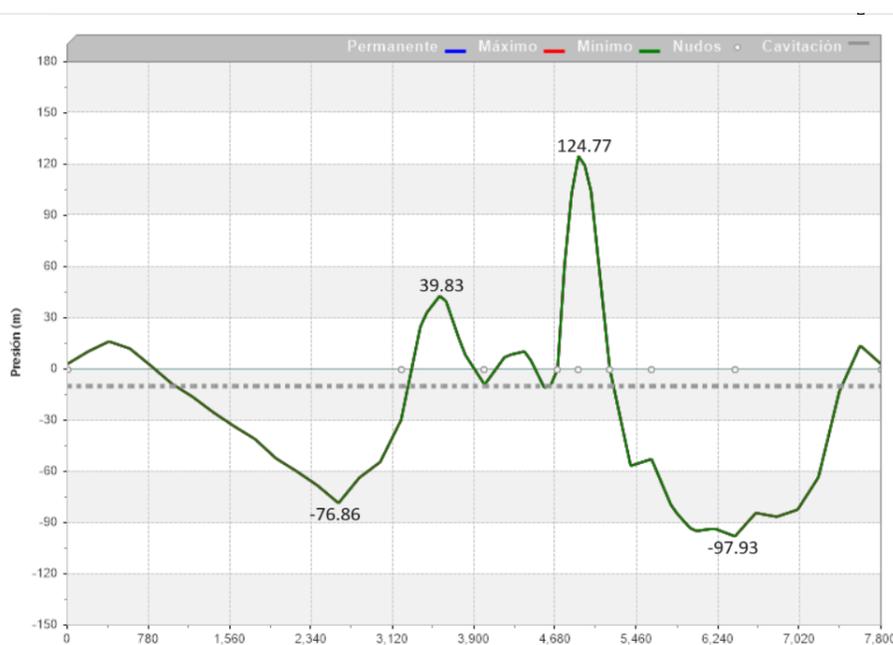
Para la simulación de este escenario, se llevó a cabo la entrada de todos los datos pertinentes, incluyendo la especificación de las válvulas de aire, válvulas purga y válvulas reductoras de presión, así como la definición de cada tramo de tubería con su respectivo material, ya sea PVC, hierro fundido C40 o C60. Es crucial destacar que la válvula de purga fue configurada completamente cerrada durante la simulación, reflejando así su estado previo al mantenimiento, y se considerará su apertura únicamente en el momento de llevar a cabo dicha actividad. Este aspecto reviste particular importancia, dado que un tiempo inadecuado para la apertura de la válvula purga podría exponerla a la presión ejercida sobre ella, especialmente al encontrarse en la parte más baja del sifón. La figura 27 presenta el dibujo del escenario modelado en Allievi, proporcionando una representación visual de los elementos considerados en la simulación.



**Figura 27:** Dibujo del escenario 4 en Allievi

## Régimen permanente

En la Figura 28 se ilustra la simulación del sistema en régimen permanente, que representa el estado normal de funcionamiento de la tubería. Se observan presiones máximas de hasta 124.77 metros de columna de agua (mca), concentradas en la parte inferior del sifón donde se experimentan las mayores cargas hidráulicas. Sin embargo, se identifican problemas de socavación con valores de presión negativos, alcanzando -76.86 mca y -97.93 mca, lo que plantea riesgos para la integridad de la conducción. Estas condiciones adversas, presentes en el régimen permanente, indican la necesidad de abordar y corregir estos problemas antes de que puedan empeorar durante eventos transitorios.

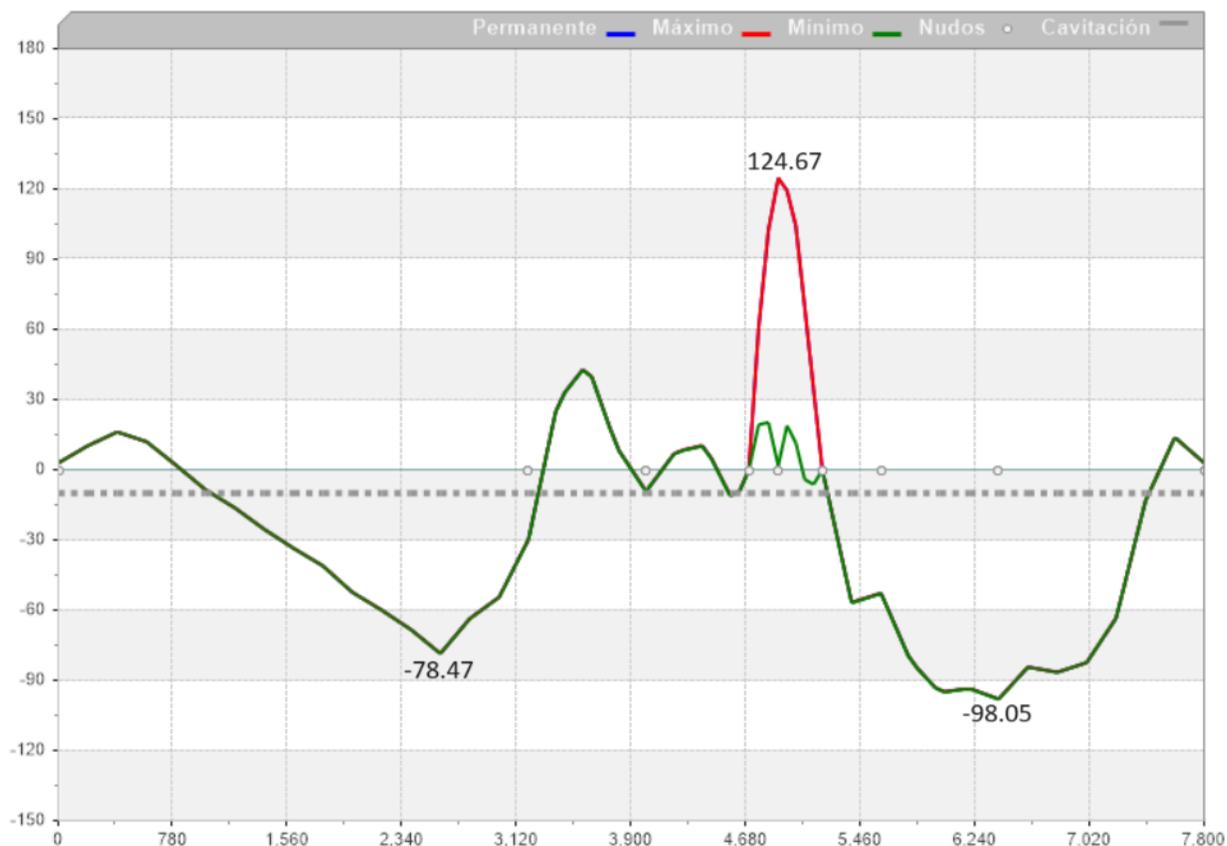


**Figura 28:** *Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente del escenario 4.*

## Régimen transitorio

Al examinar la figura 29, que representa el régimen transitorio, se evidencia una variación mínima en las presiones, lo que sugiere que la apertura de esta válvula no tendría un impacto significativo en la conducción. Las presiones máximas registradas alcanzan los 124.67 metros de columna de agua (mca), una cifra similar a la del régimen permanente, al igual que las presiones

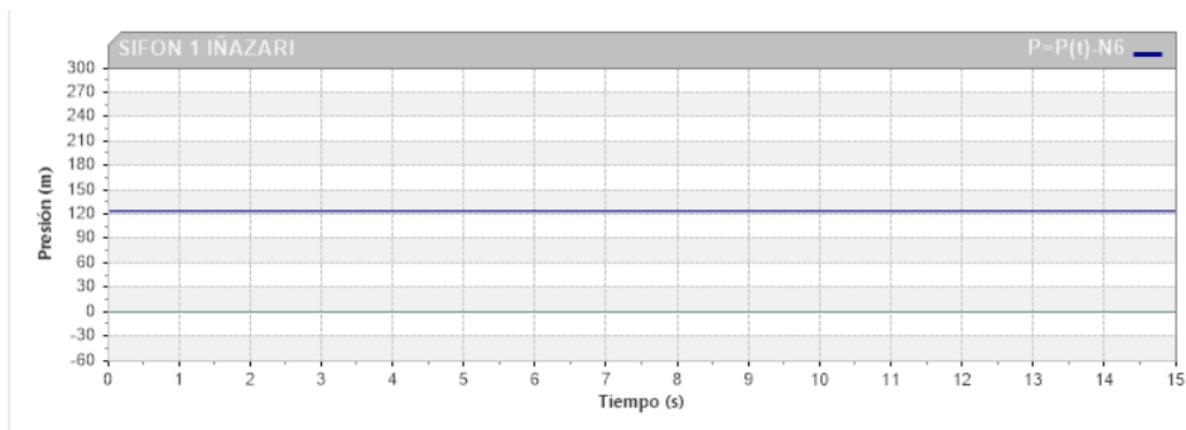
negativas, que se sitúan en torno a los  $-78.47$  mca y  $-98.05$  mca, también comparables con el régimen permanente. Por lo tanto, se puede concluir que este escenario presenta principalmente problemas de socavación y no de sobrepresiones, lo que indica que la integridad estructural del sistema estaría más expuesta a riesgos durante el funcionamiento normal que durante eventos transitorios.



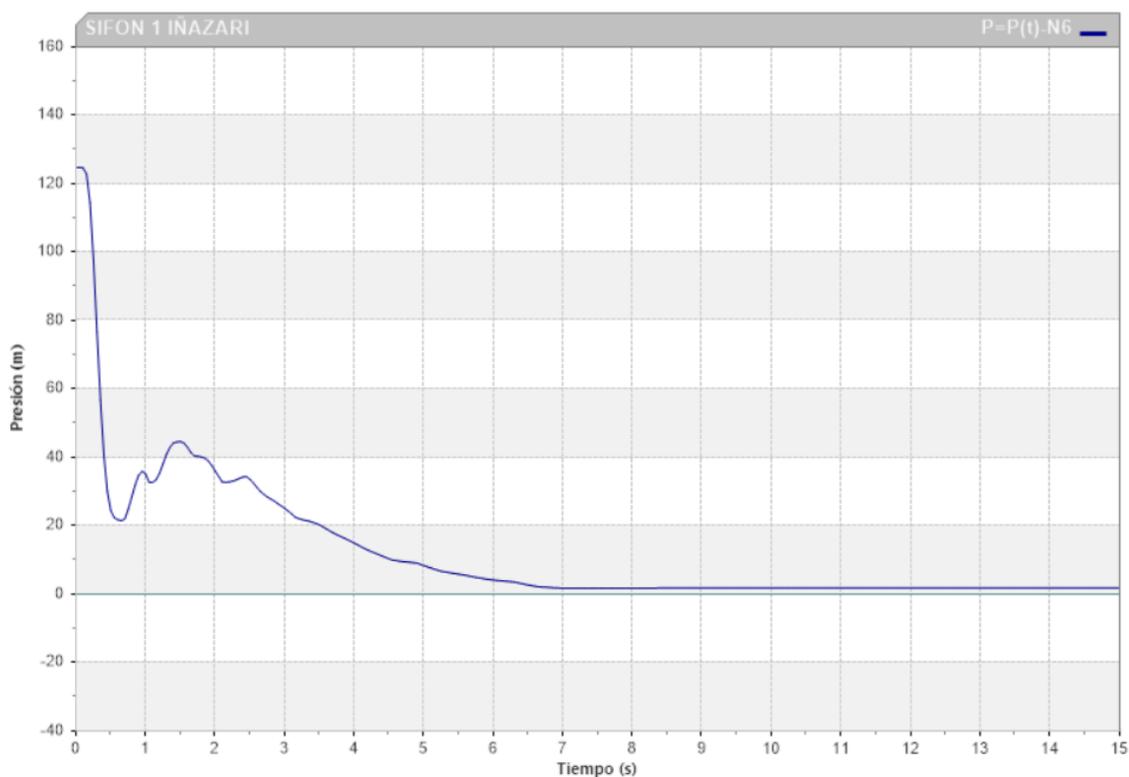
**Figura 29:** *Envolvente de Presiones en el Régimen Transitorio del escenario 4.*

En las figuras 30 y 31 se presenta el comportamiento de la presión en función del tiempo en los nodos durante el régimen permanente y transitorio, correspondiente a la apertura de la válvula a los 6.5 segundos. En el nodo "N6", se registra una presión máxima de 120 metros de columna de agua (mca), la cual se mantiene constante en el régimen permanente en todo el tiempo. Por otro lado, en el régimen transitorio, se observa un valor máximo ligeramente superior de 124.7

mca, con una presión variable durante los primeros 7 segundos para luego estabilizarse y mantener una presión constante muy baja. Este comportamiento sugiere que la presión se va disipando correctamente con el tiempo, lo que puede ser indicativo de una respuesta adecuada del sistema ante la apertura de la válvula.



