



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**ESTUDIO NUMÉRICO CON EL PROGRAMA HAMMER  
PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN  
MATERIALES PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

Bach. Menendez Fernandez, Julio Cesar  
[http://orcid.org/ 0000-0002-3552-8687](http://orcid.org/0000-0002-3552-8687)

**Asesor:**

Mag. Idrogo Pérez, César Antonio  
[http://orcid.org/ 0000-0003-4232-0144](http://orcid.org/0000-0003-4232-0144)

**Línea de Investigación**

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la Industria en  
un Contexto de Sostenibilidad**

**Sublínea de investigación**

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e  
Infraestructura**

**Pimentel – Perú**

**2024**




## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy egresado del Programa de Estudios de la Escuela profesional de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

### **ESTUDIO NUMÉRICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIALES PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Menendez Fernandez, Julio Cesar	DNI: 41402761	
---------------------------------	---------------	---

Pimentel, 26 de septiembre del 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

**1. TESIS COMPLETA - JULIO MENENDEZ FERNANDEZ (1) - copia.pdf**

AUTOR

**JULIO MENENDEZ FERNANDEZ**

RECUENTO DE PALABRAS

**8719 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**45975 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**30 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 5, 2024 8:39 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 5, 2024 8:39 PM GMT-5****● 12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

**ESTUDIO NUMÉRICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL  
GOLPE DE ARIETE EN MATERIALES PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD**

**Aprobación de tesis**

---

**Mag. ING. Idrogo Pérez, Cesar Antonio  
Asesor Metodológico.**

---

**DR. ING. Coronado Zuloeta, Omar  
Pdte. Del Jurado de tesis**

---

**DR. ING. Salinas Vásquez, Néstor Raúl  
Secretario del Jurado de tesis**

---

**MG. Villegas Granados, Luis Mariano  
Vocal del Jurado de tesis**

## Índice

Resumen	7
Abstract	8
I. INTRODUCCION	9
II. MÉTODO	23
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1. Resultados	26
3.2. Discusión	34
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
4.1. Conclusiones	37
4.2. Recomendaciones	38
REFERENCIAS	39
ANEXO	44

## Índice de tablas

Tabla 1 Tabla de valores del coeficiente K.....	19
Tabla II. Características de tubería PVC .....	21
Tabla III. Características termo-eléctricas de tubería PVC .....	21
Tabla IV. Resumen de cálculo de golpe de ariete con el uso de fórmula tradicional .....	27
Tabla V. Sobrepresiones del golpe de ariete de cada material desarrollado en Excel.....	32

## Índice de figuras

Fig. 1. Resultados de sobrepresión de material PVC-O sin y con elementos de protección.....	28
Fig. 2. Resultados de sobrepresión de material HDPE sin y con elementos de protección .....	29
Fig. 3. Resultados de sobrepresión de material HD sin y con elementos de protección .....	29
Fig. 4. Escenario mínimo transitorio para diferentes tipos de tuberías .....	30
Fig. 5. Escenario grado hidráulico para diferentes tipos de tuberías .....	30
Fig. 6. Escenario máximo transitorio para diferentes tipos de tuberías.....	31
Fig. 7. Escenario sin elementos de protección .....	32
Fig. 8. Escenario con elementos de protección.....	33

# ESTUDIO NUMÉRICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIALES PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD

## Resumen

La presente investigación está referida al análisis del golpe de ariete de la línea de impulsión con materiales tuberías de PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD, motivado en la premisa e incertidumbre que existe en líneas de impulsión importantes; El golpe de ariete en tuberías a presión es un fenómeno transitorio ocasionado la generación de ondas de presión que pueden ocasionar daños en el sistema hidráulico. El dimensionado de las tuberías de impulsión es el clásico problema dentro del campo de la ingeniería sanitaria. El tipo de material con que se ha interactuado en la tesis el flujo influye significativamente en el golpe de ariete, las variables se comportan de manera diferente por lo que es necesario la utilización de software para su modelamiento correspondiente y de análisis aplicando Hammer. El abordaje con el que se procedió fue complicado ya que se tuvo que aprender el uso de los softwares con el Watercad y el Hammer de configuración para el diagnóstico de la línea de impulsión todo un reto que se pudo superar con estudio. Finalmente se pudo calcular el fenómeno del golpe de ariete gobernado por la ecuación de Michaud y con el apoyo de las fórmulas teóricas en tablas de Excel se hizo la comparación con los registros que se muestran en los cuadros finales. Para mitigar dicho efecto se implementó escenarios con elementos de protección en este caso se utilizó un tanque hidroneumático, verificando el buen desempeño de este al mitigar de manera adecuada las presiones negativas.

**Palabras Clave:** Caudal, Sobrepresiones, Presión, impulsión.

# NUMERICAL STUDY WITH THE HAMMER PROGRAM TO DETERMINE THE WATER HAMMER IN PVC-U, PVC-O, HDPE, AND HD MATERIALS

## Abstract

The present investigation refers to the analysis of the water hammer of the impulse line with PVC-U, PVC-O, HDPE, and HD pipe materials, motivated by the premise and uncertainty that exists in important impulse lines; Water hammer in pressure pipes is a transient phenomenon caused by the generation of pressure waves that can cause damage to the hydraulic system; The sizing of delivery pipes is the classic problem within the field of sanitary engineering; The type of material with which the flow has interacted in the thesis significantly influences the water hammer, the variables behave differently, which is why it is necessary to use software for their corresponding modeling and analysis using Hammer. The approach with which we proceeded was complicated since we had to learn the use of software with Watercad and Hammer for configuration to diagnose the drive line, a challenge that could be overcome with study; Finally, the water hammer phenomenon governed by Michaud's equation could be calculated and with the support of theoretical formulas in Excel tables, the comparison was made with the records shown in the final tables; To mitigate this effect, scenarios with protection elements were implemented. In this case, a hydropneumatic tank was used, verifying its good performance by adequately mitigating negative pressures.

**Keywords:** Flow, Overpressures, Pressure, impulsion.



## I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, el modelado y análisis del flujo transitorio en tuberías flexibles ha sido objeto de una amplia actividad de investigación [1]. Los sistemas de tuberías se utilizan ampliamente para transportar fluidos en las industrias modernas, por ejemplo, líquidos químicos peligrosos, gas, petróleo, agua, etc. En estas aplicaciones, la seguridad de los sistemas de tuberías se ve frecuentemente comprometida por fenómenos transitorios inducidos por el golpe de ariete, que ocurre después de la apertura o cierre repentino de válvulas, o después del apagado de bombas [2]. Por otra parte, (9) en la red de tuberías, el mal funcionamiento del compresor, la fractura de la tubería o el cambio repentino del estado de la válvula (apertura o cierre) produce un flujo rápido que induce una onda de presión que podría hacer que la tubería vibre y, por lo tanto, explote. Este fenómeno se conoce como golpe de ariete [3]. La propagación de ondas es el proceso por el cual el líquido se desplaza por la tubería a un ritmo determinado [4], [5], [6], [7]. La problemática de obstrucciones en tuberías, se establece un modelo matemático de detección de obstrucciones en tuberías basado en la teoría de oscilación de fluidos [8], [9], [10].

Los cambios rápidos en la velocidad del agua pueden ser una razón para el fenómeno del golpe de ariete [11]. El proceso de cierre de las turbinas de las bombas, incluidos los esquemas de cierre de álabes guía (GVCS) y válvulas de bola (BVCS), es crucial para controlar las presiones pulsantes y el golpe de ariete. Las presiones extremas generadas durante el proceso de rechazo de carga pueden provocar daños por fatiga en las turbinas y grietas o incluso estallidos en las tuberías forzadas [12], [13], [14]. Los picos de presión por golpe de ariete pueden causar problemas graves en los sistemas de tuberías presurizadas [15], [16]. No obstante, el principal problema de las redes de tuberías de larga distancia es sin duda una de las más frecuentes en los proyectos de construcción [17].

En tanto, la variación de las características en tuberías viscoelástico es el problema con más estudios en los últimos años por su desenlace de acción y producción de este fenómeno estudiado con propiedades elásticas y viscosas [18]. En el ámbito internacional la teoría de emplazamientos para estudiar la estabilidad de un sistema de tuberías formado por una válvula, una tubería y un tanque de compensación, se analizan 4 parámetros la presión, diámetro, velocidad del elemento empleado para la conducción del fluido incluyendo su densidad; los estudios revelan que la acción de este fenómeno es en bajas frecuencias y para diámetros grandes, las frecuencias altas reducen el impacto de las fuerzas del golpe de ariete. Entre los principales parámetros enumerados, se observa que las oscilaciones de los líquidos de baja

densidad son mayores en el caso de los golpes de ariete [17]. Los aumentos en la potencia computacional crean una oportunidad para que los analistas comprendan mejor muchos fenómenos complejos, incluido el golpe de ariete. En esencia, los eventos de golpe de ariete involucran ondas de choque hidráulicas generadas en una tubería por cambios rápidos en uno o más valores límite, como el cierre de una válvula [19]. El uso de software para el diseño de aducciones, simulaciones y evaluación del golpe de ariete permite a los ingenieros civiles visualizar los niveles de energía en tuberías, optimizando el análisis y cálculo para mejorar el diseño y protección de sistemas de conducción de agua [20], [21]. Existen diversos programas que estudian el efecto sobre las presiones en las líneas de conducción donde tienen la aparición del fenómeno del golpe de ariete, como el software ARIETE, AFT Impulse y HAMMER. Este último permite evaluar los desniveles de presión en una red de tubería.

Existen pocas investigaciones o **antecedentes** sobre el uso de un programa para determinar el golpe de ariete en diversos tipos de tuberías, pues a nivel internacional se tiene a Xiao-Ying et al. [22] en su investigación científica tuvo como objetivo analizar las características de la presión del golpe de ariete en tuberías viscoelásticas mediante pruebas experimentales en un modelo de sistema depósito-tubería-válvula con tuberías de polimetilmetacrilato (PMMA). La metodología incluyó la realización de simulaciones numéricas en 3D y pruebas de golpe de ariete para diferentes condiciones de apertura y cierre de la válvula. Se estudió el comportamiento de la presión generada por la válvula de cierre, considerando su impacto en la variación de la presión del golpe de ariete. Los resultados mostraron que el comportamiento en tuberías viscoelásticas difiere de la teoría tradicional del golpe de ariete, ya que la presión está relacionada tanto con el tiempo de cierre de la válvula como con la apertura inicial. Se concluyó que un cierre más rápido de la válvula y una menor apertura inicial generan una mayor presión del golpe de ariete, proporcionando información valiosa para el diseño y operación de sistemas con materiales viscoelásticos.

Kan et al. [23] en su artículo científico tuvo como objetivo principal evaluar la magnitud del golpe de ariete en la estación de bombeo "Kizil-tepa" para garantizar su funcionamiento seguro. La metodología incluyó el uso del método de características (MOC) y el método de características de las olas (WCM), además de métodos simplificados para el cálculo de transitorios hidráulicos. En el diseño de nuevas estaciones, se recomendó un análisis detallado de las olas utilizando software especializado, mientras que para la modernización de estaciones existentes se propusieron métodos simplificados, considerando factores que podrían incrementar el riesgo, como la reducción de inercia en partes móviles o cambios en válvulas. Los cálculos del estudio, realizados con el método simplificado modificado, fueron comparados con los obtenidos

utilizando el programa "KY-Pipe 2018-Surge" y mostraron una buena concordancia en la magnitud de las presiones máximas. Se concluyó que los métodos simplificados adaptados son efectivos para el análisis preliminar de sobrepresión en estaciones de bombeo modernizadas.

Daikh et al. [24] este estudio numérico emplea el método de elementos finitos tridimensionales para evaluar el impacto del golpe de ariete en tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) afectadas por agrietamiento. Se utilizó la integral J como criterio de fractura, calculándola en grietas semielípticas en cuatro ubicaciones distintas. El análisis se centró en el efecto del caudal y la configuración de la grieta sobre la integral J, utilizando un modelo comercial para simular la sección de la tubería. El análisis se realizó con el software Warp, considerando los materiales como isotrópicos, homogéneos y linealmente elásticos. Los resultados revelan que un incremento de presión asociado al golpe de ariete genera un aumento significativo en la integral J. Además, se determinó que las grietas longitudinales internas son las más peligrosas y que un aumento en la velocidad del flujo también contribuye al incremento de la integral J, indicando un mayor riesgo de fractura en las tuberías.

Garg y Kumar [25] en su investigación científica tuvo como objetivo investigar la respuesta de la presión del golpe de ariete en tuberías viscoelásticas y metálicas en sistemas de conducción de agua para plantas hidroeléctricas. La metodología incluyó ensayos experimentales y simulaciones numéricas utilizando el método de características (MOC). Se analizaron dos materiales: acero dulce (MS) y plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), tanto individualmente como en combinaciones, para evaluar la generación de presión transitoria. Se diseñó y construyó una configuración experimental específica para realizar las pruebas. Los resultados indicaron que las tuberías de PRFV son más eficaces en la reducción de la presión del golpe de ariete en comparación con las de un solo material. Se concluyó que una configuración combinada, con PRFV en la sección inicial de baja presión y MS en la sección posterior de alta presión, es adecuada para sistemas donde las limitaciones de presión y tamaño impiden el uso exclusivo de PRFV, mejorando la mitigación de las presiones transitorias.

Kubrak et al. [26] en su investigación científica tuvo como propósito investigar el fenómeno del golpe de ariete en sistemas de tuberías de acero y HDPE conectadas en serie con distintos diámetros, tanto experimentalmente como numéricamente. Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio en siete configuraciones de un sistema tanque-tubería-válvula para medir la presión en el extremo aguas abajo. Los resultados mostraron que la inclusión de una sección de HDPE redujo el aumento de presión inducido por la válvula, a pesar de su menor diámetro en comparación con la tubería de acero. Para la simulación numérica, se usó un modelo que combinaba la fricción inestable de Brunone-Vitkovský en la tubería de acero y el modelo

viscoelástico de Kelvin-Voigt para el HDPE. Los parámetros calibrados lograron una concordancia satisfactoria en la mayoría de los casos, aunque no reproducían con precisión las oscilaciones de presión en sistemas con diferencias significativas en la longitud de las secciones. Se concluyó que cambios en la configuración del sistema requieren recalibrar los parámetros numéricos.