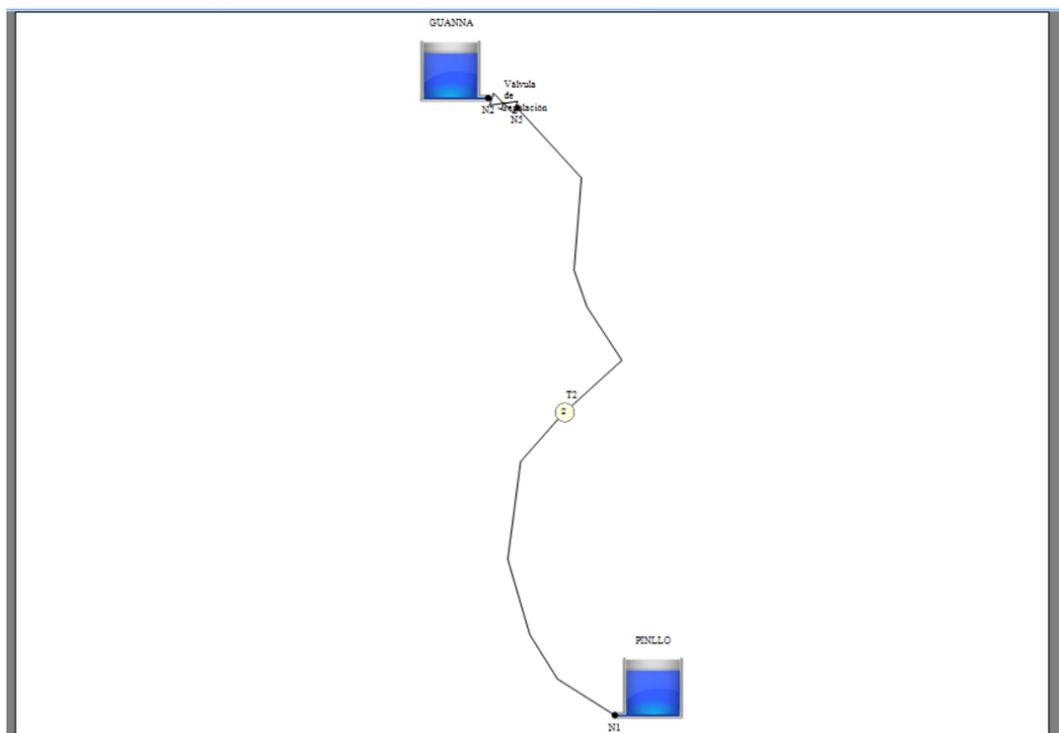
**Figura 30:** Comportamiento del nodo "N6" en régimen permanente



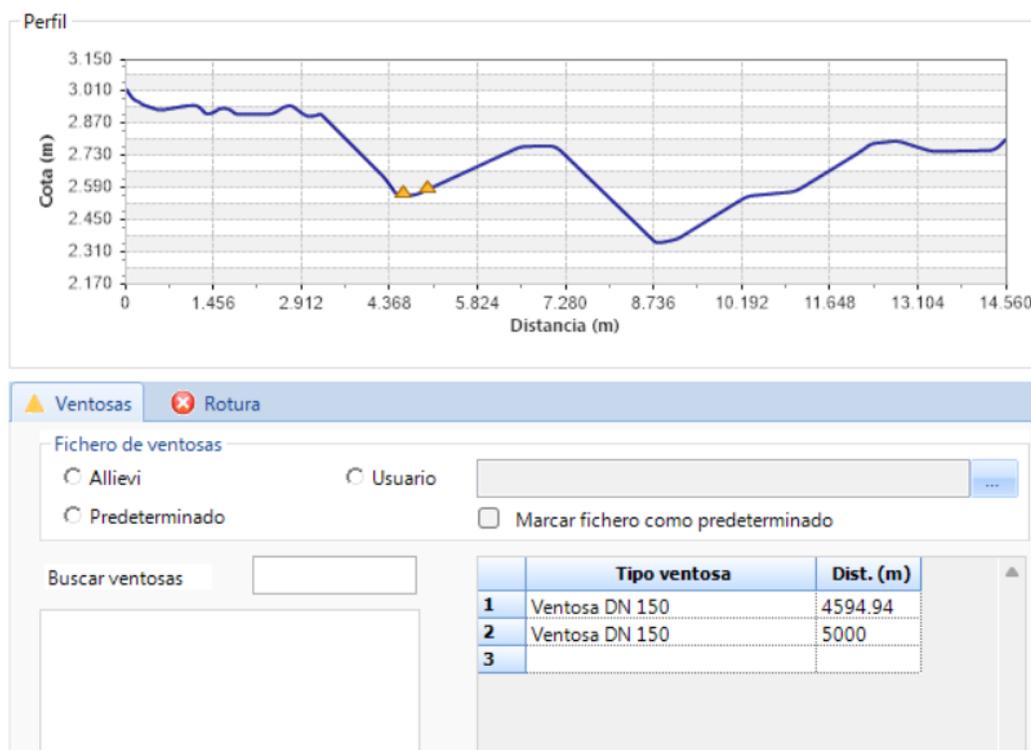
**Figura 31:** Comportamiento del nodo "N6" en régimen transitorio

## 4.2 Modelación de sifón No. 2 Guanña en software Allievi

Para realizar la modelación del sifón 2, se inicia con la creación del dibujo siguiendo el mismo proceso empleado en el sifón 1, se ingresan los datos pertinentes en las figuras 32 y 33, que presentan el dibujo y perfil de la conducción del sifón No.2 Guanña. Una vez completado el ingreso de datos, se procede a la simulación del sistema integrado para realizar análisis tanto en régimen permanente como en régimen transitorio.



**Figura 32:** Dibujo en la interfaz de Allievi del sifón 2



**Figura 33:** Perfil y válvulas de aire de la conducción del sifón 2

Se propondrán diferentes escenarios para la simulación del sifón No.2 Guanña, cada uno con el objetivo de obtener resultados que proporcionen una comprensión adecuada del funcionamiento del sifón. A continuación, se describen los detalles de cada escenario:

### Escenario 1

En este primer escenario, se planea instalar una válvula de purga en la abscisa 5+200 m. Esta válvula será manipulada con el propósito de cumplir su función principal, que es la de evacuar agua cuando sea necesario realizar mantenimiento en el sistema.

### Escenario 2

Para el Escenario 2, se propone la ubicación de una válvula al final de la conducción, en la abscisa 12+600 m. Esta válvula permitirá controlar el flujo de agua al final del recorrido de la conducción del sifón No.2 Guanña.

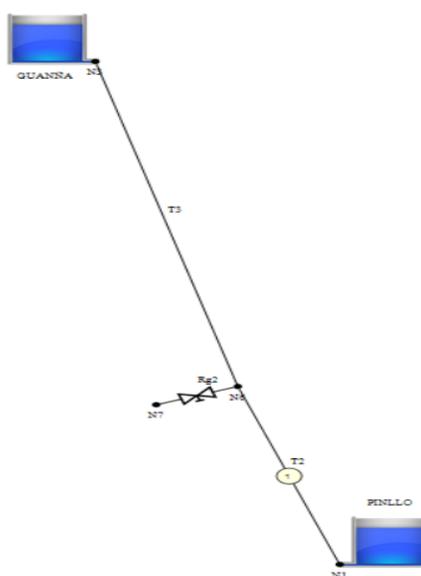
### Escenario 3

En el escenario 3, se considerarán todos los accesorios existentes en la conducción, lo que incluye válvulas de purga, válvulas de aire y válvulas de regulación de presión. Además, se incluirá información sobre el diámetro y el material correspondiente a cada tramo de la conducción del sifón No.2 Guanña. Además, se abrirán las dos válvulas de purga para simular cuando se haga el correspondiente mantenimiento del sistema.

Posteriormente, se analizarán los escenarios más críticos de cada simulación, los cuales revelarán posibles problemas de golpe de ariete debido a los tiempos de cierre más cortos de las válvulas.

#### 4.2.1 Escenario 1: Apertura de la válvula purga en la abscisa 5+200 del sifón No. 2 Guanña

En la figura 34 se ilustra el escenario 1 considerado para la simulación, de igual manera que para el sifón No. 1 Iñasari se realiza para el sifón No. 2 Guanña el cálculo del régimen permanente el cual se establece como el escenario fundamental para la evaluación de un sistema hidráulico frente a los efectos del golpe de ariete y para el cálculo del régimen transitorio se considera un tiempo de apertura de 8 segundos para la válvula purga, un periodo inferior al tiempo característico.



**Figura 34:** Dibujo del escenario 1 en Allievi

## Régimen permanente

Con los datos de entrada establecidos, se procedió a ejecutar el modelo para el régimen permanente, generando así la gráfica de envolventes de presión, figura 35 donde se plasma la envolvente de presión en régimen transitorio en la cual se puede observar que existe presiones máximas de 397.24 mca en la abscisa 4+510.84m y 541.34 mca en la abscisa 8+773.02m.