Arefi et al. [27] en su estudio científico el objetivo del estudio fue modelar una tubería de transmisión de agua en condiciones estables y analizar el flujo transitorio generado por fallas de bombas en la tubería de 31 km de la línea de transmisión de agua de Kerman, Irán. La metodología incluyó la comparación de los resultados del software de modelado con un modelo numérico validado mediante pruebas de laboratorio. El análisis reveló que, ante fallas de bombas, las ondas transitorias afectan distintas áreas de las tuberías largas, que son susceptibles a la presión negativa, lo que puede provocar la separación de la columna de agua y cavitación. Se determinó que el uso de válvulas de aire por sí solas no es suficiente para eliminar estos riesgos. En cambio, se concluyó que la instalación de equipos adicionales, como tanques de alimentación de flujo e hidroneumáticos en ubicaciones estratégicas, es efectiva para prevenir la presión negativa y reducir significativamente los peligros en las tuberías.

Malesińska et al. [28] en su investigación el objetivo del estudio fue analizar la influencia de cambios repentinos en la sección transversal de tuberías sobre las ondas de presión transitorias. Se realizaron experimentos en cinco configuraciones distintas de tuberías de acero conectadas en serie para registrar las oscilaciones de presión en el extremo aguas abajo tras el golpe de ariete inducido por válvulas. Los resultados mostraron que a mayor número de secciones con diferentes diámetros, más compleja es la onda transitoria registrada, con cada sección influyendo significativamente en las oscilaciones de presión. Para la simulación numérica, se utilizó el esquema explícito de MacCormack y una condición de contorno de unión mejorada, asignando parámetros de flujo independientes al nodo de conexión. El modelo se calibró utilizando un factor de fricción inestable, lo que permitió reproducir adecuadamente el fenómeno del golpe de ariete. Las simulaciones numéricas mostraron una buena concordancia con los datos experimentales, capturando correctamente las interacciones y amplitudes de las ondas de presión.

Zhang et al. [29] en su investigación científica el estudio se centró en mejorar la simulación del golpe de ariete en sistemas de tuberías mediante un método de seguimiento de olas eficiente y preciso (EWTM). El objetivo fue desarrollar un enfoque que aumente la velocidad y precisión en la predicción del golpe de ariete, esencial para el diseño y operación de tuberías. La metodología incluyó el desarrollo de EWTM basado en un modelo de fricción inestable y un nuevo

esquema que combina las técnicas de Lagrange y Euler. Se derivaron ecuaciones para la propagación de olas en modelos de depósito, válvula y cavidad de vapor discreta (DVCM). Para evaluar su rendimiento, se compararon los resultados del golpe de ariete monofásico y bifásico simulados con EWTM y el método de características (MOC), junto con datos experimentales. Los resultados mostraron que EWTM tiene una precisión similar a MOC, pero es un 90% más eficiente, mejorando significativamente los procedimientos de simulación y su aplicabilidad en sistemas complejos.

Sun et al. [30] en su estudio científico tuvo como objetivo analizar el flujo y la transferencia de calor en una red de tuberías de una planta de energía térmica en Jiangsu, China, tras un accidente de rotura por golpe de ariete. Utilizando simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) con el software FLUENT, se evaluó la red de tuberías original y su versión modificada. La metodología incluyó el análisis de la velocidad del vapor, que alcanzó hasta 50 m/s debido a la acumulación de agua líquida en la tubería accidentada, lo que causó un cambio brusco de presión y, en última instancia, la rotura. Los resultados mostraron que la red modificada presentó una distribución más uniforme de temperatura, presión y velocidad en el área de la rotura. La simulación también se extendió a condiciones de trabajo variables, confirmando la efectividad del nuevo diseño para entornos más complejos. El estudio ofrece recomendaciones para mejorar el diseño y operación segura de plantas de energía térmica.

Mou et al. [31] en su investigación científica tuvo como objetivo analizar los efectos del golpe de ariete en la integridad de las tuberías de pozos, especialmente ante defectos causados por tenazas hidráulicas. Se realizaron experimentos en superficies fracturadas y se desarrolló un modelo de elementos finitos (FEM) para calcular la variación de presión en la tubería durante el golpe de ariete. También se modeló la distribución de tensiones en tuberías con hendiduras bajo la carga combinada de golpe de ariete, fluido de protección y fuerza axial. Los resultados indicaron que el cierre instantáneo de pozos profundos y de alta presión puede generar un golpe de ariete con una presión máxima de 116 MPa, causando una severa concentración de tensión (895.29 MPa) en las esquinas de las hendiduras. El análisis mostró características de fractura dúctil en las superficies estudiadas. Este trabajo proporciona referencias útiles para prevenir la rotura de tuberías y minimizar pérdidas económicas en pozos.

Salimi et al. [32] en su investigación científica se centra en diseñar un sistema de transferencia de aguas residuales resistente al golpe de ariete, utilizando inteligencia artificial para optimizar el diseño. Se seleccionó la ubicación de la toma considerando las condiciones de sedimento y la descarga máxima permisible. Se diseñó un sistema de bombeo y se estimó el fenómeno del golpe de ariete (WHP) con el modelo Hytran. Los resultados indicaron que la

combinación de tuberías de UPVC rugosas y un control adecuado del golpe de ariete es la opción más adecuada para el sistema. La presión máxima se registró a 96,59 metros de distancia. Además, se aplicó el sistema de inferencia neurodifusa adaptativa (ANFIS) y un modelo híbrido de ANFIS optimizado mediante optimización de enjambre de partículas (PSO) para estimar el WHP. Los resultados mostraron que el ANFIS era más efectivo en tuberías de UPVC, mientras que el ANFIS-PSO demostró un mejor desempeño en tuberías de metal.

A nivel nacional, según Auqui [33] en su tesis de pregrado el estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre el golpe de ariete y la línea de conducción de agua potable en el distrito de Moya, Huancavelica. Se planteó la hipótesis de una relación significativa entre ambos factores. La investigación fue de enfoque cuantitativo, aplicada y con un nivel descriptivo correlacional. Se adoptó un diseño no experimental de tipo longitudinal, abarcando toda la línea de conducción del distrito. La muestra no probabilística, seleccionada por conveniencia, consistió en 447.97 metros de tubería. Los resultados demostraron que el golpe de ariete genera un aumento de presión, tanto en la práctica como en la teoría, pero la presión total a un desnivel de 60 metros no supera el límite máximo de 75 m.c.a. para una tubería de clase 7.5. Se recomendó la instalación de cámaras rompe presión en desniveles superiores a 40 metros, evitando costos adicionales en construcción, operación y mantenimiento.

Esta investigación utiliza software y fórmulas existentes para analizar el golpe de ariete en tuberías de PVC, hierro fundido y HDPE. Aunque el modelamiento es común en el cálculo de líneas de impulsión y distribución de agua potable, hay una brecha de conocimiento sobre los daños colaterales que este fenómeno puede causar en componentes no contactados directamente con el sistema de tuberías. La novedad de este estudio radica en su enfoque en el análisis comparativo del comportamiento del flujo en función de cargas específicas, utilizando la fórmula de Allievi para identificar el colapso de los materiales. Además, se examinarán los riesgos y costos asociados con las reparaciones, el tiempo de inoperatividad y las posibles pérdidas humanas. A pesar de su potencial, el estudio enfrenta limitaciones en la recopilación de datos precisos y la variabilidad en los escenarios de operación. La investigación proporcionará una base de datos útil para un mejor entendimiento del comportamiento de fluidos en tuberías de diferentes diámetros y espesores, contribuyendo a futuras investigaciones en el ámbito técnico, económico y ambiental.

El **problema general** se formuló de la siguiente manera ¿De qué manera influye el uso de programa Hammer en el cálculo del golpe de ariete en material PVC-U, PVC-O, HDPE y HD?.

Como **Hipótesis general** se menciona lo siguiente: La aplicación del estudio numérico con el programa Hammer, influye en la determinación del golpe de ariete en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD en comparación del método clásico tradicional.

El estudio realizado tuvo como **objetivo general**: Evaluar el estudio numérico con el programa Hammer para determinar el golpe de ariete en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, y HD. A partir del objetivo general se proponen lo siguientes **objetivos específicos**: **OE1**: Determinar el golpe de ariete aplicando fórmulas tradicionales en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD; **OE2**: Determinar el golpe de ariete aplicando el programa Hammer en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD; **OE3**: Analizar los resultados utilizando el método tradicional y el programa Hammer.

A continuación, se presentan definiciones en el **marco teórico** vigentes y de relevancia, tal como la definición de Golpe de ariete: El término "golpe de ariete" se refiere a un fenómeno de propagación de ondas que perturba variables hidráulicas como la presión y la velocidad de flujo, así como variables estructurales como las deformaciones y tensiones a las que está sometido la tubería. Los efectos de transmisión en el medio fluido-estructural están acoplados con la tubería que conduce el agua [34], [35], [36].

El fenómeno golpe de ariete hace que la presión del líquido en la tubería cambie abruptamente, causado por una llave, grifo o válvula que se cierra o abre repentinamente; durante las variaciones de presión el líquido fluye a lo largo de la tubería a una velocidad determinada por la velocidad de propagación de la onda de choque. Uno de los retos a los que se enfrentan las estaciones de bombeo es el golpe de ariete, que provoca perturbaciones repentinas en el flujo de líquido, lo que produce ondas de presión que pueden causar daños en tuberías y equipos. Para atenuar este efecto, se implantan sistemas anti golpe de ariete mediante dispositivos como válvulas de alivio de presión, depósitos de inercia y sistemas de control de velocidad. Estos sistemas salvaguardan la integridad del sistema y ayudan a absorber las fluctuaciones de presión. [37], [38].

El golpe de ariete puede ser lo suficientemente grave como para crear efectos indeseables que afecten tanto a los componentes del sistema de bombeo como a la seguridad del operador, este fenómeno crea una serie de ondas y choques que afectan a tuberías, accesorios y bombas, provocando la ruptura de los componentes. [36], [39].

El golpe de ariete en las tuberías de agua se produce cuando el líquido de la tubería se detiene repentinamente, la línea de energía cinética contenida en el líquido se transforma en energía potencial, que aumentara la carga piezométrica inicial, llevándose a cabo un trabajo de deformación elástico en las paredes del conducto de agua. Cuando la válvula se cierra

rápidamente, según el principio de conservación de la energía, en la medida en que disminuye la energía cinética, se convierte en trabajo para percibir el líquido que llena la tubería y la fuerza necesaria para expandir este último líquido, provocando un golpe de ariete positivo, por otro lado, la apertura rápida de la válvula puede provocar una depresión o al llamado golpe de ariete negativo [36].

Algunos casos en los que puede ocurrir el golpe de ariete:

Cambios bruscos accidentales, la apertura de la válvula: Las válvulas juegan un papel importante en la investigación del golpe de ariete debido a su tiempo y velocidad con que cierra la válvula siendo un factor determinante en las sobrepresiones producidas.

Interrupción en las bombas: El fenómeno de ariete en sistemas de bombeo se debe a una variedad de condiciones operativas, las más graves es una interrupción instantánea, repentina del abastecimiento de energía.

Cambios en la potencia de turbinas: Hay cambios bruscos en la energía suministrada del flujo, en la succión la presión aumenta y en la descarga disminuye.

Vibración de bombas, ventiladores e impulsores de turbina: Las variaciones de presión durante la absorción del sistema provocan vibraciones en la turbina y las estructuras cercanas al área afectada, provocando fugas.

Vibración de accesorios deformables como válvulas: Cada componente está diseñada para soportar índices de presión específicos incluso tener tolerancias específicas. sin embargo, al aumentar la presión durante el fenómeno de ariete puede superar este límite y dañar el equipo, lo que puede requerir reparación o reemplazo de piezas dañadas según la situación.

Clasificación De Los Flujos, Flujo unidireccional: El flujo unidimensional sus características hidráulicas como la velocidad (v), la presión (p), y el caudal (q), varían en función del tiempo y ubicación en coordenadas (x), que suele hacerse coincidir con el eje del conducto (figura 1). Se considera como representativo el mismo valor medido de una propiedad hidráulica para un tramo concreto, se puede considerar unidireccional [40].

Flujo permanente: En un flujo permanente las propiedades hidráulicas de una sección particular de tubería siempre permanecen constantes y cambian con el tiempo. De lo anterior, se deduce que [40]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(p \cdot V \cdot Q) = 0 \quad (1.1)$$

Flujo no permanente: Las propiedades hidráulicas de un segmento de tubería cambian instantáneamente, se expresa de la siguiente manera.

$$\frac{\partial}{\partial t}(p \cdot V \cdot Q) \neq 0 \quad (1.2)$$



El fenómeno de ariete de flujo inestable puede producirse en una ruta de flujo cerrada cuando el flujo desacelera o acelera, debido a los cambios a la apertura de la válvula en la línea.

Presentamos una representación de la serie de actividades que siguen el cierre repentino de una válvula en el extremo de agua bajo una tubería que parte de un depósito (figura 2). Para este caso no se considera la fricción.

Flujo uniforme y no uniforme: Un flujo es compresible si, al pasar de una sección a otra, el cambio de densidad del agua es despreciables; en caso contrario se dice que es incompresible; lo anterior se conduce a:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (1.3)$$

En caso contrario, se dice que el flujo es no uniforme y entonces se tendrá

$$\frac{\partial v}{\partial x} \neq 0 \quad (1.4)$$

Flujo compresible y no compresible: Se dice que un flujo es compresible si, al pasar de una sección a otra del conducto los cambios en la densidad del agua es despreciables, y en caso contrario se dice que es incompresible; lo anterior se conduce a:

$$d\rho = 0 \quad (1.5)$$

Para un flujo incompresible, y

$$d\rho = 0 \quad (1.6)$$

Para no compresible, Flujo transitorio: Es el flujo inestable (no permanente) que se produce entre el flujo estacionario inicial y el final en un conducto. un ejemplo especialmente importante de este tipo de flujo es el fenómeno conocido como golpe de ariete, cuyo análisis se presentará en detalle a continuación.

Resonancia: Este fenómeno puede ocurrir, por ejemplo, cuando hay una perturbación en la tubería de presión debido a la vibración de los dispositivos colocados a lo largo de ella, como válvulas de retención y válvulas de cierre, que pueden hacer que la presión aumente más que la presión ejercida por el agua.

Descripción Física Del Fenómeno, Golpe de Ariete en Tuberías Recta, Regímenes De Flujo: Para determinar las pérdidas de presión en tuberías y accesorios. Las pérdidas que se producen en las tuberías se denominan primarias y dependen de las condiciones de flujo del fluido a medida que circula por las redes de tuberías.

Numero de Reynolds. El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y la viscosidad del flujo y se utiliza para determinar si el comportamiento del flujo es laminar o turbulento [41].

Esta característica dependerá del diámetro de la tubería, densidad, velocidad de flujo, la viscosidad cinemática y la viscosidad dinámica del fluido. La ecuación que permite calcular el número de Reynolds es la siguiente [40]

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu} = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:  $\rho$ : densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>],  $D$ : diámetro interno de la tubería [m],  $V$ : velocidad del flujo [m/s],  $\mu$ : viscosidad dinámica del fluido [Ns/m<sup>2</sup>],  $\nu$ : viscosidad cinemática del fluido [m<sup>2</sup>/s].

Flujo laminar o de Poiseuille: Caracterizada por corrientes paralelas y suaves frecuentemente se encuentra en fluidos de alta viscosidad y movimiento a baja velocidad. [42] Régimen donde sus movimientos son muy ordenados y cada lamina mantiene su continuidad. Tener en cuenta que para este régimen debe estar el número de Reynolds es menor de dos mil:  $Re < 2000$ .

Efectos del Golpe de Ariete: El fenómeno de ariete como consecuencia de cambios inesperados o bruscos en la velocidad que recorre el fluido o en la presión que genera en el interior de un conducto provocando efectos como:

Rotura de tuberías, producida por la presión general el fluido en las tuberías provocando el colapso en una parte de la misma, donde el daño es imprevisible ya sea en todo el sistema o en los equipos que lo controlan, lo que implica una parada en las operaciones realizadas. [37]

Daño en el sistema del bombeo, el efecto de golpe de ariete provoca presiones tan altas que en algunos casos el daño en las bombas a pesar de tener un margen de tolerancia a cualquier imperfecto, el fenómeno de golpe de ariete sobrepasa el límite provocando efectos en accesorios, empaques entre otros. [37]

Fugas, el golpe de ariete puede provocar fugas al dañar accesorios, juntas y conexiones. Estas fugas suelen comenzar lentamente, pequeñas fugas que pueden pasar desapercibidas, aumentando gradualmente en intensidad con el tiempo. [37]

Accidentes, la rotura de tubería también pueden poner en peligro la salud y la seguridad de los empleados y del personal de mantenimiento. Las fugas no gestionadas también pueden aumentar el riesgo de resbalones, caídas y electrocución. [37]

Golpe de Ariete en Tuberías de impulsión, Tiempo de cese de circulación del líquido: En el cálculo del golpe de ariete debido a la parada o arranque de una bomba se sustituye por el

concepto de tiempo de cese o inicio de circulación del líquido. Este tiempo no debe confundirse este tiempo con el tiempo de parada de la bomba. En general se estima que la circulación del agua cesa una vez que la velocidad de la bomba se ha reducido aproximadamente un 15%. El valor de ese tiempo se obtiene por la fórmula empírica de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K.L.V}{g.Hm} \text{ seg}$$

Siendo: T: tiempo de cese de la circulación en segundos, C y K: coeficientes de ajuste, L: longitud total de la tubería en metros, V: velocidad de circulación antes del cese de circulación del fluido en m/s, Hm: altura manométrica  $Hm = (Hg + \Delta h)$  m

El coeficiente C es función de la pendiente de la tubería donde  $m = Hm/L$ . con un valor de C=1 de acuerdo a la pendiente aumenta máximo al 20%, y varía de forma decreciente hasta cero con pendientes de 40%, para pendientes superiores se debe considerar el ariete máximo para todo el tramo que estará en funcionamiento.

El coeficiente k depende de la longitud de la tubería y puede obtenerse a partir de la gráfica propuesta por Mendiluce. se recomienda utilizar los valores redondeados de K que figuran en la tabla, ya que han demostrado que pequeñas diferencias con respecto al gráfico tienen un impacto insignificante en el golpe de ariete y siempre del lado de la seguridad, y son más fáciles de manejar

**Tabla 1**  
**Tabla de valores del coeficiente K**

L (m)	k
L<500	2
L=500	1.75
500<L<1500	1.5
L=1500	1.25
L>1500	1

Ecuaciones Diferenciales Del Golpe De Ariete: A partir de las ecuaciones de continuidad y dinámica establecidas para la teoría de la columna elástica, depreciando el efecto de la fricción y haciendo  $Q = VA$ . las ecuaciones puedan escribirse como:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad (1.7)$$

y

$$\frac{\partial \dot{V}}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (1.8)$$

Se conocen como continuidad del golpe de ariete y ecuaciones cinéticas que se pueden transformar en las siguientes, recordemos que:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x \partial t} = g \frac{\partial^2 V}{\partial t \partial x} = y \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t} = \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x}$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 0 \quad (1.9)$$

y

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 h_p}{\partial x^2} = 0 \quad (1.10)$$

Para los casos particular de un conducto con un eje horizontal y la carga piezométrica H valorada con respecto a un plano horizontal de comparación que contenga el eje horizontal, será igual a la carga de presión  $h_p$ , de modo que la ecuación (1.9) se simplifica como:

$$\frac{\partial^2 h_p}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 h_p}{\partial x^2} = 0 \quad (1.11)$$

Siendo estas las representaciones del sistema empleado por Allievi para tuberías en el eje horizontal con sección de corte constante.

Para obtener la carga de la columna de agua en cada punto de la tubería a lo largo de toda su distribución podemos analizar la solución e interpretación física de las ecuaciones (1.9 y 1.10), la carga de presión  $h_p$  se determina simplemente restando la carga de posición  $Z_p$  de la piezométrica correspondiente.

Características de los Materiales, PVC -U (NTP. ISO-1452): La tubería de PVC-U, está diseñada para una vida útil de 50 años, en función del comportamiento real del material probado en servicio ofrecido hace más de 30 años. Estos valores se extrapolan a 50 años con un factor de seguridad de 2.5. [43]

## Características Técnicas del PVC

### Características Físico – mecánica

Tabla II. Características de tubería PVC

Peso específico	1.42 gr/cm <sup>3</sup> a 25°C
Absorción al agua	< 40 gr/m <sup>2</sup>
Coefi. De Hazen y Williams	C=150
Coefficiente de fricción	n= 0,009 Manning
Resistencia a la tracción	500 kg-f/cm <sup>2</sup>
Alargamiento de rotura	>80%
Módulo de Elasticidad	30,000 kgf/ cm <sup>2</sup>
Tensión de diseño	100 kgf/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	610 – 650 kgf/cm <sup>2</sup>
Dureza de Shore – D	85
Resistencia al impacto	0,035 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Flexión	750 – 780 kgf/cm <sup>2</sup>

Nota:

### Características Termo – Eléctricas

Tabla III. Características termo-eléctricas de tubería PVC

Coefficiente de Dilatación térmica	0,06 – 0,08 mm/m/°C
Temperatura Vicat	>80 °C
Estabilidad Dimensional	
A 150°C	< 5%
Módulo de Elasticidad	30,000 kgf/ cm <sup>2</sup>

Nota:

**Polietileno de Alta Densidad (HDPE) (NTP. ISO-4427):** Polietileno de alta densidad (HDPE) son termoplásticos. Muy ligeros, flexibles, incluso con temperaturas bajas y su alta resistencia a los impactos” [44]. Según NTP ISO-4427, se aplica a materiales de polietileno (PE), conexiones válvulas con presiones nominales PN 3.2, PN 4, PN 6, PN 10, PN 12.5, PN 16 y diámetros nominales externos de 16 a 1600, se utilizará para conducción de agua bajo presión a temperatura entre 0°C y 40°C, servicios y suministro de agua sobre tierra, tanto dentro como

fuera de las construcciones; de acuerdo a las siguientes condiciones: Presión máxima de funcionamiento o de operación (POM) ; Temperatura de funcionamiento o operación de 20°C

**Hierro fundido:** Elemento que es fabricado bajo los estándares de la norma (ISO 2531,2009) pueden actuar de la misma forma y resistir en condiciones de medianas presiones y altas, pueden ser colocadas al aire libre o también bajo tierra (CMAX,2013) cuenta con mejor flexibilidad y elasticidad, con adecuada resistencia y colocación sencilla, son más estables, tienen resistencia a la corrosión. [45] Tubería de hierro dúctil son aplicadas en proyectos con estaciones con mediana a gran capacidad de impulsión, donde se requiere resistencia a la corrosión y al impacto.

**Prueba de Estanqueidad:** Estudio realizado previamente en fabrica sin tener el revestimiento del interior, sometida a presiones actuantes equivalentes a las que pueden originarse en el funcionamiento. Dicha prueba consiste en aumentar la presión interior de los tubos hasta alcanzar la presión de prueba que es igual a la respectiva clase de presión de tubo. Estos valores de presión correspondiente a la serie **K9**, son los exigidos por la norma la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2531(2009).

## II. MÉTODO

### Tipo y diseño de investigación

#### Tipo de investigación

De acuerdo a Sampieri et al. [46], la investigación aplicada busca resolver problemas específicos mediante la aplicación práctica de conocimientos científicos, enfocándose en generar soluciones concretas para mejorar procesos, productos o servicios en contextos reales.

Esta investigación es de **tipo aplicado**.

#### Diseño de investigación

Sampieri et al. [46], Es un enfoque de investigación donde no se manipulan las variables, sino que se observan y analizan en su entorno natural para identificar relaciones y patrones sin intervención directa.

Este proyecto es de **diseño no experimental** debido que no se realizara pruebas de tomas en campo o ejecución de actividades de verificación de los materiales, los cuales estarán sometidos a la evaluación con el programa propuesto.

#### Variables y operacionalización

La variable independiente: Estudio numérico

La variable dependiente: Golpe de ariete

#### Población y muestra

##### Población

Sampieri et al. [46], conjunto total de individuos, elementos o eventos con características comunes que son objeto de estudio en una investigación, a partir de los cuales se extraerá la información.

Se consideró el tramo de estación de bombas, tramo de impulsión del proyecto ubicado en la localidad de Chupaca -Chupaca – Junín del Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

##### Muestra

Sampieri et al. [46], Subconjunto representativo de la población estudiada, seleccionado para obtener conclusiones generalizables sobre el total, facilitando el análisis sin necesidad de estudiar a toda la población.

Respecto a los datos topográficos para el diseño del perfil de la línea de impulsión se tuvo una un kilometraje total de 1+428.78 km, para el presente estudio, se puede observar en el Anexo 09.

**Muestreo:** Sampieri et al. [46], Procedimiento empleado para seleccionar una muestra representativa de la población, garantizando que los elementos elegidos proporcionen datos relevantes para la investigación.

El estudio es no probabilístico por conveniencia.

**Criterios de selección:** De inclusión todas las tuberías que sean PVC-0, PVC-U, HIERRO FUNDIDO, HDPE. Los criterios de exclusión fueron todas las tuberías que no sean de los siguientes materiales PVC-0, PVC-U, HIERRO FUNDIDO, HDPE.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

La técnica de observación directa, según Sampieri et al. [46], es una técnica de recopilación de datos basada en el examen cuidadoso de los fenómenos en su entorno natural, registrando información relevante sin alterar las condiciones existentes.

Para la obtención de recolección de datos referentes a nuestro problema, mediante un programa como es el Hammer importante en el desarrollo y calculo ayudándonos a seleccionar, organizar y analizar la línea de impulsión en estudio con los diferentes tipos de materiales como PVC-0, PVC-U, HIERRO FUNDIDO, HDPE, luego de ello en el análisis de resultados con formatos de Excel.

En este análisis de datos procesados se pudo conocer con mayor detalle el flujo transitorio del fenómeno del golpe de ariete y las sobrepresiones positivas y negativas que actúan en el sistema.

Esta técnica e instrumentos nos ayuda a identificar el estado actual de la línea de impulsión su comportamiento del flujo a través de las tuberías.

#### Análisis documental

Gracias a esta técnica se pudo recolectar información necesaria previa a la investigación, como planos del proyecto, análisis preliminar del funcionamiento bajo el diseño, memoria descriptiva y hojas de cálculo se tiene conocimiento de la característica del material utilizado en línea de impulsión como es el material PVC DN 200mm CLASE 10, la instalación de bombeo, características de los accesorios de material PVC clase 10.

Para nuestro análisis se consideró la revisión de publicaciones pasadas para la tomar como referencia ya sea de libros, artículos, tesis, páginas web.

#### Procedimiento de analisis de datos

#### Guías de análisis en recolección de datos

#### Datos del expediente técnico

#### Catálogos de los materiales PVC.O.

#### Manuales de tuberías



Fichas técnicas

Guías para el análisis (programa Hammer).

El programa Hammer tiene por finalidad el estudio de diseño y evaluación del Golpe de Ariete en tuberías, programa que permite obtener de forma directa la acción de presiones actuantes en cada tipo de tubería en estudio, simulando el funcionamiento de todo el sistema desde su impulsión y distribución a los beneficiarios, alertar las acciones de presiones altas en situación de emergencia originada por la potencia ejercida por los equipos instalados en la estación de bombas.

Formato para el cálculo del Golpe de ariete en el programa Excel.

Para un mayor desarrollo de la tesis en referencia al análisis del golpe de ariete con los materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, HD, y su cálculo, se elaboró una hoja para procesar los datos y calcular la sobrepresión máxima, bomba en periodo de inoperatividad, así mismo la forma de cierre producido con la finalidad de determinar la sobrepresión según la ecuación correspondiente para cierre lento o cierre rápido. Esto se realizó para los materiales anteriormente citados. En el Anexo 7 se muestra a mayor detalle los resultados realizados en el programa Hammer.

### **Criterios éticos**

Es fundamental mencionar el código de ética de la universidad USS SAC. previamente indicada, dado su relevancia para la presente investigación [47].

Respeto a la propiedad intelectual: El estudio cumple con los derechos de propiedad intelectual, utilizando citas según normativas internacionales. Rigor científico: La investigación mantiene un rigor científico adecuado, respetando normativas tanto nacionales como internacionales en todas sus fases. Honestidad intelectual y transparencia: Se sustenta en la honestidad intelectual, reconociendo adecuadamente la autoría de las ideas y garantizando la transparencia y exactitud de la información presentada [47].