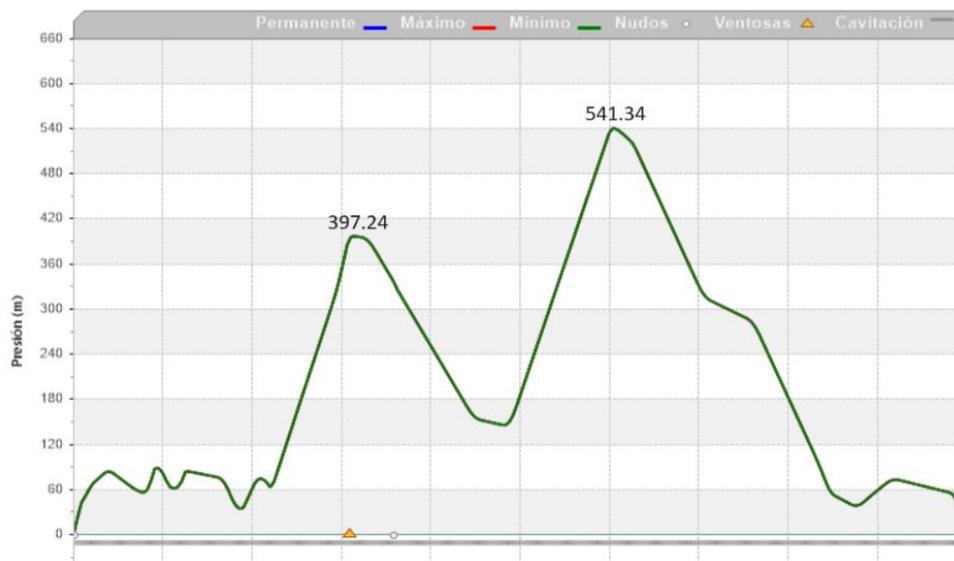
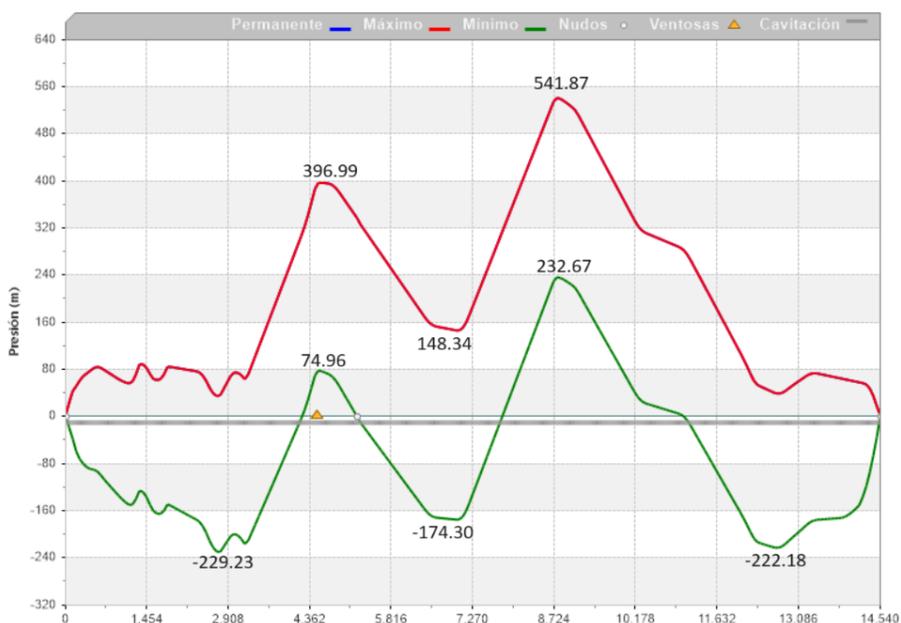


Figura 35: Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente

## Régimen transitorio



**Figura 36:** *Envoltentes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de cierre rápido de 8 segundos*

En el análisis de la Figura 36, que representa la fase transitoria del sistema, se observan dos valores máximos para el golpe de ariete, resaltados por la línea roja. Estos valores alcanzan los 396.99 mca en la abscisa 4+510.84m, ubicada en el primer punto bajo del sifón, y los 541.87 mca en la abscisa 8+773.02m, correspondiente a la parte de llegada del sifón, que es la zona más baja del mismo.

Además de los valores máximos de golpe de ariete, se identifican tres puntos críticos en la red donde se sugiere la presencia de subpresión. Estos puntos se caracterizan por valores negativos, siendo de -229.23 mca en la abscisa 2+756.63m, -174.30 mca en la abscisa 6+955.16m, y -222.18 mca en la abscisa 12+702.14m, lo que indica una situación preocupante en términos de presión en estos puntos de la red.

#### **Análisis y comparación de resultados entre régimen permanente – régimen transitorio**

En las figuras 35y 36 se evidencia que las presiones máximas apenas presentan variaciones mínimas tanto en el régimen permanente como en el transitorio, con valores de 396.99 y 541.87 respectivamente. No obstante, se identifican subpresiones negativas significativas que podrían ocasionar daños en la conducción, tanto en el inicio como en el final del sistema. Estas subpresiones se manifiestan con valores de -229.23 mca en la abscisa 2+756.63, -174.30 en la abscisa 6+955.16 y -222.18 en la abscisa 12+7021. Para contrarrestar estos efectos adversos, se sugiere la implementación de elementos de protección o una adecuada manipulación de la válvula durante la operación del sistema.

#### 4.2.2 Escenario 2: Cierre de la válvula al final de la conducción del sifón No. 2 Guanña

En la figura 37 se ilustra el escenario 2 considerado para la simulación, con los datos de entrada establecidos, se procedió a ejecutar el modelo para el régimen permanente, generando así la gráfica de envolventes de presión.

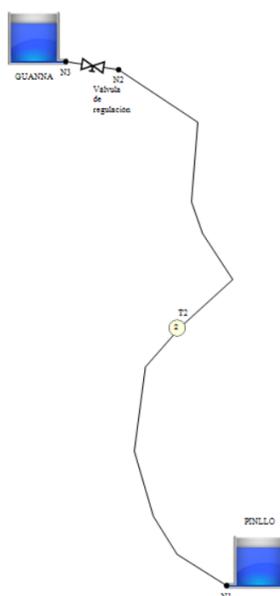


Figura 37: Dibujo del escenario 2 en Allievi

#### Régimen permanente

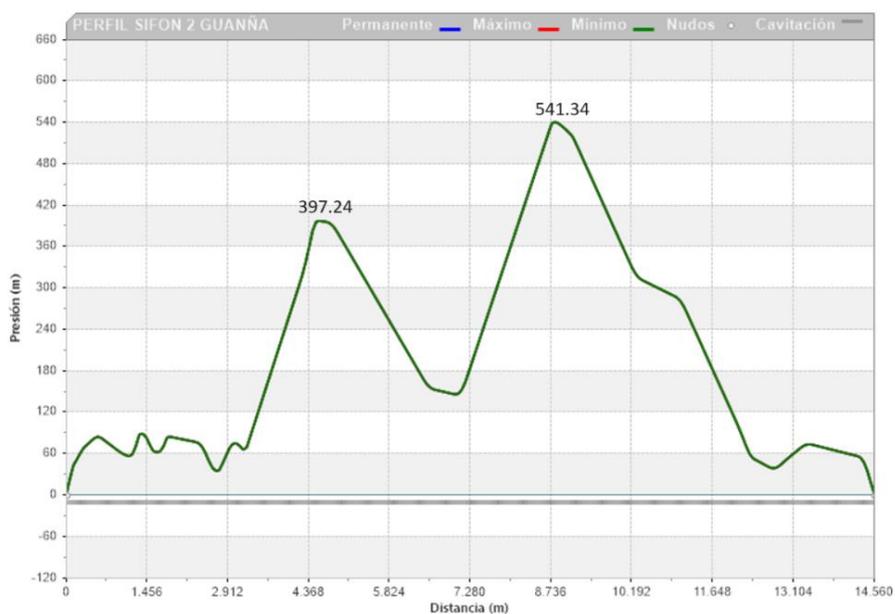
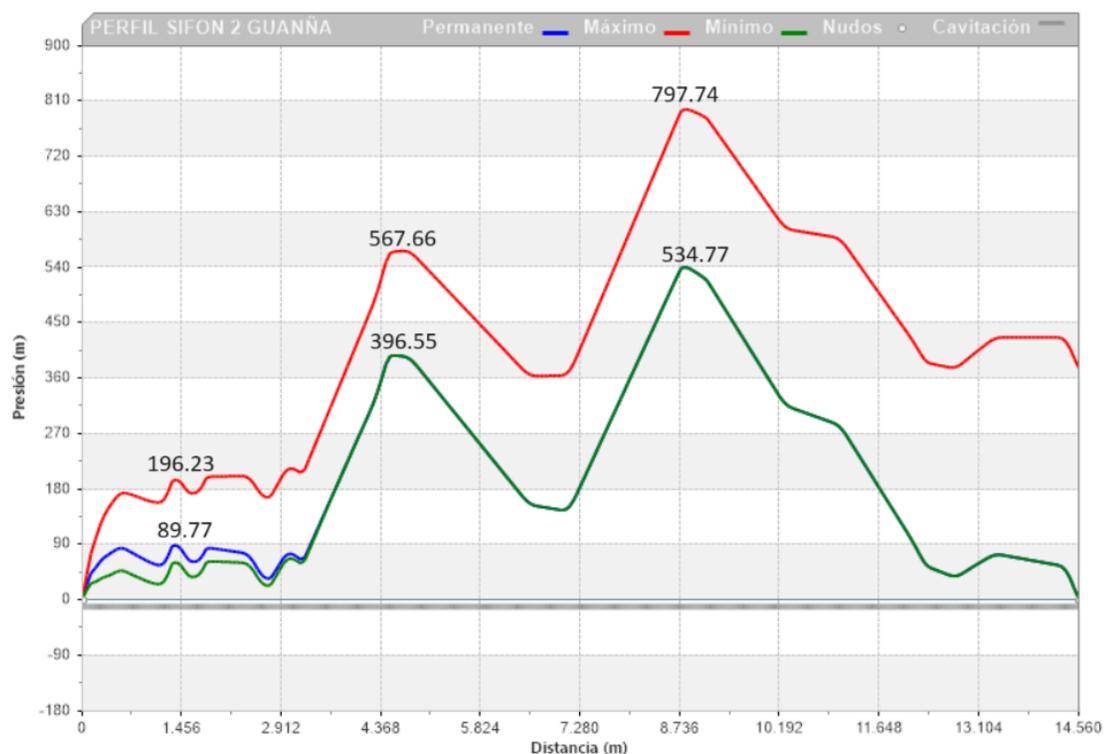


Figura 38: Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente

Como se evidencia en la Figura 38, se observan las presiones máximas en el régimen permanente, las cuales se sitúan en 397.24 y 541.34 mca. Estos valores representan las condiciones en las cuales el sistema opera de manera estable, sin la presencia del fenómeno del golpe de ariete, lo que indica el comportamiento típico de la conducción en condiciones normales de operación.

### Régimen transitorio

Para la simulación del régimen transitorio se adoptó un tiempo de cierre para la válvula de regulación de 20 segundos, siendo un tiempo inferior al tiempo característico.



**Figura 39:** Envolventes de presión para régimen transitorio a partir de un tiempo de cierre de 20 segundos

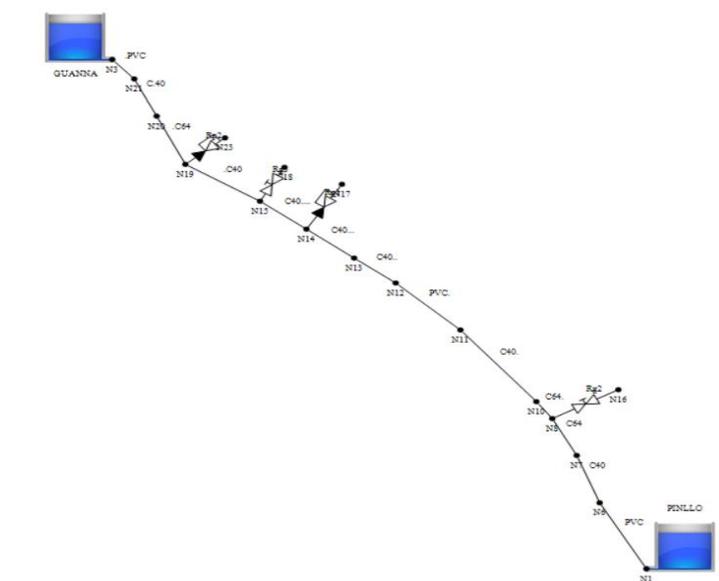
Al analizar la figura 39, que representa el régimen transitorio, se destacan un valor máximo para el golpe de ariete, indicados por la línea de color rojo. El valor, de 797.74 m.c.a., se encuentra en la abscisa 8+810.99 m. Además, se observa la reducción del pico de presiones máximas respecto a las presiones mínimas con un valor de 534.77m

## Análisis y comparación de resultados entre régimen permanente – régimen transitorio

El análisis de estos escenarios implica la comparación de las gráficas del régimen permanente figura 38 con la envolvente de presión del régimen transitorio de la figura 39. Se destaca la presencia de sobrepresiones significativas en el punto bajo del sifón, específicamente en la abscisa 8+8810.99, donde la presión alcanza 797.74 mca, superando ampliamente la capacidad admisible de la tubería de hierro fundido C40, la cual soporta hasta 5500 mca. En este escenario, existe el riesgo de ruptura de la tubería. En comparación, el régimen permanente muestra condiciones normales, con una presión máxima de 534.77 mca, por debajo de los límites admisibles del material. Además, no se observan problemas de subpresión en el régimen permanente.

### 4.2.3 Escenario 3: Operación completa del sifón 2 del sifón No. 2 Guanña

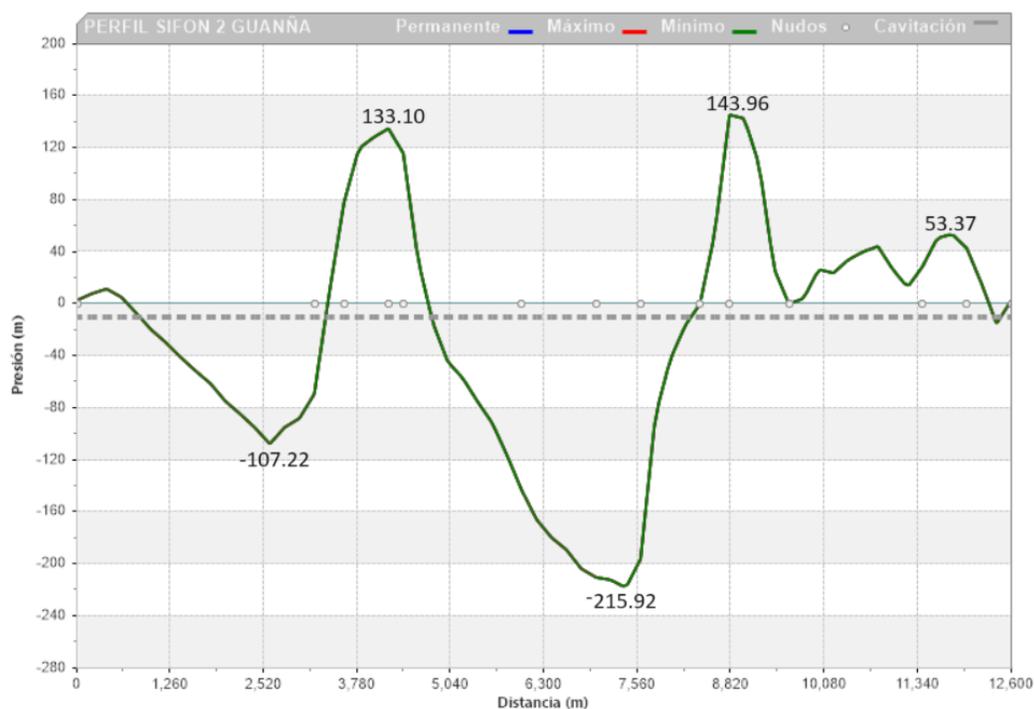
Para este escenario, se considerará el funcionamiento integral del sifón, incluyendo todos sus accesorios correspondientes, así como las características específicas de la tubería, tales como diámetro y tipo de material, en cada tramo de la conducción, para el régimen permanente las dos válvulas de purga estarán completamente cerradas. En la figura 40 se exhibe la topología del sifón No. 2 Guanña, la cual servirá como base para la simulación del sistema.



**Figura 40:** Dibujo del escenario 4 en Allievi

## Régimen permanente

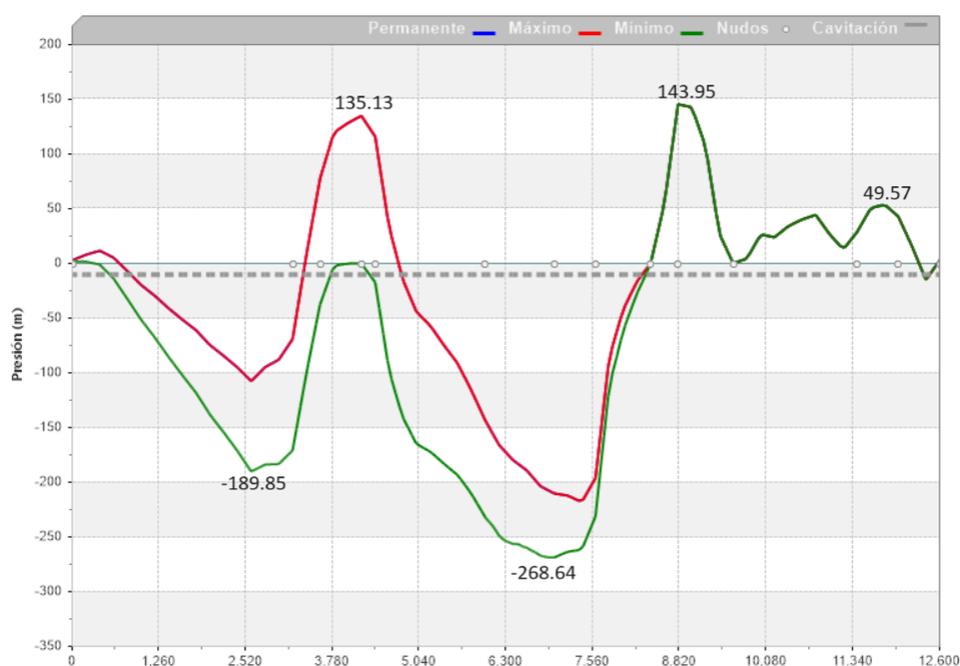
Con los datos ingresados en el programa, se procede a ejecutar la simulación, generando así las gráficas de envolvente de presión en régimen permanente que se muestran en la figura 41, las cuales muestran las presiones máximas y mínimas presentes en la conducción cuando el sifón opera en condiciones normales. Se observan valores máximos de presión de 133.10 mca en la abscisa 4+140 (primer punto bajo del sifón), así como en la abscisa 8+923.08 con una presión de 143.96 mca (Segundo punto bajo del sifón). Además, se registran subpresiones en el sistema de -107.22 mca en la abscisa 2+596.23m y de -215.92 mca en la abscisa 7+420m. Al analizar la gráfica, se evidencian presiones significativas que la tubería puede resistir; sin embargo, se identifican problemas de subpresión que pueden comprometer la integridad de la conducción.



**Figura 41:** Envolvente de Presiones en el Régimen Permanente

## Régimen transitorio

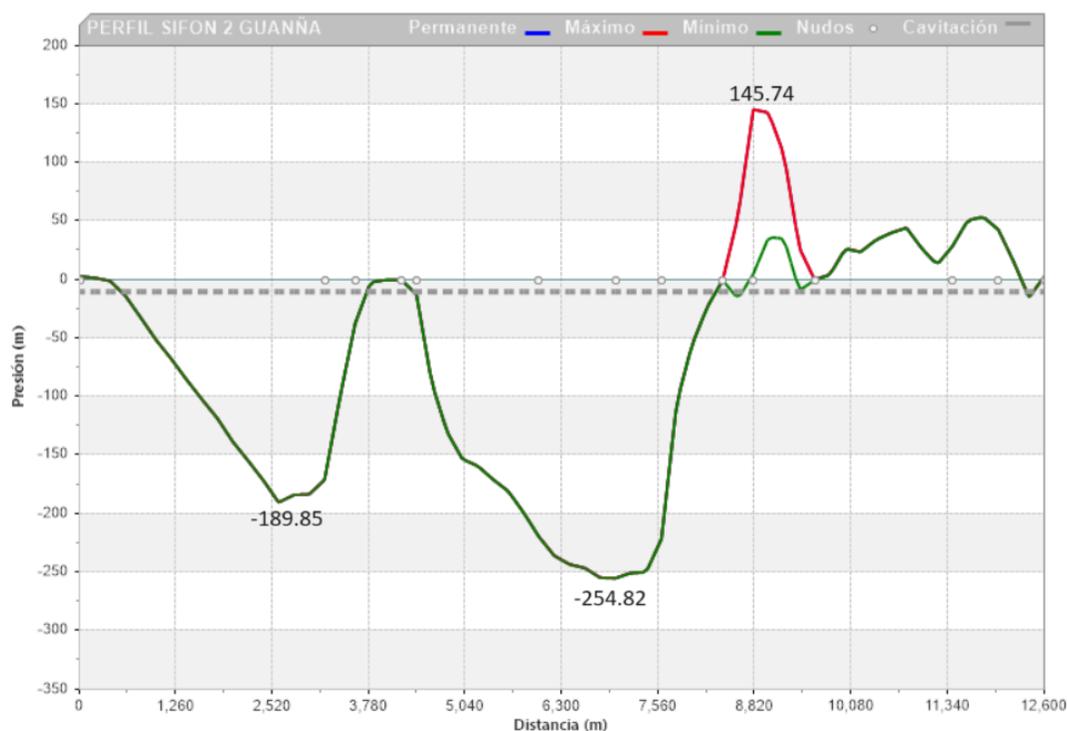
Para el régimen transitorio, se establece un tiempo de apertura de válvula de 6.5 segundos para la primera válvula purga ubicada en la abscisa 4+200, la cual se abre durante el mantenimiento para reducir la carga de agua en la conducción. Como se observa en la figura 42, las presiones máximas varían en lo mínimo, lo que indica un comportamiento adecuado del sistema. Sin embargo, las presiones negativas aumentan considerablemente, con valores de -189.85 mca en la abscisa 3+200m y -268.64 mca en la abscisa 7+000m, lo cual no es favorable para el funcionamiento óptimo de la conducción.