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Resultados**

Para este estudio, se consideró la información del proyecto ubicado en la localidad de Chupaca - Chupaca - Junín, accediendo al registro de la planimetría y al expediente técnico del proyecto como referencia, con el fin de obtener más información sobre la situación del suministro y distribución hacia las poblaciones beneficiarias, se observan los planos de ubicación del estudio en el Anexo 09. Mediante el uso de un software Hammer se analizaron los materiales PVC-U, PVC-O, HD y HDPE, sin elementos de protección, como primer escenario. Registros de datos: Inicialmente, los datos se registraron en Excel para determinar las sobrepresiones en los materiales analizados y posteriormente elegir la conducción (corta-larga) y el tipo de cierre (lento-rápido), aplicando la fórmula (Michaud-Allievi) en el análisis de la línea de impulsión. En una segunda fase, se utilizó el programa Hammer para registrar los datos de presión y realizar comparaciones entre los diferentes materiales analizados. Se realizaron cálculos del golpe de ariete en materiales como PVC-O, PVC-U, HDPE y HD, documentados en tablas de Excel.

**OE1:** Determinar el golpe de ariete aplicando fórmulas tradicionales en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD; el objetivo es analizar el golpe de ariete en tuberías utilizando fórmulas tradicionales para materiales como PVC-U, PVC-O, HDPE y HD. La finalidad es entender cómo las características de cada material afectan la presión inducida y la respuesta del sistema.

Tabla IV. Resumen de cálculo de golpe de ariete con el uso de fórmula tradicional

Tubería		PVC-O DN200 PN 10	PVC-U DN200 CLASE 10	HDPE 100 DN200 PN10	FD K9 DN200	
L	Longitud	m	1420.94	1420.94	1420.94	1420.94
Hg	Altura geométrica	m	11.02	11.02	11.02	11.02
Q	Caudal	l/s	40	40	40	40
Di	Diámetro interior	mm	191.2	184.6	176.2	200
v	Velocidad	m/s	1.39	1.49	1.64	1.27
<b>Pérdida de carga continua para tubería en servicio (Hazen Williams)</b>						
C	Coefficiente de Hazen - Williams		150	150	150	130
$\Delta h$	Pérd. Carga	mca	11.53	13.68	17.16	12.07
Hm	Hg + $\Delta h$	mca	<b>22.55</b>	<b>24.70</b>	<b>28.18</b>	<b>23.09</b>
<b>Sobrepresión por golpe de ariete</b>						
v	Velocidad del agua	m/s	1.39	1.49	1.64	1.27
e	Espesor	mm	4.4	7.7	11.9	9.8
E	Módulo de elasticidad a largo plazo	kg/m <sup>2</sup>	4.00E+08	3.10E+08	1.43E+08	1.70E+10
Kc	Valor "K" largo plazo (característica del material)		2.50E+01	3.23E+01	6.99E+01	5.88E-01
a	Celeridad de onda	m/s	293.9	345.37	300.73	1274.85
m	Pendiente hidráulica		0.016	0.017	0.02	0.016
C	Coef. "C" según Mendiluce		1	1	1	1
K	Coef. "K" según Mendiluce		1.5	1.5	1.5	1.5
T	Tiempo de cierre	s	14.4	14.11	13.64	12.95
Tc	Tiempo crítico	s	9.67	8.23	9.45	2.23
Lc	Longitud crítica	m	2116.08	2436.59	2050.98	8254.65
	Tipo de conducción		Corta	Corta	Corta	Corta
	Tipo de cierre		Lento	Lento	Lento	Lento
	Fórmula		Michaud	Michaud	Michaud	Michaud
$\Delta P$	<b>Golpe de Ariete</b>	<b>mca</b>	<b>27.96</b>	<b>30.59</b>	<b>34.83</b>	<b>28.41</b>
	<b>Presión Máxima</b>	<b>mca</b>	<b>38.98</b>	<b>41.61</b>	<b>45.85</b>	<b>39.43</b>

**Interpretación:** La interpretación de los resultados muestra que las diferencias en la presión generada por el golpe de ariete en tuberías de distintos materiales (PVC-O, PVC-U, HDPE y FD K9) se deben a la interacción de sus propiedades físicas y operativas. Los materiales con mayor velocidad del agua, como el HDPE, generan presiones más altas debido a la inercia del flujo, mientras que aquellos con menor módulo de elasticidad, al ser más flexibles, absorben mejor la energía del golpe. Además, la celeridad de la onda es mayor en materiales rígidos, como el hierro dúctil, afectando la magnitud de la presión. Factores como la longitud crítica y el tiempo de cierre también influyen, siendo más notables las presiones en cierres rápidos y conducciones cortas, lo

que destaca la importancia de elegir el material adecuado según las condiciones de operación y seguridad.

**OE2:** Determinar el golpe de ariete aplicando el programa Hammer en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD; para programar el Software con los datos registrados, se tuvo que hacer un curso independiente del sistema para un mayor conocimiento y estudio en los casos requeridos para su análisis, así como también de la variedad de información que se puede obtener de la data del programa al ingresarse los datos que ser requieren para su estudio.

Fig. 1. Resultados de sobrepresión de material PVC-O sin y con elementos de protección

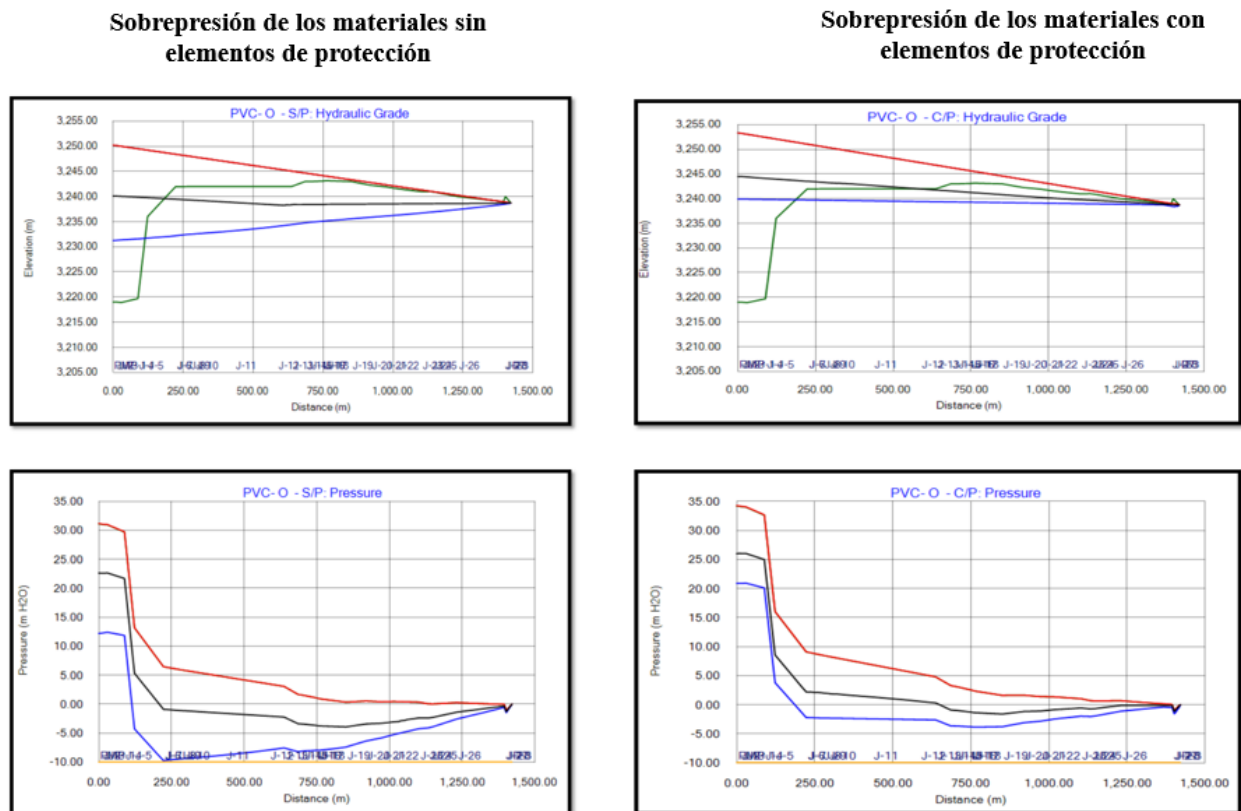


Fig. 2. Resultados de sobrepresión de material HDPE sin y con elementos de protección

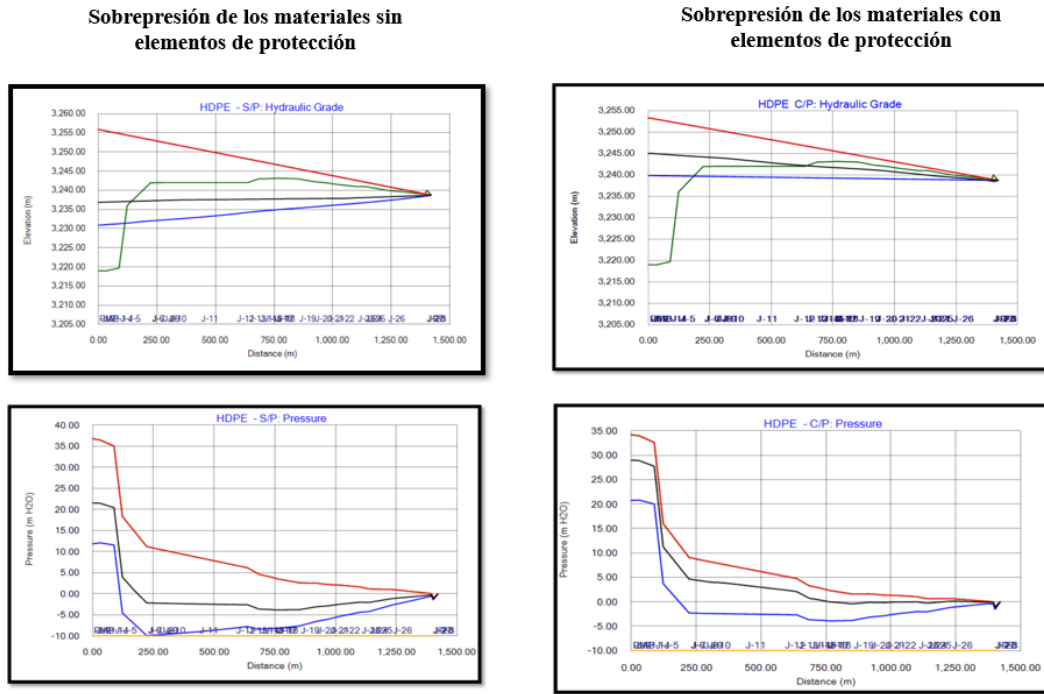


Fig. 3. Resultados de sobrepresión de material HD sin y con elementos de protección