**Figura 42:** Envolvente de Presiones en el Régimen transitorio para la apertura de la válvula en la abscisa 4+200

Posteriormente, se determinó un tiempo de apertura de 14 segundos para la válvula ubicada en la parte baja del sifón en la abscisa 8+800, mientras que la válvula en la abscisa 4+200 permanecerá abierta, simulándose también su operación durante el mantenimiento de la conducción. En la figura 43 se presenta la envolvente de presiones en régimen transitorio para cuando esta válvula se abra, donde se observa que las sobrepresiones máximas en la abscisa

4+140m disminuye llegando a 0 mca mientras que en la abscisa 8+923.08m se mantienen constantes, por otra parte, las subpresiones aumentan a valores de -189.85 mca en la abscisa 2+608m y -254.82 mca en la abscisa 6+939, indicando una reducción de las sobrepresiones al abrir las dos válvulas, pero un aumento de las subpresiones, lo que podría comprometer la integridad del sistema.

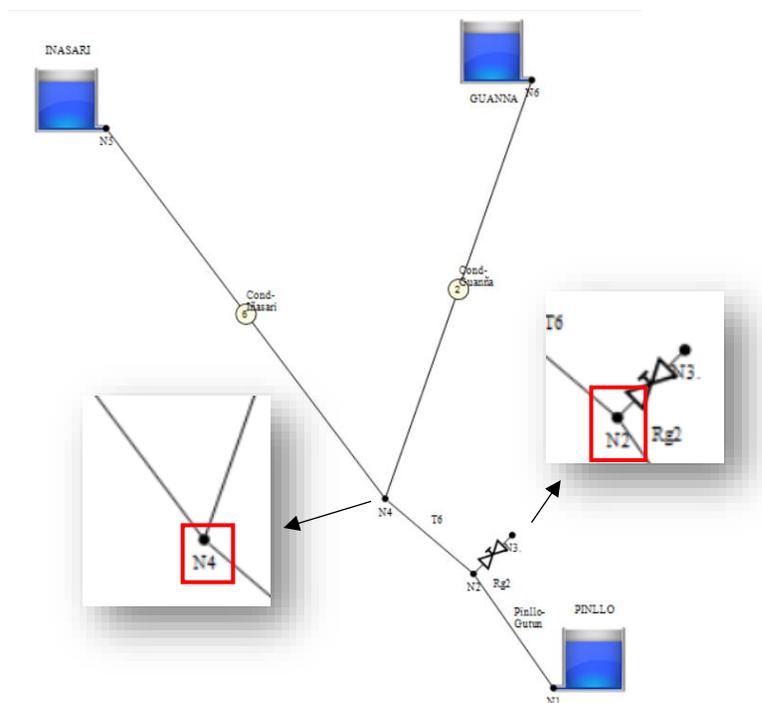


**Figura 43:** *Envoltura de Presiones en el Régimen Transitorio para la apertura de la válvula en la abscisa 8+800*

### 4.3 Modelación integral de sifón No. 1 Iñasari y sifón No. 2 Guanña

Para la modelación integral de los sifones, se emplea el mismo procedimiento utilizado previamente en la modelación de los sifones individuales. En este caso, se propone un escenario donde se considera la instalación de una válvula de regulación en la abscisa 2+800 la cual estará completamente abierta. El propósito de esta válvula es suministrar agua de riego a las comunidades circundantes, teniendo en cuenta el sistema integral compuesto por los dos sifones.

En la Figura 44 se muestra el dibujo del sistema integral, donde se destacan los nodos "N2" y "N4", los cuales son especialmente críticos en estas simulaciones. Estos nodos se seleccionan debido a su importancia en la evaluación del comportamiento hidráulico del sistema, representando puntos clave donde se concentran las presiones y flujos más relevantes.

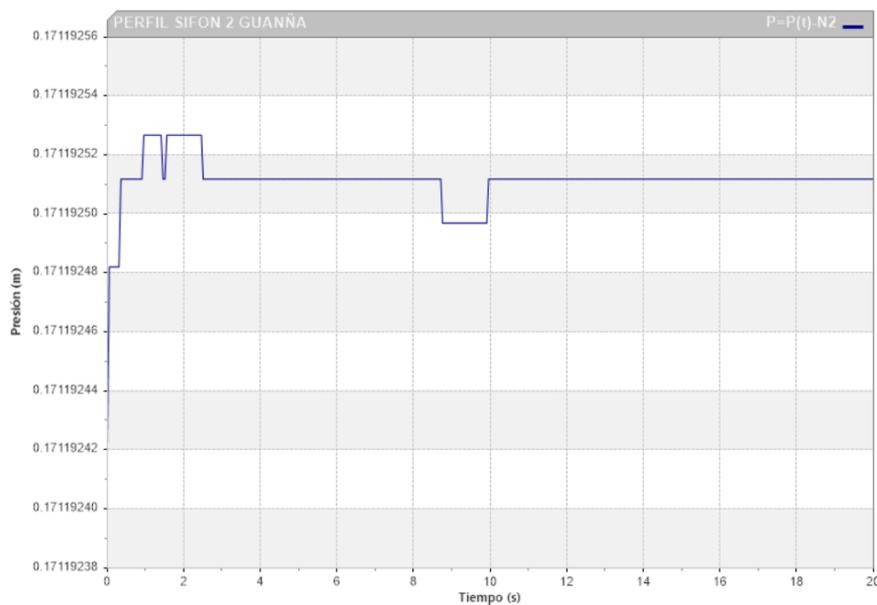


**Figura 44:** Dibujo de del sistema integral del sifón 1 y sifón 2

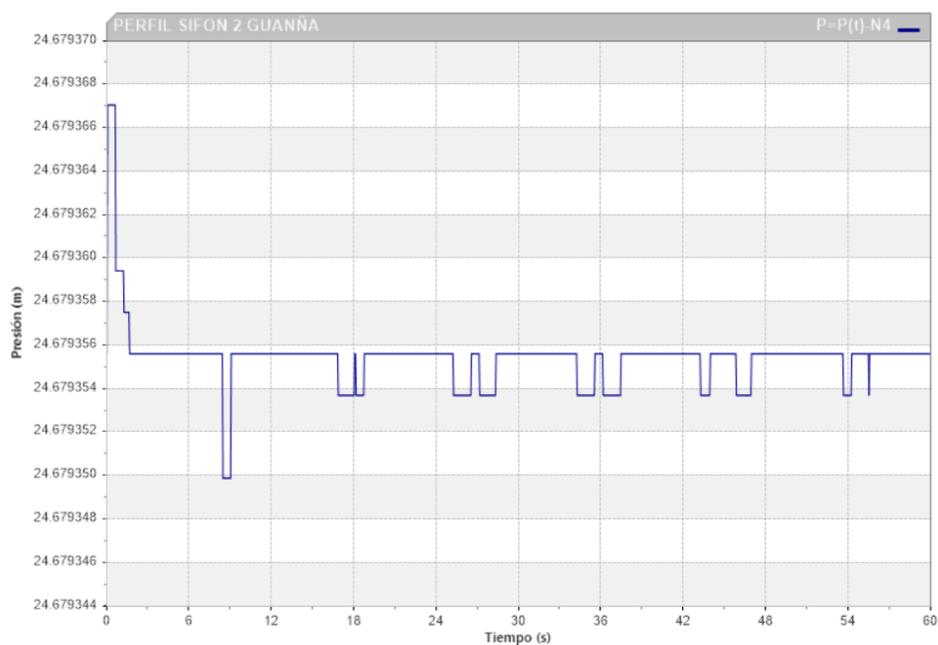
### Régimen permanente

En las figuras 45 y 46 se muestra el comportamiento de la presión en función del tiempo para los nodos en régimen permanente. En el nodo "N2", se observa una presión relativamente baja, con un máximo de 0.17119253 mca, la cual permanece inestable durante los primeros 4 segundos para luego mantenerse constante después de los 10 segundos. Por otro lado, en el nodo "N4", la presión varía con el tiempo, mostrando un valor máximo de 24.679367 mca. Esta presión se mantiene variable durante los primeros 55 segundos, para luego estabilizarse. Estas presiones son considerablemente más altas en comparación con el nodo "N2", lo cual es esperable dado que

el nodo "N4" es el punto donde se dividen los sifones, lo que implica una mayor carga hidráulica en este punto del sistema.



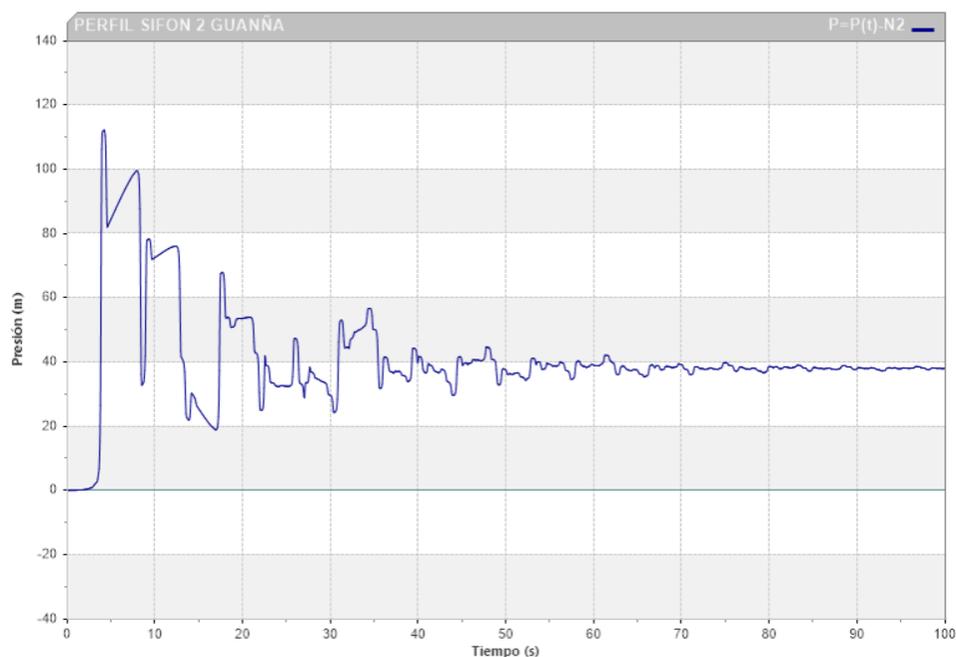
**Figura 45:** Comportamiento del nudo "N2" en régimen permanente



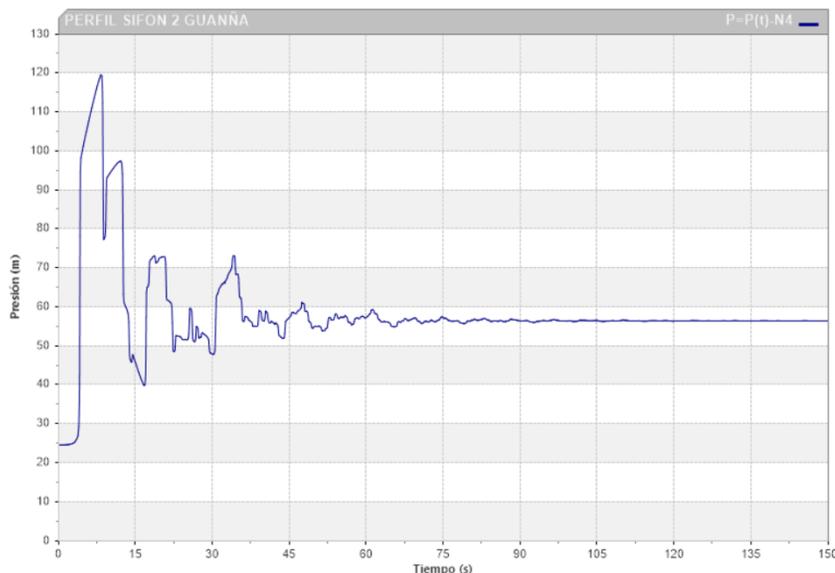
**Figura 46:** Comportamiento del nudo "N4" en régimen permanente

### Régimen transitorio

En las figuras 47 y 48 se presenta el comportamiento de la presión en función del tiempo en los nodos durante el régimen transitorio, correspondiente al cierre de la válvula a los 4 segundos. En el nodo "N2", se registra una presión máxima de 110 mca, la cual exhibe inestabilidad durante los primeros 70 segundos antes de estabilizarse en torno a los 39 mca. Por su parte, en el nodo "N4" se observa un valor máximo de 119 mca, con una presión variable durante los primeros 75 segundos para luego estabilizarse en aproximadamente 55 mca. Estos resultados indican que el sistema puede soportar las presiones generadas por el golpe de ariete, manteniendo una operación estable y sin comprometer la integridad de la conducción.