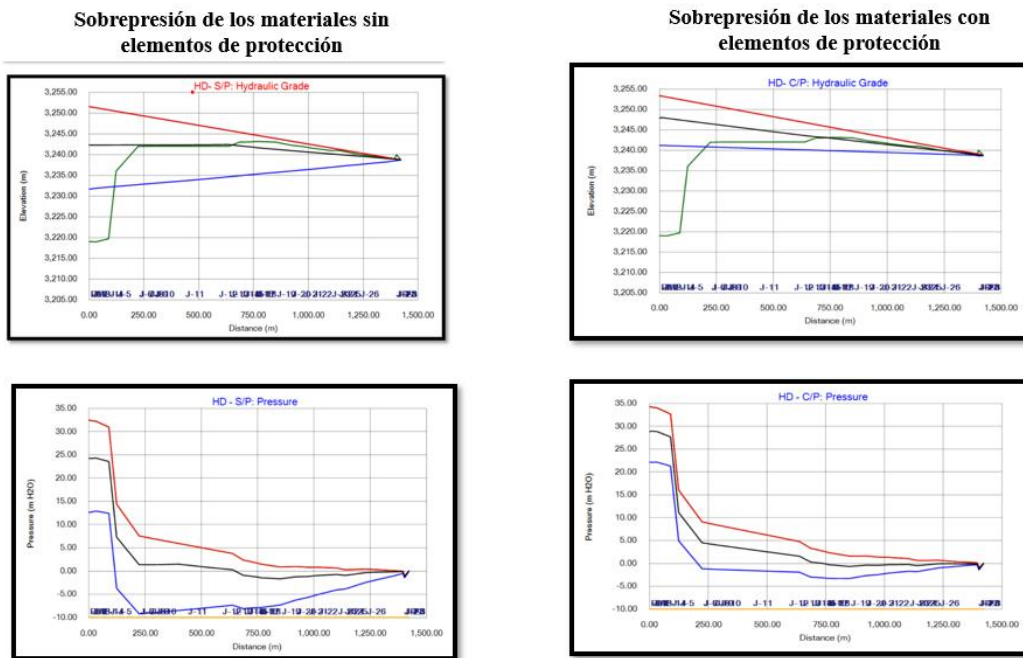


Fig. 4. Escenario mínimo transitorio para diferentes tipos de tuberías

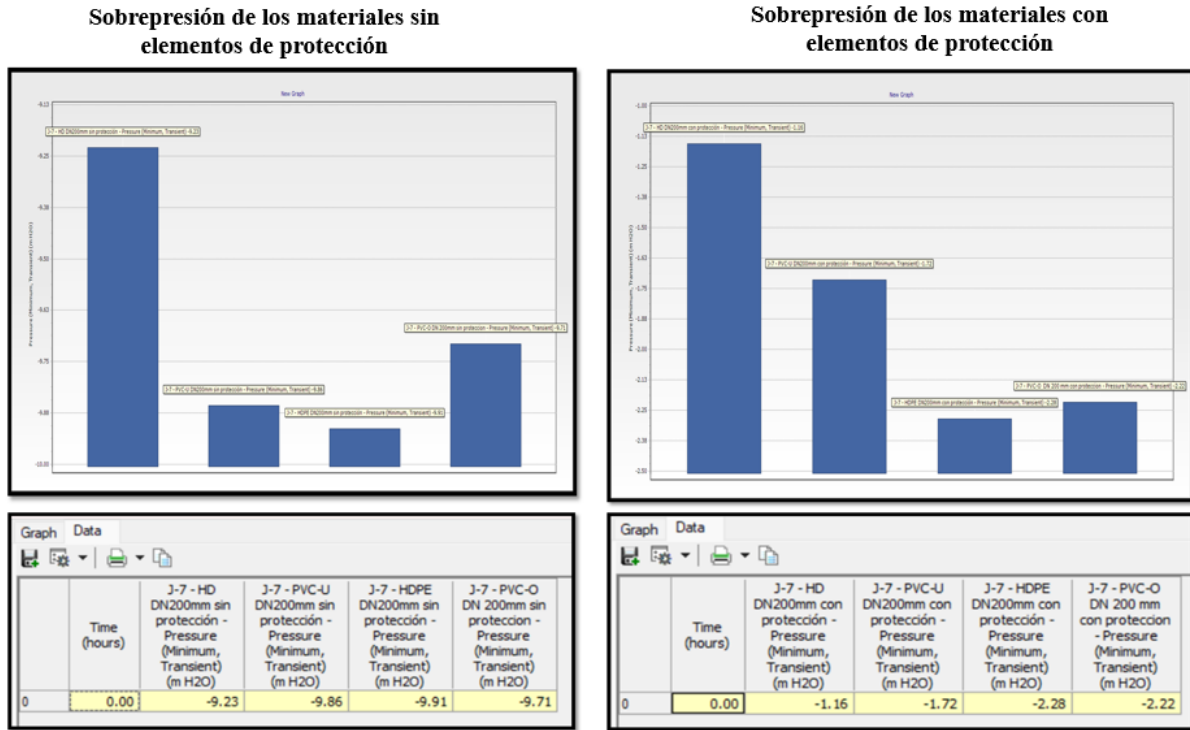


Fig. 5. Escenario grado hidráulico para diferentes tipos de tuberías

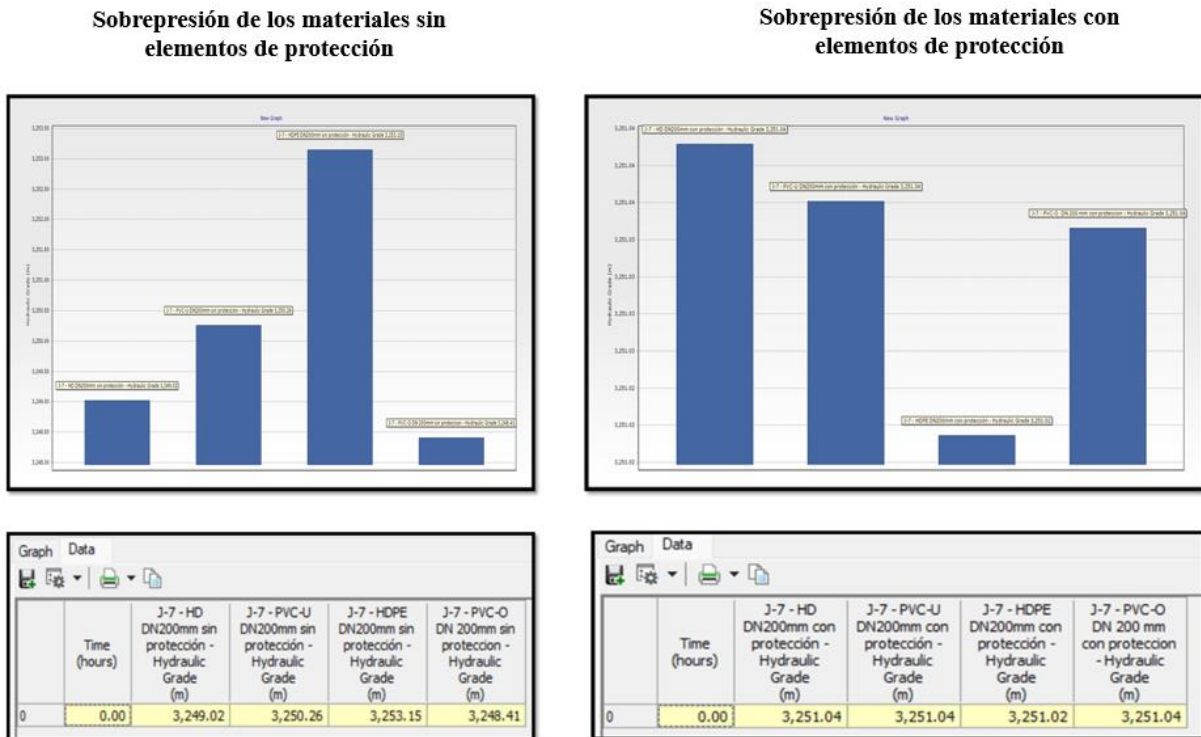
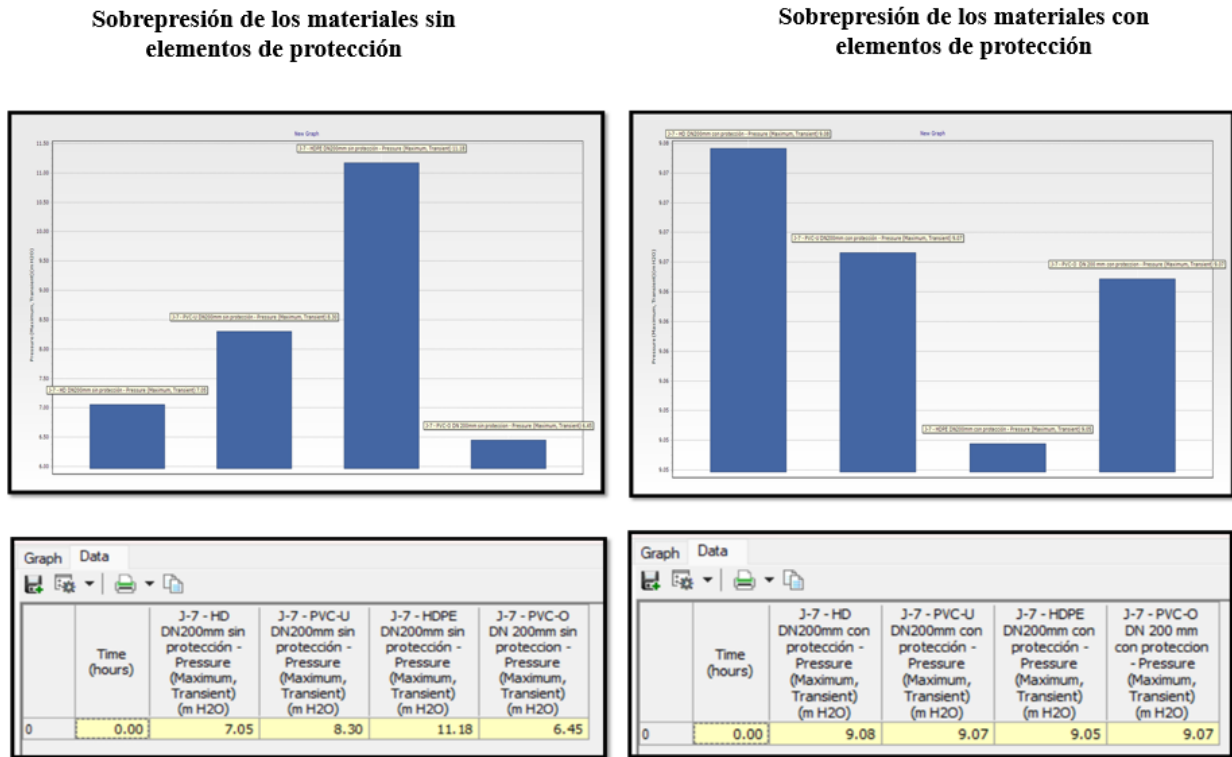


Fig. 6. Escenario máximo transitorio para diferentes tipos de tuberías



**Interpretación:** En el escenario sin elementos de protección, se registraron presiones mínimas negativas en el HDPE, con -4.59 mca en el Junction J-5 y -9.91 mca en J-7, mientras que las presiones máximas alcanzaron 18.32 mca en J-5 y 11.18 mca en J-7. Al incorporar un sistema de protección mediante un tanque hidroneumático, las presiones negativas en el HDPE se redujeron a -2.28 mca en J-7, y la presión máxima en el HD fue de 16.05 mca en J-5. La implementación de este sistema demostró una disminución significativa en las presiones extremas en comparación con el escenario sin protección, mejorando la estabilidad y seguridad del sistema de tuberías frente al golpe de ariete.

**OE3:** Analizar los resultados utilizando el método tradicional y el programa Hammer; El análisis comparativo de resultados es fundamental para validar la eficacia de diferentes métodos en la evaluación de sistemas hidráulicos. OE3 se centra en analizar los resultados obtenidos mediante el método tradicional y el programa Hammer, evaluando su precisión y aplicabilidad.

Tabla V. Sobrepresiones del golpe de ariete de cada material desarrollado en Excel

SOBREPRESION DEL GOLPE DE ARIETE	MATERIAL DE TUBERIA			
	HD	PVC-U	PVC.O	HDPE
<b>LC</b>	<b>2116.08</b>	<b>2436.59</b>	<b>2050.98</b>	<b>8254.65</b>
<b>Tipo de condición</b>	<b>Corta</b>	<b>Corta</b>	<b>Corta</b>	<b>Corta</b>
<b>Tipo de cierre</b>	<b>Lento</b>	<b>Lento</b>	<b>Lento</b>	<b>Lento</b>
<b>Fórmula</b>	<b>Michaud</b>	<b>Michaud</b>	<b>Michaud</b>	<b>Michaud</b>
<b><math>\Delta h</math></b>	<b>12.07</b>	<b>13.68</b>	<b>11.53</b>	<b>17.16</b>
<b>Hm</b>	<b>23.09</b>	<b>24.70</b>	<b>22.55</b>	<b>28.18</b>

Fig. 7. Escenario sin elementos de protección

Time (hours)	J-5 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	-3.78	-4.39	-4.59	-4.28	-9.23	-9.86	-9.91	-9.71

Time (hours)	J-5 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	13.85	15.20	18.32	13.19	7.05	8.30	11.18	6.45



Fig. 8. Escenario con elementos de protección

Time (hours)	J-5 - HD DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - HD DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	-4.94	-4.32	-3.71	-3.79	-1.16	-1.72	-2.28	-2.22

Time (hours)	J-5 - HD DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - HD DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	16.05	16.04	16.02	16.03	9.08	9.07	9.05	9.07

**Interpretación:** El análisis de la línea de impulsión revela diferencias significativas entre los cálculos realizados en Excel y los obtenidos con el programa Hammer. En Excel, se determinó que el material PVC-O, DN 200, PN 10 presenta la menor pérdida de carga, lo que se traduce en una menor altura manométrica y, por ende, en una reducción de la potencia requerida por la bomba. Este enfoque permite identificar que todas las tuberías seleccionadas son capaces de soportar adecuadamente los efectos transitorios según las normativas técnicas.

Por otro lado, el uso del programa Hammer, tras un curso de capacitación, permite un análisis más detallado del golpe de ariete. Los resultados muestran que, sin elementos de protección, el HDPE registra presiones mínimas de -4.59 mca y máximas de 18.32 mca. Al incorporar un tanque hidroneumático, estas cifras mejoran notablemente, reduciendo las presiones negativas a -2.28 mca. Esto resalta la importancia de herramientas avanzadas para evaluar la estabilidad y seguridad del sistema frente a condiciones extremas.

### 3.2. Discusión

De acuerdo al OE1: Determinar el golpe de ariete aplicando fórmulas tradicionales en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD; el presente estudio comenta que la configuración que se muestra en el perfil topográfico de la línea de impulsión de nuestro proyecto en su análisis, si bien es cierto no genera golpe de ariete de presiones máximas en que se actúa la ecuación de Allievi, se muestra un golpe de ariete de cierre lento y conducción corta, en donde la ecuación de Michaud se muestra con mayor énfasis y además también se generan presiones negativas. Además, se determinó que el PVC-O, con un diámetro nominal (DN) de 200 y una presión nominal (PN) de 10, presenta la menor pérdida de carga y altura manométrica (Hm), lo que sugiere que su uso podría optimizar la potencia de la bomba.

En comparación con el estudio de Auqui [33], que también aborda la relación entre el golpe de ariete y la línea de conducción, ambos trabajos destacan la importancia de evaluar las condiciones de presión generadas en el sistema. Mientras Auqui enfatiza que el golpe de ariete genera un aumento de presión sin superar el límite de 75 m.c.a. a un desnivel de 60 metros, el presente estudio muestra que el diseño y el material de las tuberías influyen directamente en la presión transitoria y la eficiencia del sistema. Por otro lado, la investigación de Xiao-Ying et al. [22] aporta una perspectiva diferente al analizar las características del golpe de ariete en tuberías viscoelásticas mediante simulaciones y pruebas experimentales. Este estudio destaca cómo el comportamiento del golpe de ariete difiere en materiales viscoelásticos en comparación con los tradicionales, sugiriendo que factores como el tiempo de cierre de la válvula impactan significativamente la presión generada. Aunque el enfoque es diferente, ambos estudios subrayan la necesidad de considerar las propiedades de los materiales en el diseño de sistemas de conducción para mitigar el golpe de ariete y optimizar el rendimiento hidráulico.

Según el OE2: Determinar el golpe de ariete aplicando el programa Hammer en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD; el actual estudio menciona que el análisis del golpe de ariete en tuberías de HDPE revela que, en ausencia de elementos de protección, se registraron presiones mínimas de -4.59 mca en el punto J-5 y -9.91 mca en el J-7, mientras que las presiones máximas alcanzaron 18.32 mca y 11.18 mca, respectivamente. Sin embargo, al incorporar un tanque hidroneumático, se observó una notable disminución en las presiones negativas, que bajaron a -2.28 mca en J-7, y la presión máxima en J-5 se estabilizó en 16.05 mca. Estos resultados destacan la capacidad del programa Hammer para realizar un análisis detallado, mejorando la estabilidad y seguridad del sistema de tuberías frente a las condiciones del golpe de ariete.

Comparando los resultados de la presente investigación aborda un fenómeno crítico en el diseño de sistemas de conducción de agua, similar al estudio de Garg y Kumar [25] ambos trabajos se centran en la evaluación de la presión del golpe de ariete, un aspecto vital para garantizar la integridad estructural de las tuberías en situaciones de carga transitoria. En cuanto a la metodología, mientras Garg y Kumar combinan ensayos experimentales con simulaciones numéricas usando el método de características (MOC), la presente investigación se basa exclusivamente en simulaciones numéricas con el programa HAMMER, conocido por su capacidad para modelar dinámicas de flujo en sistemas de tuberías. Esta elección metodológica permite un análisis detallado de las respuestas de diferentes materiales ante condiciones de golpe de ariete, centrándose en materiales termoplásticos como PVC-U, PVC-O, HDPE y HD, que son ampliamente utilizados en aplicaciones de infraestructura. Similarmente, los resultados de Mou et al. [31] indican que un cierre instantáneo en pozos profundos puede generar presiones extremadamente altas (116 MPa), lo que resulta en tensiones concentradas que superan los 895 MPa en áreas de hendidura. Esta severidad en la respuesta estructural es un aspecto crítico que se debe considerar al diseñar sistemas de tuberías para prevenir fallos catastróficos. En contraposición, el estudio sobre materiales termoplásticos puede ofrecer soluciones más flexibles y resistentes en contextos donde las presiones no alcancen esos niveles extremos.

Ambas investigaciones resaltan la importancia de un diseño adecuado y el conocimiento profundo de las propiedades del material para mitigar los efectos adversos del golpe de ariete, contribuyendo así a la estabilidad y longevidad de las estructuras hidráulicas. Además, los resultados de Mou et al. proporcionan información valiosa que puede integrarse en prácticas de prevención para reducir pérdidas económicas en la operación de pozos, complementando la necesidad de estrategias eficaces en el manejo de presiones transitorias.

De acuerdo con el OE3: Analizar los resultados utilizando el método tradicional y el programa Hammer. El actual estudio menciona que para todos los materiales analizados ya sea por calculo en tablas de Excel y por medio del Software, se genera un golpe de ariete a cierre lento con la ecuación de Michaud. Todas las tuberías seleccionadas van a soportar las presiones del fluido transitorio producido por el fenómeno debido a la clase elegida, respecto a las presiones positivas y negativas. El análisis comparativo en los cuatro casos de materiales en estudio, muestran los rangos de validez que al introducirse en el sistema (software), muestran valores, tanto de las envolventes de presión positivas y negativas, actuando en un flujo transitorio con un caudal determinado teniendo en cuenta los escenarios en cada uno de ellos.

En comparación con el estudio de Auqui [33], que también investiga el impacto del golpe de ariete en la conducción de agua, se observa que ambos trabajos coinciden en la importancia de analizar la presión transitoria. Mientras que Auqui establece una relación significativa entre el golpe de ariete y la línea de conducción, evidenciando un aumento de presión que, a un desnivel de 60 metros, no excede los 75 m.c.a., el actual estudio profundiza en la validez de diferentes materiales para soportar tales presiones. Ambos enfoques resaltan la necesidad de implementar medidas de mitigación, como cámaras rompe presión en escenarios críticos, para optimizar la operación de los sistemas hidráulicos y prevenir costos innecesarios en construcción y mantenimiento. Esta comparación subraya la relevancia de las herramientas analíticas y la selección adecuada de materiales para asegurar la integridad de las infraestructuras de agua potable. Comparando estos hallazgos con el estudio de Daikh et al. [24], se observa similitud en el análisis del HDPE, donde se utilizó el método de elementos finitos para evaluar el golpe de ariete en tuberías agrietadas. Este enfoque reveló que el aumento de presión incrementa el riesgo de fractura. De manera similar, Kubrak et al. [26] encontraron que la inclusión de HDPE reduce el aumento de presión, subrayando la importancia de la selección de materiales. Salimi et al. [32] mostraron que un sistema de tuberías rugosas y un control adecuado son efectivos para mitigar el golpe de ariete. Estos estudios resaltan la relevancia de un enfoque multidisciplinario en el diseño de sistemas de conducción de fluidos.

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

Se determinó que los cálculos en Excel el material que genera menor pérdida de carga es el PVC-O, DN 200, PN 10,  $\Delta h = 11.53$ ; HD:  $\Delta h = 12.07$ ; PVC-U:  $\Delta h = 13.6$ ; HDPE:  $\Delta h = 17.16$ ; por ende, genera menor altura manométrica, (Hm) PVC-O: Hm = 22.55; HD: Hm = 23.09; PVC-U: Hm = 24.70; HDPE: Hm = 28.18 esto repercute que el uso de potencia de la bomba.

En el análisis sin elementos de protección, el HDPE registró presiones mínimas de -4.59 mca en J-5 y -9.91 mca en J-7, mientras que las presiones máximas fueron de 18.32 mca y 11.18 mca, respectivamente. Con la incorporación de un tanque hidroneumático, las presiones negativas disminuyeron a -2.28 mca en J-7, y la presión máxima en J-5 se estabilizó en 16.05 mca. Esta implementación subraya cómo el programa Hammer permite un análisis detallado y efectivo, mejorando significativamente la estabilidad y seguridad del sistema de tuberías frente al golpe de ariete.

El análisis de la línea de impulsión muestra diferencias entre los cálculos en Excel y el programa Hammer. Excel identifica que el PVC-O, DN 200, PN 10 tiene la menor pérdida de carga. Hammer, tras capacitación, permite evaluar el golpe de ariete, mejorando las presiones con un tanque hidroneumático.

#### **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar un análisis de datos adecuado, contemplando los diferentes escenarios sin elementos de protección y evaluar las presiones máximas en los materiales de HDPE que son los que brindaron información de mayor relevancia.

Se sugiere la forma evaluar los resultados con elementos de protección donde se podrá obtener las presiones mínimas negativa y de esta forma lograr conocer en los materiales que se originan, como en esta ocasión se encontró en los materiales de HDPE.

Se recomienda evaluar adecuadamente los cumplan con los parámetros con el efecto que ocasione el fenómeno, teniendo en cuenta la resistencia negativa de los materiales según normativa.

## REFERENCIAS

- [1] H. Aliabadi, A. Ahmadi and A. Keramat, "Frequency response of water hammer with fluid-structure interaction in a viscoelastic pipe," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 144, p. 106848, 2020.
- [2] H. Cao, M. Mohareb and I. Nistor, "Finite element for the dynamic analysis of pipes subjected to water hammer," *Journal of Fluids and Structures*, vol. 93, p. 102845, 2020.
- [3] Z. Mighouar, L. Zahiri, H. Khatib and K. Mansouri, "Numerical Modeling Of Water Hammer Pressure Waves In Steel Pipes," in *2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*, Meknes, Morocco, 2020.
- [4] V. CHOY BEJAR, «DISEÑO DE UNA NUEVA LINEA DE IMPULSION Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA LA EXTRACCION DE AGUA SUBTERRANEA PLANES DE EXPANSION DE MINIMO COSTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EPS CHIMBOTE,» EPS Chimbote, Chimbote, 2002.
- [5] L. Chen, Z. Li, W. Shi and W. Li, "Research on Fault Detection and Automatic Diagnosis Technology of Water Hammer in Centrifugal Pump," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 13, p. 5606, 2024.
- [6] K. Urbanowicz, A. Bergant, M. Stosiak and M. Lubecki, "Analytical Solutions of Water Hammer in Metal Pipes. Part I—Brief Theoretical Study," *Fatigue and Fracture of Materials and Structures*, vol. 24, p. 57–68, 2022.
- [7] F. Plouraboué, "Review on water-hammer waves mechanical and theoretical foundations," *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, vol. 108, pp. 237-271, 2024.
- [8] R. CHICANA ELERA, «GOLPE DE ARIETE EN LA LINEA DE IMPULSION NOR-OESTE DE LA EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS SANITARIOS DE LAMBAYEQUE (EPSEL),» EPSEL, Lambayeque, 2017.
- [9] S. Saeml, M. Raisee, M. Cervantes and A. Nourbakhsh, "Computation of two- and three-dimensional water hammer flows," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 57, no. 6, 2019.
- [10] H. Mahdizadeh, "Numerical modelling of one- and two-dimensional water hammer problems using a modified wave propagation algorithm and turbulence model," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 57, no. 3, 2019.

- [11] M. Kandil, A. Kamal and T. El Sayed, "Effect of pipematerials on water hammer," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 179, p. 103996, 2020.
- [12] J. Ye, W. Zeng, Z. Zhao, J. Yang and J. Yang, "Optimization of Pump Turbine Closing Operation to Minimize Water Hammer and Pulsating Pressures During Load Rejection," *Energies*, vol. 13, no. 4, p. 1000, 2020.
- [13] A. Vardy, "On Sources of Damping in Water-Hammer," *Water*, vol. 15, no. 3, p. 385, 2023.
- [14] J. Duan, C. Li and J. Jin, "Establishment and Solution of Four Variable Water Hammer Mathematical Model for Conveying Pipe," *Energies*, vol. 15, p. 1387, 2022.
- [15] A. Triki and M. Chaker, "Compound technique -based inline design strategy for water-hammer control in steel pressurized-piping systems," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 169, pp. 188-203, 2019.
- [16] S. Sarker and T. Sarker, "Spectral Properties of Water Hammer Wave," *Applied Mechanics*, vol. 3, no. 4, pp. 799-814, 2022.
- [17] U. Mancebo del Castillo, *Teoría Del Golpe De Ariete Y Sus Aplicaciones En Ingeniería Hidráulica*, México: Limusa Noriega Editores, 1994.
- [18] N. A. J.L., «Análisis comparativo entre tuberías PVC tradicional y PVC orientado para un sistema de agua potable», S.I.: Universidad de especialidades Espíritu Santo, 2018.
- [19] S. Pal, P. Hanmaiahgari and B. Karney, "An Overview of the Numerical Approaches to Water Hammer Modelling: The Ongoing Quest for Practical and Accurate Numerical Approaches," *Water*, vol. 13, no. 11, p. 1597, 2021.
- [20] HidraSoftware, «Ariete: El Programa para el Estudio del Golpe de Ariete en Tuberías,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.hidrasoftware.com/ariete-el-programa-para-el-estudio-del-golpe-de-ariete-en-tuberias/>. [Último acceso: 18 10 2024].
- [21] T. Pham and S. Choi, "Numerical analysis of direct contact condensation-induced water hammering effect using OpenFOAM in realistic steam pipes," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 171, p. 121099, 2021.
- [22] Z. Xiao-ying, B. Shao-kang, F. Meng-xue, L. Wei and Z. Jian, "Experimental study on direct water hammer pressure characteristics in PMMA pipelines[J]," *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineerin*, vol. 42, no. 1, pp. 37-42, 2024.
- [23] E. Kan, A. Muratov, M. Yusupov and N. Ikramov, "Calculation of water hammer on the pressure pipeline of modernized irrigation pumping station," in *VII International Scientific*



Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education" (IPICSE 2020) 11th-14th November 2020, Tashkent, Uzbekistan, 2021.

- [24] A. Daikh, L. Aminallah, A. Merdji, L. Gaidi, H. Alkhaldi, S. Roy, V. Msmi and O. Mukdadi, "Analysis of the harmfulness of the water hammer phenomenon in high density polyethylene (HDPE) pipes," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 204, p. 104963, 2023.
- [25] R. Garg and A. Kumar, "Experimental and numerical investigations of water hammer analysis in pipeline with two different materials and their combined configuration," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 188, p. 104219, 2020.
- [26] M. Kubrak, A. Kodura, A. Malesińska and K. Urbanowicz, "Water Hammer in Steel–Plastic Pipes Connected in Series," *Water*, vol. 14, no. 19, p. 3107, 2022.
- [27] M. Arefi, M. Ghaeini-Hessaroezeh and R. Memarzadeh, "Numerical modeling of water hammer in long water transmission pipeline," *Applied Water Science*, vol. 11, no. 140, 2021.
- [28] A. Malesińska, M. Kubrak, M. Rogulski, P. Puntorieri, V. Fiamma and G. Barbaro, "Water Hammer Simulation in a Steel Pipeline System With a Sudden Cross Section Change," *Journal of Fluids Engineering*, vol. 143, no. 9, 2021.
- [29] Q. Zhang, Z. Tian, S. Lu and H. Kang, "Numerical Simulation of Water Hammer in Pipeline System Using Efficient Wave Tracking Method," *Water Resources Management*, vol. 37, p. 3053–3068, 2023.
- [30] Z. Sun, D. Liu, H. Yuan, Z. Sun, W. Pan and Z. Zhang, "The water hammer in the long-distance steam supply pipeline: a computational fluid dynamics simulation," *Cogent Engineering*, vol. 9, no. 1, 2022.
- [31] Y. Mou, Z. Lian, P. Snag, H. Yu, Q. Zhang and R. Li, "Study on water hammer effect on defective tubing failure in high pressure deep gas well," *Engineering Failure Analysis*, vol. 106, p. 104154, 2019.
- [32] A. Salimi, H. Karami, S. Farzin, M. Hassanvand, A. Azad and O. Kisi, "Design of water supply system from rivers using artificial intelligence to model water hammer," *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 26, no. 2, 2020.
- [33] P. J. F. Auqui, «Relacion del Golpe de Ariete en la Linea de Conduccion de Agua Potable del Distrito de Moya Provincia de Huancavelica,» [Tesis de pregrado] Universidad Peruana Los Andes , Huancayo, 2021.

- [34] M. Benito Rincón y J. Muñoz, «Tuberías resistentes a los desequilibrios químicos del agua. PVC orientado durabilidad y eficiencia en redes de transporte en desalación.,» Caso CCRR Cuevas del Almanzora, 2020.
- [35] I. Martín, R. Salcedo y R. Font, «MECÁNICA DE FLUIDOS Tema1. Flujo Interno De Fluidos Incompresibles Y Compresibles.,» Universidad de Alicante, 2011.
- [36] M. Rodriguez, "¿Qué es el golpe de ariete en tuberías de agua y cómo evitarlo?," 2024. [Online]. Available: <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/golpe-de-ariete/>. [Accessed 18 10 2024].
- [37] F. M. y C. Capponi, «Experimental characterization of PVC-O pipes for transient modeling. journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua,» 2017. [En línea].
- [38] Y. Tang, Y. Cheng, L. Shen, J. Wu, Y. Zhang, Q. Li and L. Yuan, "Analysis of the Effectiveness of Water Hammer Protection Programs for Complex Long-Distance and High-Head Water Supply Projects," *Water*, vol. 16, p. 1582, 2024.
- [39] Z. J. L. Villamarin, "Análisis del golpe de ariete en la estación de bombeo de la planta la toma," [tesis de Grado] Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 1991.
- [40] R. L. MOTT, «Mecánica De Fluidos. Sexta ed. México:,» Pearson Educación de México, S.A. de C.V., México, 2006.
- [41] INDECOPI, «NORMA TÉCNICA PERUANA NTP-ISO 16422.,» *Tubos y uniones de poli (cloruro de vinilo) no plastificado orientado (PVC-O) paa conducción de agua a presión, Especificaciones*, nº 1ra, 2012.
- [42] C. (s.f.), Artist, *Tuberías LisasHDPE*. [Art].
- [43] «Catálogo y Manual Técnico Tubos de PVC-U/NTP-ISO,» *EUROTUBO*, 2012.
- [44] V. C., «Principales usos y beneficios de las tuberías HDPE,» 2021.
- [45] CMAX, Artist, *Tubería de Hierro ductil y conexiones CNBM*. [Art]. international coporation, 2013.
- [46] R. Hernández-Sampieri and C. Mendoza, Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México: Editorial Mc Graw Hill Education, 2018.
- [47] Universidad Señor de Sipán S.A.C., «CÓDIGO DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.,» RESOLUCIÓN DE DIRECTORIO N° 053-2023/PD-USS, 2023.
- [48] Molecor, Artist, *¿Qué es el PVC-O?*. [Art]. 2021.