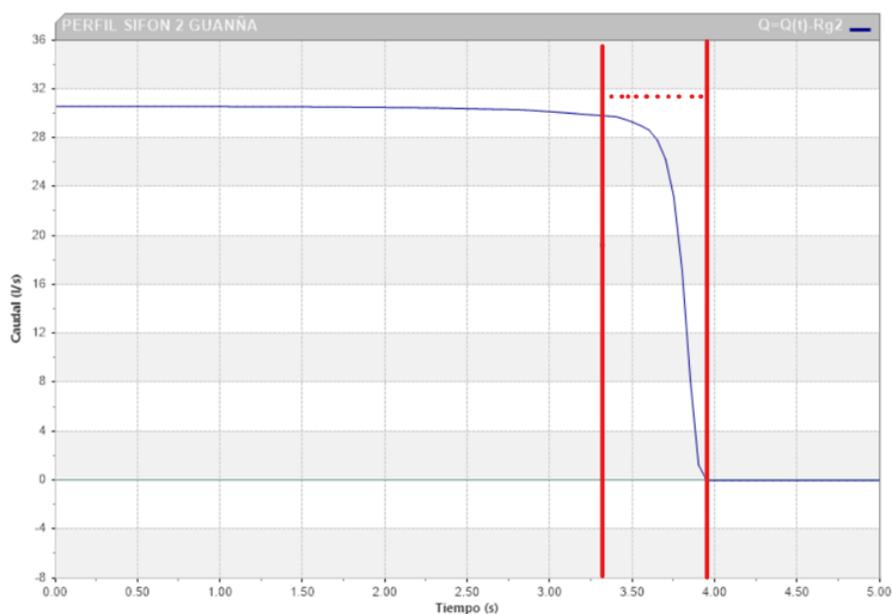


**Figura 47:** Comportamiento del nudo "N2" en régimen transitorio



**Figura 48:** Comportamiento del nudo “N4” en régimen transitorio

Tras la ejecución del programa Allievi, se obtiene la representación gráfica del caudal en función del tiempo para la válvula de regulación, exhibida en la figura 49. En esta representación, se aprecia un patrón lineal del caudal sin interrupciones hasta alcanzar el segundo 3.4. Sin embargo, a partir del segundo 3.4 hasta el segundo 3.9, se observa un cambio abrupto en el caudal, evidenciando una variación significativa en un intervalo de tan solo 0.5 segundos.



**Figura 49:** Gráfica caudal vs tiempo de la válvula de regulación para un cierre de 5 segundos

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La evaluación del funcionamiento del sifón Pinllo Iñasari-Guaña del sistema de riego Cerro Negro Churuco, mediante el uso del software Allievi, ha sido un proceso integral que ha permitido abordar diferentes aspectos operativos con el objetivo de alcanzar un desempeño óptimo del sistema. En este contexto, los objetivos específicos planteados han guiado el análisis detallado de la operación del sifón, proporcionando información para la toma de decisiones y la mejora continua del sistema.

Los resultados obtenidos de la simulación del escenario 4, que comprende la operación completa del sifón No. 1 Iñasari con todos sus componentes y características de la tubería, proporcionan una comprensión integral de su comportamiento hidráulico. En el régimen permanente, se observan presiones máximas de hasta 124.77 mca en la abscisa 4+900m, la cual se encuentra a 400 metros arriba de la válvula purga colocada al fondo del sifón. Estas presiones se mantienen dentro de los límites aceptables para la capacidad de carga de la tubería, que es de 5500 mca. Las presiones bajas registradas se atribuyen a la instalación de válvulas de admisión de aire en puntos estratégicos donde las presiones fueron más altas y donde hubo cambios bruscos de pendiente, como en áreas con topografía accidentada. Además, se identifican subpresiones significativas, como -78.47 mca en la abscisa 2+661.28m y -98.05 mca en la abscisa 6+400m. Estas subpresiones pueden mitigarse mediante la colocación de más válvulas de admisión de aire, chimeneas o calderines. Se sugiere que la adecuación de los tiempos de cierre de las válvulas contribuiría a la disipación de estas subpresiones y al mantenimiento de un comportamiento hidráulico estable en el sistema.

Los resultados obtenidos del escenario 3, que contempla la operación completa del sifón No. 2 Guaña junto con todos sus accesorios y características de la tubería, proporcionan una visión

detallada de su comportamiento hidráulico tanto en régimen permanente como transitorio. En el régimen permanente, se observan valores máximos de presión significativos, alcanzando un máximo de 143.96 mca en la abscisa 8+923.08m (segundo punto más bajo del sifón) lo que sugiere que la tubería puede resistir sobrepresiones considerables. Sin embargo, la presencia de subpresiones bajas de -215.92 mca en la abscisa 7+000m es preocupante, ya que indica problemas que podrían comprometer la integridad de la conducción, especialmente inquietante dado que en el régimen permanente se presentan, donde no se esperaría tales anomalías. Durante el régimen transitorio, se observa que las presiones máximas se mantienen relativamente estables; sin embargo, se presenta un aumento considerable en las presiones negativas en ciertas abscisas, lo que indica una respuesta inadecuada del sistema. Este incremento en las subpresiones, ilustrado por valores críticos como -268.64 mca en la abscisa 7+000, genera preocupaciones sobre la integridad del sistema y sugiere la necesidad de tomar medidas correctivas. En este sentido, se plantea la instalación de válvulas de admisión de aire, calderines o chimeneas en puntos estratégicos donde se detecten subpresiones significativas. Un ejemplo de la efectividad de estas medidas se evidenció en el escenario 2, donde se realizó la apertura de dos válvulas de purga colocadas en la conducción del sifón No. 1 Iñasari. Esta acción resultó en una notable mejora en la estabilidad del sistema, con una considerable disminución de las subpresiones en los puntos donde se instalaron las válvulas de admisión de aire. Dichos puntos eran precisamente aquellos que se encontraban en los puntos más altos o donde la pendiente del terreno cambia drásticamente, lo que demuestra la eficacia de estas soluciones para mitigar los efectos adversos del golpe de ariete en el sistema de tuberías.

Finalmente, la identificación de posibles mejoras en el diseño y funcionamiento del sifón ha permitido proponer soluciones específicas, como el aumento de espesores de tubería y el uso de materiales adecuados, destacando en materiales la tubería de hierro dúctil C40 y C60 por su

capacidad de resistir altas presiones. Se ha observado que la consideración de tiempos largos de maniobra de válvulas es crucial, ya que tiempos de cierre más cortos generan mayores presiones. Las válvulas de control de golpe de ariete deben colocarse estratégicamente en lugares donde se producen cierres rápidos de válvulas o cambios bruscos en la velocidad del flujo, como cerca de válvulas de cierre rápido, como de compuerta o las de bola, así como en puntos de cambio de dirección, unión de tramos de tubería y cerca de equipos de bombeo, donde los arranques o paradas bruscas pueden generar el golpe de ariete. Estas medidas, junto con otras prácticas recomendadas, contribuirán significativamente a optimizar el rendimiento del sistema y garantizar su funcionamiento seguro y eficiente a largo plazo.

## **5.2 Recomendaciones**

Para garantizar un modelado preciso y eficiente del sistema de distribución mediante el software ALLIEVI, se sugiere emplear como punto de partida un archivo de AutoCad que haya sido previamente configurado con todas las características topográficas y estructurales pertinentes al proyecto. Esto se debe a que, a pesar de ser una herramienta de análisis, la interfaz de dibujo y trazado de ALLIEVI es elemental en comparación con las capacidades avanzadas de diseño y representación de estos programas de diseño asistido por computadora. Utilizar archivos preparados en AutoCad permite una integración más fluida de la información y proporciona una base sólida para la simulación y evaluación de diversas configuraciones del sistema de distribución, optimizando así el proceso de modelado y análisis hidráulico.

Se recomienda mantener un inventario de repuestos que incluya los componentes más propensos a sufrir desgaste o daños, como válvulas, juntas, accesorios de conexión y elementos de sellado. Este stock de repuestos debe ser actualizado periódicamente y debe contemplar la disponibilidad inmediata de los elementos críticos para minimizar el tiempo de inactividad del

sistema en caso de fallos. Es importante realizar un análisis de riesgos para identificar los repuestos más susceptibles a daños y asegurar que se cuente con una cantidad suficiente de cada uno de ellos en el almacén.

Se sugiere continuar trabajando con conducciones de sifón para el sistema de riego, dadas sus ventajas en términos de eficiencia hidráulica y capacidad para transportar grandes volúmenes de agua a largas distancias. Sin embargo, es fundamental implementar medidas de control y monitoreo adecuadas para mitigar los efectos adversos del golpe de ariete y garantizar la integridad del sistema. Esto incluye la instalación de dispositivos de protección, el ajuste de los tiempos de maniobra de las válvulas y la realización de inspecciones regulares para detectar y corregir posibles problemas de manera oportuna. Además, se recomienda realizar un análisis de costos y beneficios para evaluar la viabilidad económica y técnica de este tipo de conducciones en comparación con otras alternativas disponibles en el mercado.

Se recomienda mantener el funcionamiento del sistema en régimen permanente, lo cual se lograría principalmente mediante el mantenimiento de un caudal constante de ingreso a los sifones. Esta medida contribuirá a estabilizar las condiciones hidráulicas dentro del sistema, minimizando la aparición de transitorios y reduciendo la probabilidad de que ocurran fenómenos como el golpe de ariete.

Mantener un caudal constante garantiza una operación más uniforme y predecible de los sifones, lo que a su vez ayuda a preservar la integridad estructural de las tuberías y otros componentes del sistema hidráulico. Además, al mantener un régimen permanente, se facilita el monitoreo y control del sistema, lo que permite una gestión más eficiente de los recursos hídricos y una operación más segura y confiable en general.