[49] A. Perú, Artist, *Soluciones de canalización tubería PVC*. [Art]. Orientado S.I., 2019.

[50] Z. Lahlou, «Golpe de ArieteTHE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICES CENTER,»  
National Environmental Services Center, 2015.

## **ANEXO**

## Índice de anexos

Anexo 1. Acta de revisión de similitud de la investigación .....	46
Anexo 2. Acta de aprobación de asesor .....	47
Anexo 3. Carta o correo de recepción del manuscrito remitido por la revista .....	48
Anexo 4. Autorización de recojo de información .....	49
Anexo 5. Matriz de consistencia .....	50
Anexo 6. Matriz de operacionalización de variables.....	51
Anexo 7. Clasificación de tuberías según tipo de materiales .....	52
Anexo 8. Formato para el cálculo del Golpe de ariete y Formulas aplicables.....	87
Anexo 9. Sustento de resultados .....	91
Anexo 10. Plano de proyecto de estudio .....	144

## Anexo 1. Acta de revisión de similitud de la investigación



### ACTA DE REVISIÓN DE SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN

Yo \_\_\_\_\_ docente del curso de **Investigación II** del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil**, luego de revisar la investigación del estudiante, **Julio César Menedez Fernandez**, titulada:

**“ESTUDIO NUMERICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIAL PVC-U, PVC-O, HDPE Y HD”**


Dejo constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **porcentaje\_\_%**, verificable en el reporte de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN. Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación en la Universidad Señor de Sipán S.A.C. vigente.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

Ing.	DNI:	Firma
------	------	-------

Pimentel, 10 de octubre de 2024.

## Anexo 2. Acta de aprobación de asesor


	<b>DIRECTIVA PARA EL DESARROLLO DE LOS CURSOS DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS CONDUCTENTES A TÍTULOS PROFESIONALES PREGRADO</b>	Código:	DI01-PP2
		Versión:	05
		Fecha:	10/09/2024
		Hoja:	121 de 160



### ACTA DE APROBACIÓN DEL ASESOR

Yo Mg. **Idrogo Perez Cesar Antonio**, quien suscribe Como asesor designado mediante Resolución de Facultad N° 0530-2024, del proyecto de investigación titulado **ESTUDIO NUMERICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIAL PVC-U, PVC-O, HDPE Y HD**, desarrollado por el estudiante: **MENENDEZ FERNANDEZ, JULIO CESAR**, del programa de estudios de **Ingeniería Civil**, acredito haber revisado, y declaro expedito para que continúe con el trámite pertinentes.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Mg. <b>Idrogo Perez Cesar Antonio (Asesor)</b>	DNI: 41554766	
--	---------------	---

Pimentel, 10 de Septiembre de 2024

### Anexo 3. Carta o correo de recepción del manuscrito remitido por la revista

#### CARTA DE PRESENTACIÓN DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

Sr.  
José Iannacone  
Revista Científica Paideia XXI  
Universidad Ricardo Palma

En conformidad con el artículo 48 de la Ley Universitaria N° 30220, presentamos ante ustedes el artículo científico titulado “\_\_\_” **Artículo de revisión de la contaminación medioambiental de relaves mineros**” para participar en el proceso editorial de la revista científica “Paideia XXI”.

Atentamente,

Nombres y apellidos: \_Julio Cesar Menéndez Fernández  
Universidad/Institución: \_Universidad Señor de Sipán  
Email: menendezfernanj@crece.uss.edu.pe Celular: 925954447 Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3552-8687>


Firma  \_ Huella 

Nombres y apellidos: \_Msc Sócrates Pedro Muñoz Perez  
Universidad/Institución: Universidad Señor de Sipán  
Email: msocrates@crece.uss.edu.pe \_ Celular: 966255500\_ Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Firma  \_\_\_\_\_ Huella 



## Anexo 4. Autorización de recojo de información

	<b>DIRECTIVA PARA EL DESARROLLO DE LOS CURSOS DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS CONDUCTENTES A TÍTULOS PROFESIONALES PREGRADO</b>	Código:	DI01-PP2
		Versión:	05
		Fecha:	10/09/2024
		Hoja:	122 de 160

### MODELO DE AUTORIZACIÓN PARA EL RECOJO DE INFORMACIÓN

Ciudad, 10 de Septiembre de 2024

Quien suscribe:

Sr. CARLOS A. INGA BUSTAMENRE

Representante Legal – Empresa CONSORCIO EL CENTRO

**AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado: ESTUDIO NUMERICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIAL PVC-U, PVC-O, HDPE Y HD**

Por el presente, el que suscribe, señor Mg. CARLOS INGA BUSTAMANTE representante legal de la empresa: CONSORCIO EL CENTRO, AUTORIZO al estudiante: JULIO CESAR MENEDEZ FERNANDEZ, identificado con DNI N° 41402761, de la Escuela Profesional de INGENIERIA CIVIL, y autor del trabajo de investigación denominado **ESTUDIO NUMERICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIAL PVC-U, PVC-O, HDPE Y HD**, al uso de dicha información que conforma el expediente técnico así como hojas de memorias, cálculos entre otros como planos para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Atentamente.



CARLOS A. INGA BUSTAMANTE  
GERENTE GENERAL  
DNI N°40494599

## Anexo 5. Matriz de consistencia

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

ESTUDIO NUMÉRICO CON EL PROGRAMA HAMMER PARA DETERMINAR EL GOLPE DE ARIETE EN MATERIALES PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD					
Título					
Problema	Hipótesis	Objetivo General	Objetivo Especifico	Tipo de Investigación	Diseño de Investigación
¿De qué manera influye el uso de programa Hammer en la determinación del golpe de ariete en material PVC-U, PVC-O, HDPE Y HD?	La aplicación del estudio numérico con el programa Hammer, influye en la determinación del golpe de ariete en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD en comparación del método clásico tradicional.	Evaluar el estudio numérico con el programa Hammer y el método tradicional para la determinar del golpe de ariete en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD.	<p>* Determinar el golpe de ariete aplicando fórmulas tradicionales en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD.</p> <p>* Determinar el golpe de ariete aplicando el programa Hammer en materiales PVC-U, PVC-O, HDPE, Y HD.</p> <p>* Análisis comparativo entre los resultados utilizando el método tradicional y el programa Hammer.</p>	Aplicado	No experimental

## Anexo 6. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<b>VARIABLE V1</b>				
<b>Estudio numérico</b>	Programa Hammer	-		Software licencia educativa
<b>VARIABLE V2</b>				
<b>Golpe de ariete</b>	D.N P.N ESPESOR RUGOSIDAD MODULO DE ELASTICIDAD COEFICIENTE DE HAZEN -W.	COMPORTAMIENTO ANTE EL FLUJO TRANSITORIO (SOBRE PRESION Y SUB-PRESIONES)	MCA	CATALOGOS FICHAS TECNICAS GUIAS DE RECOLECCION DE DATOS
	ESPESOR DIAMETRO PRESION RUGOSIDAD VELOCIDAD ELASTICIDAD	COMPORTAMIENTO ANTE EL FLUJO TRANSITORIO (SOBRE PRESION Y SUB-PRESIONES)	MCA	CATALOGOS FICHAS TECNICAS COMO GUIAS DE RECOLECCION DE DATOS

## Anexo 7. Clasificación de tuberías según tipo de materiales

### Clasificación de la Tubería PVC-U

En función de las presiones de trabajo en condiciones normales (T° del agua 20 °C) las tuberías se clasifican en serie (S) según la NTP ISO 1452

$$S = \frac{FR - 1}{2} \quad | \quad FR = \frac{De}{e}$$

Donde:

- FR Factor de Rigidez
- De Diámetro exterior del tubo (mm)
- e Espesor de la pared del tubo

(S) depende del espesor del tubo, a medida que aumenta la serie (S), el espesor de la tubería disminuye y viceversa.

Serie	Clase	Pn (Bar)	Pn (Kg/cm2)	Pn (Lb/plg2)	Pn (Mpa)
20	5	5	5	75	0.50
16.7	6	6	6	85	0,60
16	6.3	6.3	6.3	90	0.63
13.3	7.5	7.5	7.5	105	0.75
12.5	8	8	8	115	0.80
10	10	10	10	150	1.00
8	12.5	12.5	12.5	180	1.25
6.6	15	15	15	200	1.50
6.3	16	16	16	230	1.50

4	25	25	25	360	2.50
---	----	----	----	-----	------

**Tubos de PVC-U – Unión Flexible para fluidos a presión NTP ISO 1452**



Temperatura del Agua (°C)	Coefficiente a ser aplicado a la presión nominal
0 < t < 25	1.0
25 < t < 35	0.8
35 < t < 45	0,6

ámetro Nominal Ext. D1(mm)	Espesor	Diámetro Interior (mm)	Longitud Útil (mt)	Peso Promedio (Kg)
<b>PN – 5 (Serie 20) SDR 41</b>				
63	1.60	59.80	5.88	3.00
75	1.90	71.20	5.87	4.16
90	2.20	85.60	5.86	5.83
110	2.70	104.60	5.85	8.58
140	3.50	133.00	5.83	14.07
160	4.00	152.00	5.82	18.19
200	4.90	190.20	5.80	27.78

250	6.20	237.60	5.76	43.97
315	7.70	299.60	5.74	68.36
355	8.70	337.60	5.72	86.90
400	9.80	380.40	5.70	110.09
450	11.0	428.00	5.73	138.76
500	12.30	475.40	5.71	172.65
630	15.40	599.20	5.70	271.79



Diámetro Nominal Ext. D1(mm)		Espesor	Diámetro Interior (mm)	Longitud Útil (mt)	Peso Promedio (Kg)
<b>PN – 7.5 (Serie 13.3) SDR 28</b>					
63		2.30	58.40	5.88	4.19
75		2.80	69.40	5.87	5.97
90		3.30	83.40	5.86	8.45
110		4.00	102.00	5.85	12.35
140		5.10	129.80	5.83	20.11
160		5.80	148.40	5.82	25.91
200		7.30	185.40	5.80	40.73
250		9.10	231.80	5.76	63.34
315		11.40	292.20	5.74	99.59
355		12.90	329.20	5.72	126.60
400		14.50	371.00	5.70	160.42
450		16.30	417.40	5.73	202.83
500		18.10	463.80	5.70	250.19
630		22.80	584.40	5.70	395.95



<b>Diámetro Nominal Ext. D1(mm)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>	<b>Longitud Útil (mt)</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
<b>PN – 10 (Serie 10 ) SDR 21</b>				
63	3.00	57.00	5.88	5.28
75	3.60	67.80	5.87	7.54
90	4.30	81.40	5.86	10.79
110	5.30	99.40	5.85	16.16
140	6.70	126.60	5.83	25.82
160	7.70	144.60	5.82	33.82
200	9.60	180.80	5.80	52.60
250	11.90	226.20	5.76	81.28
315	15.00	285.00	5.74	128.84
355	16.90	321.20	5.72	161.79
400	19.10	361.80	5.70	208.45
450	21.50	407.00	5.73	263.56
500	23.90	452.20	5.70	325.09
630	30.00	570.00	5.70	513.78





<b>Diámetro Nominal Ext. D1(mm)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>	<b>Longitud Útil (mt)</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
<b>PN – 15 (Serie 6.6 ) SDR14.2</b>				
63	4.40	54.20	5.88	7.53
75	5.30	64.40	5.87	10.74
90	6.30	77.60	5.86	15.27
110	7.70	94.60	5.85	22.69
140	9.80	120.40	5.83	36.64
160	11.20	137.60	5.82	47.89
200	14.00	172.00	5.80	74.48
250	17.50	215.00	5.76	116.38
315	22.00	271.00	5.74	183.96
355	24.80	305.40	5.72	233.67
400	28.00	344.00	5.70	296.98
450	31.40	387.20	5.75	374.97
500	34.90	430.20	5.74	462.58

## Tubos de PVC-U – Unión Reiber (JEI) para fluidos a presión NTP ISO 1452



<b>Diámetro Nominal Ext. D1(mm)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>	<b>Longitud Útil (mt)</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
<b>PN – 5 (Serie 20) SDR 41</b>				
63	1.60	59.80	5.88	3.00
75	1.90	71.20	5.87	4.16
90	2.20	85.60	5.86	5.83
110	2.70	104.60	5.85	8.58
140	3.50	133.00	5.83	14.07
160	4.00	152.00	5.82	18.19
200	4.90	190.20	5.80	27.78
250	6.20	237.60	5.76	43.97
315	7.70	299.60	5.74	68.36
355	8.70	337.60	5.72	86.90
400	9.80	380.40	5.70	110.09
450	11.0	428.00	5.73	138.76
500	12.30	475.40	5.71	172.65
630	15.40	599.20	5.70	271.79



<b>Diámetro Nominal Ext. D1(mm)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>	<b>Longitud Útil (mt)</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
<b>PN – 7.5 (Serie 13.3) SDR 28</b>				
63	2.30	58.40	5.88	4.19
75	2.80	69.40	5.87	5.97
90	3.30	83.40	5.86	8.45
110	4.00	102.00	5.85	12.35
140	5.10	129.80	5.83	20.11
160	5.80	148.40	5.82	25.91
200	7.30	185.40	5.80	40.73
250	9.10	231.80	5.76	63.34
315	11.40	292.20	5.74	99.59
355	12.90	329.20	5.72	126.60
400	14.50	371.00	5.70	160.42
450	16.30	417.40	5.73	202.83
500	18.10	463.80	5.70	250.19
630	22.80	584.40	5.70	395.95



<b>Diámetro Nominal Ext. D1(mm)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>	<b>Longitud Útil (mt)</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
<b>PN – 10 (Serie 10 ) SDR 21</b>				
63	3.00	57.00	5.88	5.28
75	3.60	67.80	5.87	7.54
90	4.30	81.40	5.86	10.79
110	5.30	99.40	5.85	16.16
140	6.70	126.60	5.83	25.82
160	7.70	144.60	5.82	33.82
200	9.60	180.80	5.80	52.60
250	11.90	226.20	5.76	81.28
315	15.00	285.00	5.74	128.84
355	16.90	321.20	5.72	161.79
400	19.10	361.80	5.70	208.45
450	21.50	407.00	5.73	263.56
500	23.90	452.20	5.70	325.09
630	30.00	570.00	5.70	513.78



<b>Diámetro Nominal Ext. D1(mm)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>	<b>Longitud Útil (mt)</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
<b>PN – 15 (Serie 6.6 ) SDR14.2</b>				
63	4.40	54.20	5.88	7.53
75	5.30	64.40	5.87	10.74
90	6.30	77.60	5.86	15.27
110	7.70	94.60	5.85	22.69
140	9.80	120.40	5.83	36.64
160	11.20	137.60	5.82	47.89
200	14.00	172.00	5.80	74.48
250	17.50	215.00	5.76	116.38
315	22.00	271.00	5.74	183.96
355	24.80	305.40	5.72	233.67
400	28.00	344.00	5.70	296.98
450	31.40	387.20	5.75	374.97
500	34.90	430.20	5.74	462.58

### **Polietileno de Alta Densidad (HDPE) (NTP. ISO-4427)**

Las tuberías HDPE, tienen alta rigidez dieléctrica. Entre los beneficios a su rápida instalación y transporte por ser ligeros; flexibilidad en curvas resistencia a cargas verticales y larga vida útil estimada en 50 años debido a su resistencia a líquidos abrasivos, tienen un alto índice de eficiencia ya que tienen paredes lisas y no acumula sedimentos.