### 5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu J., Cabrera E. Espert V., B., G.-S. J. S. (2016). *Transitorios hidráulicos*.
- Ávila, R. (2018). *Evaluación del comportamiento hidráulico ante efectos de golpe de ariete del tramo " Tanque de carga Chone" del sistema regional de agua potable de Esmeraldas y su zona de influencia, considerando estados de flujo permanente y no permanente*.
- Bastidas, J. (2011). *ESTUDIO DEL PROCESO MANUAL DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SUPLEX PARA EL SOPORTE DE LAS VENTANAS DE LA CARROCERÍA METÁLICA Y SU CONSECUENCIA EN LA CALIDAD FINAL, EN INDUSTRIA CARROCERIAS ALME"*.
- Cabrera, S. X., David, N., & Velasco, A. T. (2012). *Diseño de las líneas de vapor para el calentamiento de los tanques de almacenamiento de combustible de la central térmica Miraflores*.
- Coronel Ramírez, Á., Vázquez Moreno, G., & Saquisili Ramírez, N. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Año 2015 Ordenamiento Territorial Diagnóstico Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial San Bartolomé*.
- Curillo, G., Eduardo, M., Palaguachi, R., & Eduardo, L. (2016). *Diseño e implementación de un banco de pruebas de circuitos oleo hidráulicos industriales para el laboratorio de sistemas oleo hidráulicos de la escuela de ingeniería mecánica*.
- Daza, L. (2023). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la estación de bombeo de Punyaro de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Otavalo*.
- Escoba, A. (2009). *Criterios modernos de localización de válvulas en redes de distribución de agua potable*.
- Fisher, E. (2017). *Guía de válvulas de control*.

- Gandarillas Prieto, I. (2019). *Problemas típicos de las ventosas, soluciones técnicas disponibles y criterios de selección de las válvulas de aire*.
- Guevara-Rodríguez, G., Vargas-Obando, A., & Quesada-Chanto, J. I. (2021). Prevención del golpe de ariete mediante el control del tiempo de cierre, al usar válvulas hidráulicas automatizadas. *Revista Tecnología En Marcha*, 34, 143–154. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4821>
- IEE. (2013). *Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa cantón Sígsig*. [https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/quevedo/mt\\_quevedo\\_sur\\_movimientos\\_en\\_masa.pdf](https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/quevedo/mt_quevedo_sur_movimientos_en_masa.pdf)
- Jaramillo Tello, P. A., & Vásquez Witt, J. F. (2013). Diseño y construcción de un equipo de laboratorio para modelar el funcionamiento de válvula de aire y de purga en conductos a presión, Quito. *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Facultad de Economía*, 6–24.
- López, F. (2013). *Análisis térmico en el cabezal de la máquina de extrusión de PVC rígido y su efecto en las propiedades mecánicas de probetas normalizadas de tubería de desagüe 110 mm según norma NTE 1374 en la empresa Tumilsa S.A.*
- Martínez, J. (2012). *Diagnóstico del inventario de recursos hídricos en la provincia del Azuay*.
- Mendez Inga, E. F. (2020). *Diseño hidráulico del sifón invertido en la progresiva 6+350 km del canal Ishinca con fines de irrigación – distrito de Tarica – Huaraz*. 10–12. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2131/L02-C389-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moltavan, X. (2021). *Modelación numérica del flujo y comportamiento del Sifón Piura utilizando Ansys*.
- Montalvan, X. (2021). *Modelación numérica del flujo y comportamiento del Sifón Piura utilizando Ansys*.

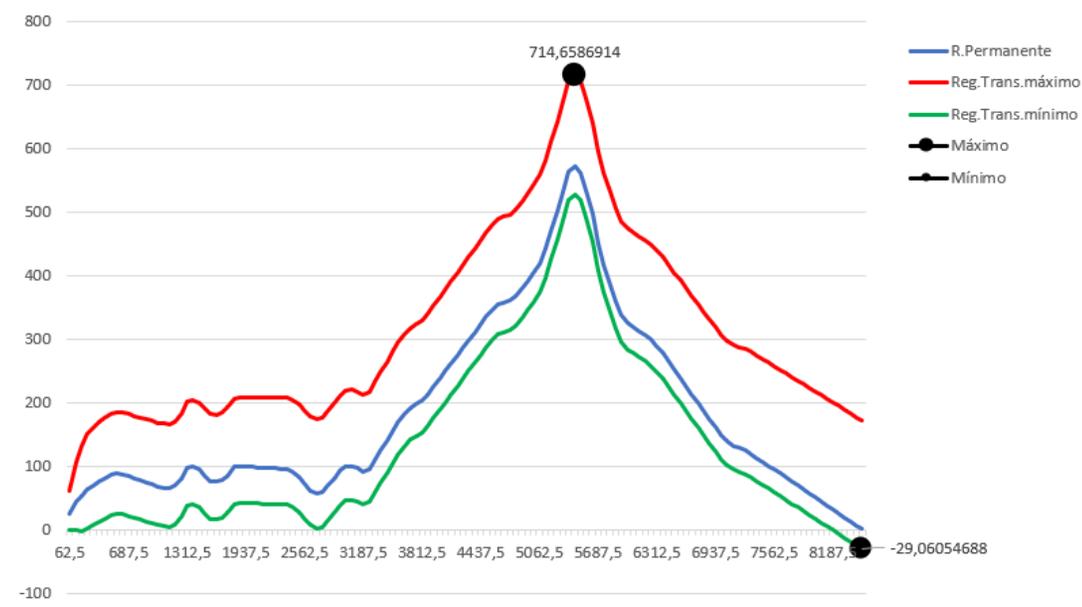
- Montes, K., & Sabogal, L. (2019). *Investigación y análisis hidráulico del golpe de ariete en la conducción y llegada a la PCH de Santa Ana.*
- Navarra Plana, F., & Martínez García, V. (2019). *Modelización de Transitorios Hidráulicos. Resolución numérica del Golpe de Ariete.*  
[http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/190061/TFM\\_Navarro\\_Plana%2C\\_Francisco\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/190061/TFM_Navarro_Plana%2C_Francisco_.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ortiz, G. (2006). *El golpe de ariete en sistemas de abastecimiento de agua potable. 1*(January), 1–134. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
- Paredes Carmona, R., & Aguilar Moreno, L. (1987). Transitorios hidráulicos en conductos a presión. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 29–52.
- Parra, N., & Patiño Jefe. (2021). *Análisis del Fenómeno Golpe de Ariete en la Tubería de Aducción entre el Embalse de Bucaramanga y la PTAP los Angelinos.* 1–82.
- Paúl, F., & Cañizares, C. (2013). *Control de Calidad de Soldadura y Recubrimientos en la Fabricación de Tubos y Accesorios de Acero para la Conducción de Agua Potable -Proyecto de Rehabilitación Grandes Acueductos Plan Huancavilca.*
- PDOT. (2015). PDOT-Sigsig. *Actualización Del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Sigsig*, 342.
- PDOT-Sígsig, Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Sigsig 342 (2015).
- Pérez Ayme, J. F. (2022). *Diseño hidráulico de la distribución por impulsión del sistema de agua potable, Asociación de Vivienda Santa Rosa II etapa, San Juan de Miraflores.*
- Pérez, R. (1993). *Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación.*

- Ramírez, R. (2015). *Tuberías de Polietileno de alta densidad resistentes al impacto (PE100-RC) destinadas al transporte, distribución y servicio de agua potable.*
- Ríos Cando, L. (2016). *Análisis del flujo transitorio en sistemas de bombeo.*
- Rovira, L., Acosta, A., & Cataldo, J. (2017). Análisis del Modelo de Transitorios Hidráulicos con la Incorporación de la Curva Dinámica Característica de Válvulas de Retención. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 35(5), 227–251.
- Rundman, K. B. I. . F. (2016). *Cast Irons.*
- Salcedo, C. (2014). *Localización y ajustes óptimos De válvulas reductoras de presión (Vrp) en RDAP para Minimizar el índice de agua no contabilizada (IANC). 1*, 160.
- Sánchez, P. (2020). *Optimización del sifón para riego del barrio Salazar Gómez, sector 2.*
- Universidad Politécnica de Valencia. (2015). *ALLIEVI manual técnico* (p. 126).
- Vargas, F. (2017). *“Optimización de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero diámetro 1220 mm (48”), A 3.75 MPa (37.5 Kg/cm<sup>2</sup>)”.*
- Zhunio Vega, J. M. (2015). *Elaboración de un Sistema Informático para el Control Estadístico del Proceso en la Fábrica de TubosPlásticos Rival.*
- Zubieta, D. (2013). *Diseño de sifón hidráulico para un sistema piloto de humedales híbridos como post - tratamiento de de aguas residuales de una porcícola.*

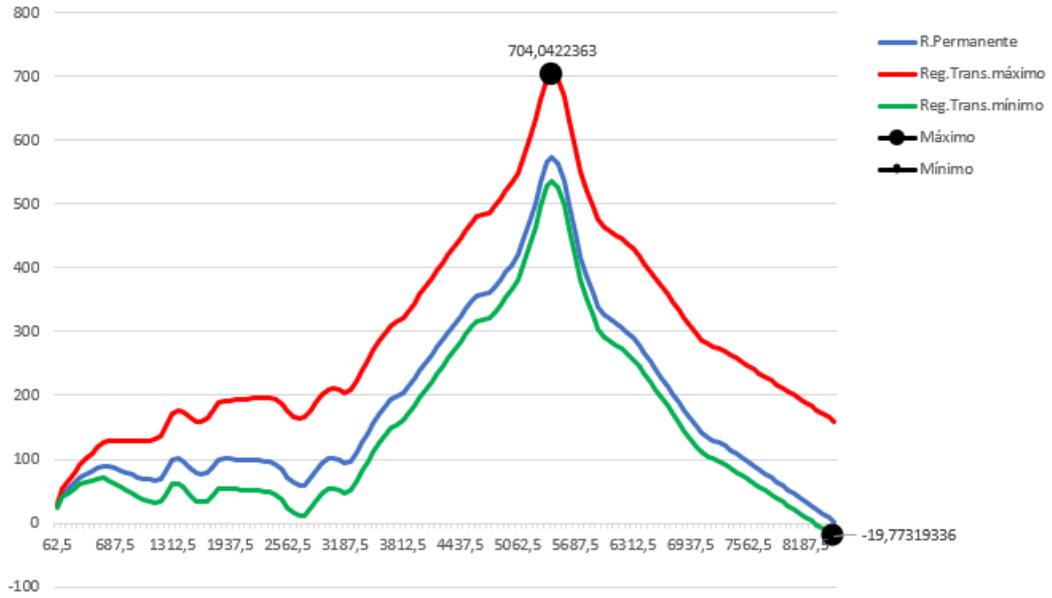
## ANEXOS

### Simulación con los diferentes tiempos de cierre de válvula

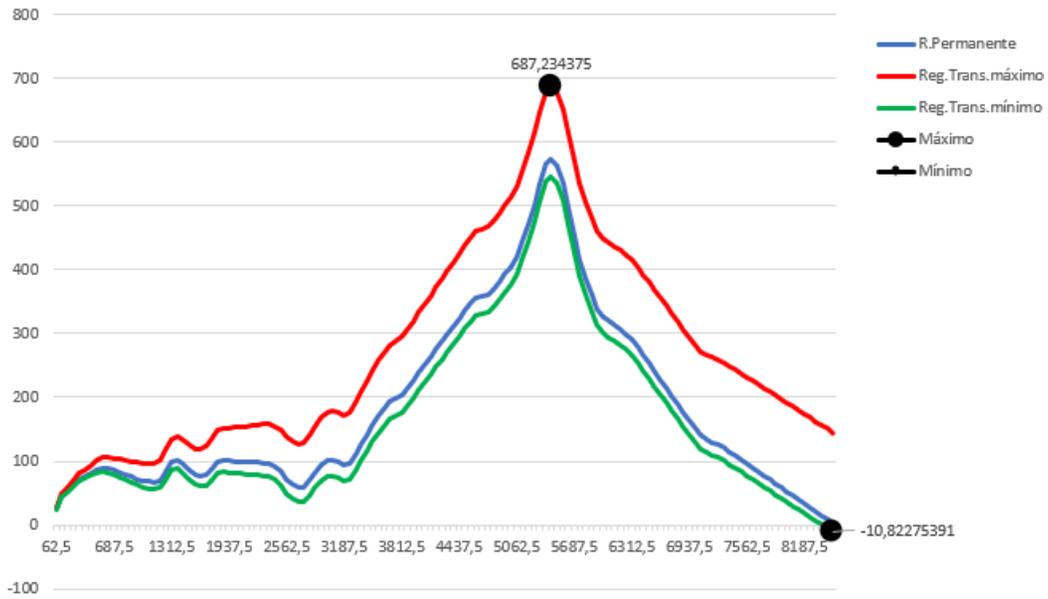
A continuación, se presentan los resultados y envolventes correspondientes a los escenarios adicionales, considerando tiempos de cierre de 9, 100, y 300 segundos. Estos casos proporcionarán una visión más completa de los efectos del golpe de ariete en diversos intervalos de tiempo, permitiendo un análisis de las variaciones de presión en la conducción.



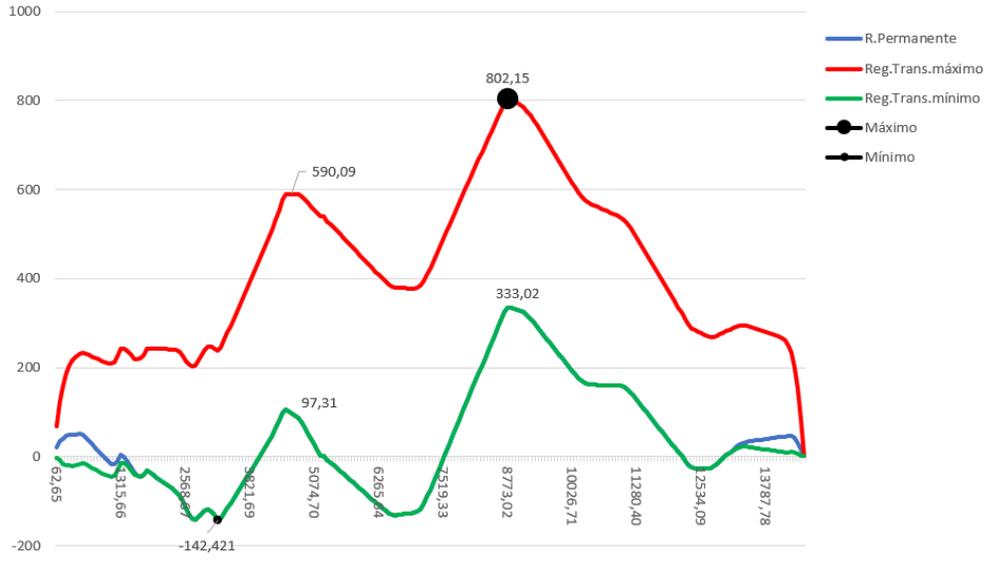
**Anexo 1:** *Tiempos de cierre de 9 segundos sifón No. 1 Iñasari*



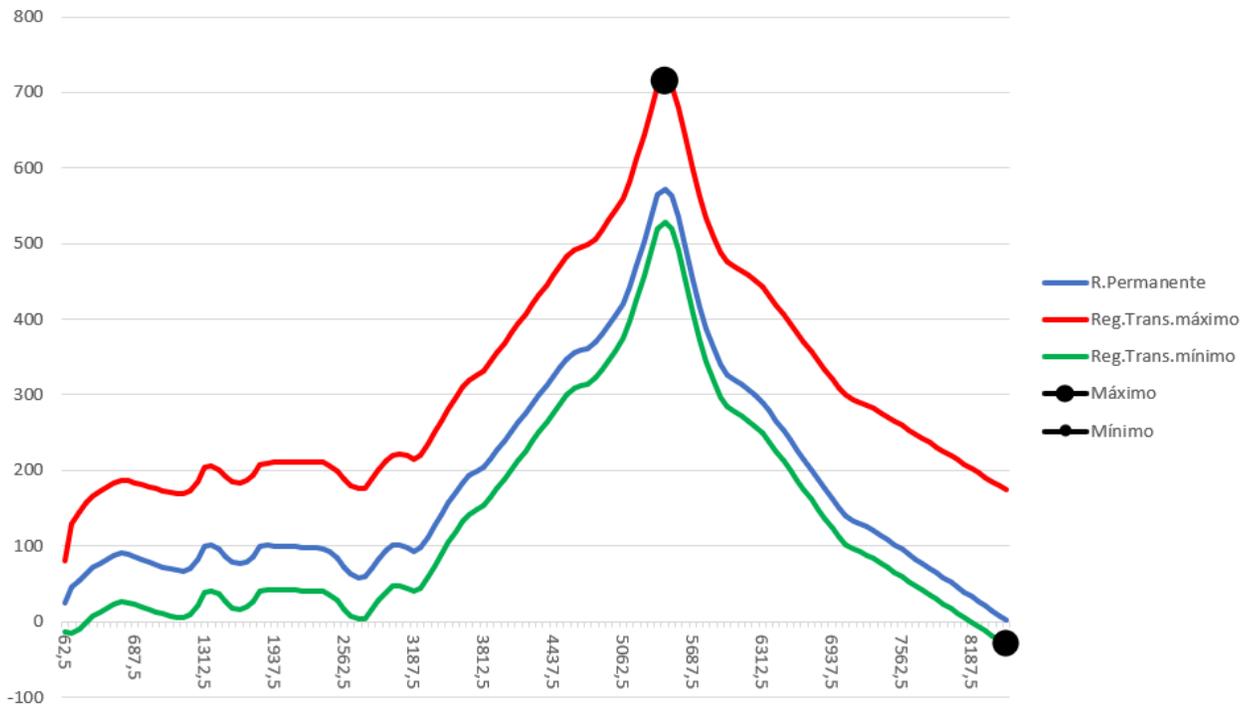
**Anexo 2:** *Tiempos de cierre de 100 segundos sifón No.1 Iñasari*



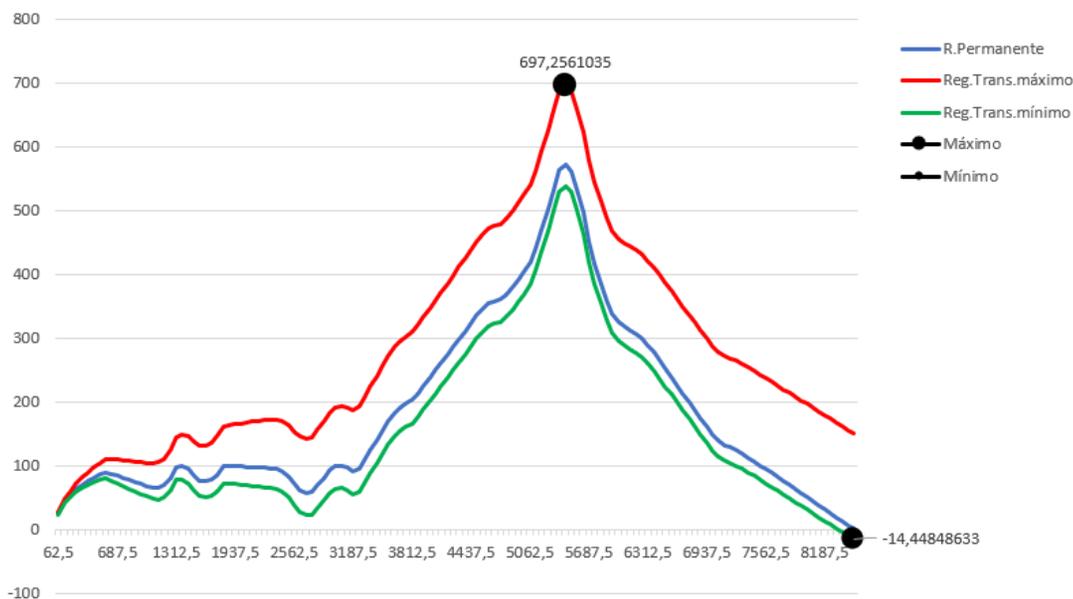
**Anexo 3:** *Tiempos de cierre de 300 segundos sifón No.1 Iñasari*



**Anexo 4:** *Tiempos de cierre de 8 segundos sifón No.2 Guanña*



**Anexo 5:** *Tiempos de cierre de 10 segundos sifón No.2 Guanña*



**Anexo 6:** *Tiempos de cierre de 100 segundos sifón No.2 Guanña*

**Anexo 7:** *Coordenadas UTM del tramo Pinllo – Gutún*

Elemento	E	N	Z	KM
Distribuidor de caudales Pinllo	742019.168	9658936.34	3025.456	0+000
Válvula de aire	741078.692	9660869.61	2974.603	2+700
Válvula	740670.622	9661150.17	2914.477	3+200
Válvula	740671.001	9661151.12	2914.498	3+200
Válvula	740671.583	9661151.74	2914.493	3+200

**Anexo 8:** *Coordenadas UTM del emplazamiento y fin del sifón 1 y sifón 2*

Elemento	E	N	Z	KM
Emplazamiento de sifón 1 y sifón 2	740671.58	9661151.74	2914.49	3+200
Fin de la conducción del sifón 1	738005,27	9664832,75	2970,08	8+496.8
Fin la conducción del sifón 2	740628.00	9669123.00	2806.96	14+540

**Anexo 9:** *Coordenadas UTM de los accesorios existentes en la conducción del sifón*

Elemento	E	N	Z	KM
Válvula de aire 1	739154.293	9662006.02	2589.855	5+000
Válvula purga 1	739113.646	9662039.71	2576.545	5+112.52
Válvula de aire 2	739112.941	9662040.35	2576.439	5+125.93
Válvula de aire 3	738918.845	9662242.55	2483.198	5+510.21
Válvula de aire 4	738840.422	9662300.41	2556.77	5+569.03
Válvula de aire 5	738838.909	9662302.22	2558.548	5+680.32
Válvula purga 2	738543.171	9662696.58	2685.002	6+203.75
Válvula de aire 6	738530.696	9662734.53	2689.074	6+243.83

**Anexo 10:** *Coordenadas UTM de los accesorios existentes en la conducción del sifón 2*

Elemento	E	N	Z	KM
Válvula de aire 7	740477,54	9662473,31	2690,8	4+594.94
Válvula de aire 8	740539,84	9662918,4	2756,44	5+000
Válvula purga 3	740472,15	9663056,94	2756,7	5+200

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0107102279**. Declaro ser autor de la obra: **“Evaluación de la operación del sifón Pinllo Iñasari – Guanña del sistema de riego Cerro Negro Churuco, del cantón Sigsig, aplicando el software Allievi”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 03 de abril del 2024



.....  
Angel Bolívar Caivinagua Llivichushca  
0107102279