Según NTP ISO-4427, se aplica a materiales de polietileno (PE), conexiones válvulas con presiones nominales PN 3.2, PN 4, PN 6, PN 10, PN 12.5, PN 16 y diámetros nominales externos de 16 a 1600, se utilizará para conducción de agua bajo presión a temperatura entre 0°C y 40°C, servicios y suministro de agua sobre tierra, tanto dentro como fuera de las construcciones; de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Presión máxima de funcionamiento o de operación (POM)
- Temperatura de funcionamiento o operación de 20°C

### **Características mecánicas del Polietileno de alta densidad (HDPE)**

Características mecánicas (Bailairon Pérez, 2008), las características mecánicas que presenta las tuberías HDPE son:

<b>CARACTERISTICAS MECANICAS</b>
<b>Resistencia a la abrasion</b>
<b>Resistencia al golpe de ariete</b>
<b>Flexibilidad</b>

Designación de material y valores correspondiente de tensión máxima de diseño.

Designación	Resistencia mínima requerida (MRR) MPa	$\sigma_s$ Mpa
PE 100	10.0	8.0
PE 80	8.0	6.3
PE 63	6.3	5.0
PE40	4.0	3.2

Relación entre MRR,  $\sigma_s$  y coeficiente de diseño "C" a 20°C

Esfuerzo de diseño hidrostático del tubo, $\sigma_s$ (MPa)	Mínima Resistencia requerida del material MPa				
	10	8	6.3	4	3.2
	Coeficiente de diseño "C"				
8	1.25				
6.3	1.60	1.25			
5	2.00	1.60	1.25		
4	2.50	2.00	1.60		
3.2	3.20	2.50	2.00	1.25	
2.5	-	3.20	2.50	1.60	1.25

## Características y propiedades del Polietileno de alta densidad

PROPIEDAD	UNIDAD	PE – 80	PE – 100
Densidad	Gr./cm <sup>3</sup>	0.948 – 0.956	0.957 – 0.961
Índice de fluidez (MFR) 190°C/ 5 Kg	Gr./ 10min	0.3	0.40
Resistencia a la tracción	%	20 – 23	23 -25
Resistencia a la flexión	MPa	18	23
Modulo tensil	MPa	1000	900
Tensión de diseño ( $\sigma$ )	MPa	6.3	8.0
Mínimo esfuerzo requerido (MRS)	MPa	>8	>10
Coeficiente de dilatación lineal	Mm/m°C	0.17 – 0.20	0.20
Temperatura de fragilidad	°C	< -70	<-70

### Espesor de tubos de HDPE

El espesor de un tubo se puede calcular en base a la siguiente formula:

$$e = (PN \times D) / (2 \sigma + PN)$$

Donde:

- e : espesor del tubo (mm)
- D : Diámetro exterior del tubo (mm)
- PN : Presión Nominal (Bar)
- $\sigma$  : Tensión de diseño (Bar)

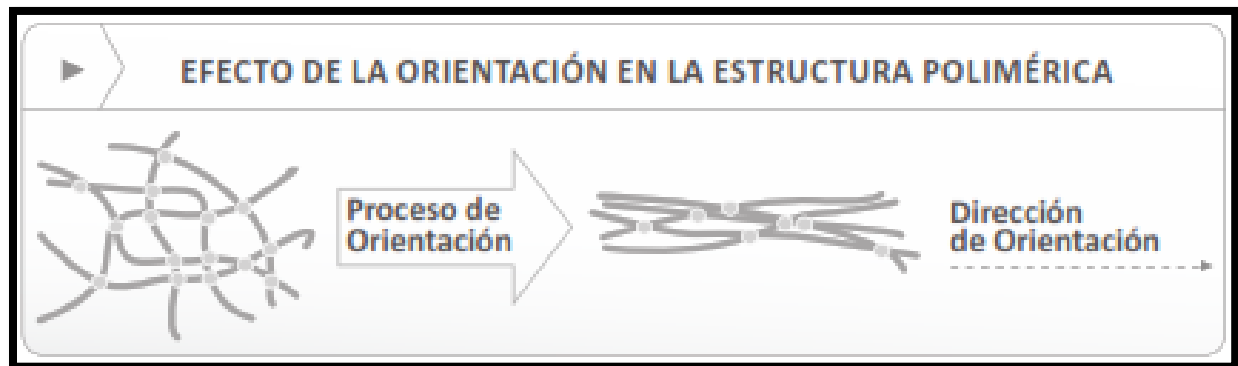


DIAMETRO EXTERNO (mm)			ESPEORES (mm) - PESO (kg/m)																					
			Tipo de PE	SDR 6		SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17		SDR 21		SDR 26		SDR 33		SDR 41		
				S 2.5	S 3.2	S 4	S 5	S 6.3	S 8	S 10	S 12.5	S 16	S 20											
			PE 80	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12.5	PN 10(')	PN 8	PN 6	PN 5	PN 4	PN 3.2											
PE100	-	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12.5(')	PN 10	PN 8	PN 6(')	PN 5	PN 4														
Min (DM)	Max	Diam. Medio	Ovalidad	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso	
F	20.00	20.30	20.20	1.20	3.40	0.19	3.00	0.17	2.30	0.13	2.00	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A	25.00	25.30	25.20	1.20	4.20	0.29	3.50	0.25	3.00	0.22	2.30	0.17	2.00	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C	32.00	32.30	32.20	1.30	5.40	0.47	4.40	0.40	3.60	0.33	3.00	0.28	2.40	0.23	2.00	0.20	-	-	-	-	-	-	-	
T	49.00	40.40	40.40	1.40	6.70	0.73	5.50	0.62	4.50	0.52	3.70	0.44	3.00	0.36	2.40	0.30	2.00	0.25	-	-	-	-	-	
O	50.00	50.40	50.20	1.40	8.30	1.13	6.90	0.97	5.60	0.81	4.60	0.68	3.70	0.56	3.00	0.46	2.40	0.37	2.00	0.31	-	-	-	
R	63.00	63.40	63.40	1.50	10.50	1.80	8.60	1.53	7.10	1.30	5.80	1.08	4.70	0.89	3.80	0.73	3.00	0.59	2.50	0.49	-	-	-	
D	75.00	75.50	75.30	1.60	12.50	2.55	10.30	2.18	8.40	1.83	6.80	1.51	5.60	1.27	4.50	1.04	3.60	0.84	2.90	0.68	-	-	-	
E	90.00	90.60	90.30	1.80	15.00	3.68	12.30	3.12	10.10	2.64	8.20	2.19	6.70	1.82	5.40	1.49	4.30	1.20	3.50	0.99	-	-	-	
S	110.00	110.70	110.40	2.20	18.30	5.48	15.10	4.68	12.30	3.92	10.00	3.27	8.10	2.69	6.60	2.23	5.30	1.81	4.20	1.45	-	-	-	
E	160.00	161.00	160.50	3.20	26.60	11.59	21.90	9.88	17.90	8.31	14.60	6.93	11.80	5.71	9.50	4.67	7.70	3.83	6.20	3.11	-	-	-	
G	200.00	201.20	200.60	4.00	33.20	18.08	27.40	15.44	22.40	12.99	18.20	10.80	14.70	8.89	11.90	7.31	9.60	5.97	7.70	4.83	-	-	-	
U	250.00	251.50	250.80	5.00	41.50	28.26	34.20	24.10	27.90	20.23	22.70	16.84	18.40	13.91	14.80	11.36	11.90	9.25	9.60	7.53	-	-	-	
R	280.00	281.70	280.40	9.80	46.50	35.46	38.30	30.23	31.30	25.42	25.40	21.11	20.60	17.44	16.60	14.27	13.40	11.66	10.70	9.41	-	-	-	
I	315.00	316.90	316.00	11.10	52.30	44.87	43.10	38.26	35.20	32.16	28.60	26.74	23.20	22.10	18.70	18.09	15.00	14.69	12.10	11.96	9.70	9.67	7.70	7.72
D	355.00	357.20	356.10	12.50	59.00	55.98	48.50	48.54	39.70	40.87	32.20	33.94	26.10	28.03	21.10	23.00	16.90	18.65	13.60	15.16	10.90	12.24	8.70	9.83
A	400.00	402.40	401.20	14.00			54.70	61.67	44.70	51.85	36.30	43.10	29.40	35.57	23.70	29.11	19.10	23.75	15.30	19.21	12.30	15.56	9.80	12.48
D	450.00	452.70	451.40	15.60			61.50	78.01	50.30	65.64	40.90	54.62	33.10	45.05	26.70	36.89	21.50	30.07	17.20	24.30	13.80	19.65	11.00	15.76
=	500.00	503.00	501.50	17.50					55.80	80.92	45.40	67.38	36.80	55.64	29.70	45.59	23.90	37.14	19.10	29.98	15.30	24.20	12.30	19.58
1	560.00	563.40	561.70	19.60					62.50	101.52	50.80	84.45	41.20	69.78	33.20	57.09	26.70	46.48	21.40	37.62	17.20	30.47	13.70	24.43
2	630.00	633.80	631.90	22.10					70.30	128.46	57.20	106.96	46.30	88.22	37.24	72.35	30.00	58.75	24.10	47.66	19.30	38.47	15.40	30.39
.	710.00	716.40	713.20	-					79.30		64.50	136.14	52.20	112.27	42.10	91.93	33.90	74.93	27.20	60.71	21.80	49.04	17.40	39.39
5	800.00	807.20	803.60	-					89.30		72.60	172.68	58.80	142.50	47.40	116.63	38.10	94.90	30.60	76.97	24.50	62.11	19.60	50.00
	900.00	908.10	904.10	-							81.70	218.61	66.20	180.48	53.30	147.54	42.90	120.21	34.40	97.34	27.60	78.71	22.00	63.14

## PVC -O ( NTP- ISO 16422 – 2020)

Las características técnicas de la tubería PVC-O se encuentran en la ISO 16422 (2014) [48] “Tubos y empalmes de Policloruro de vinilo no plastificado orientado (PVC-O) para conducción de agua a presión. La clase 500, donde el nivel mínimo de resistencia requerido (MRS) para tuberías de agua a 20°C, vida útil menor de 50 años es de 50 MPa, donde presenta tuberías con presiones nominales de PN 12 bar, PN 16 bar, PN 20 bar y PN 25 bar.

### ***Efecto de la orientación en la estructura polimérica***



*Nota:* Molecor, (2021) [48]

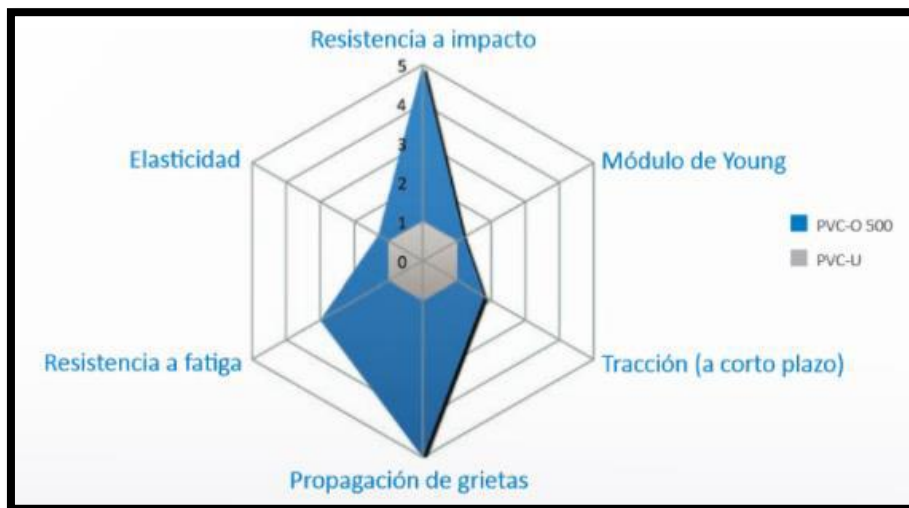
El proceso de orientación molecular mejora las propiedades físicas y mecánicas del PVC, y proporciona una característica, sin cambiar las ventajas y propiedades químicas del polímero original. obteniéndose un plástico con resistencia a la tensión y fatiga, elasticidad y resistencia al impacto.

## Ventajas

### a) Resistencia al impacto

La tubería PVC-O es casi indestructible a los golpes. Así, evita roturas de tuberías en el momento de la instalación, su orientación molecular impide la propagación de grietas, hendiduras, lo que aumenta la vida útil del producto [49]

#### *Propiedad mecánica de la tubería PVC-O frente a la PVC-U*



*Nota:* Molecor, (2021) [48]

### b) Resistencia hidrostática

Las tuberías de PVC-O resisten presiones internas de más del doble de la presión nominal, es decir soportan sobrepresiones puntuales como el golpe de ariete. Del mismo modo, las tuberías que funcionan a la presión nominal tienen una vida útil de más de 100 años.

### c) Resistencia a la corrosión

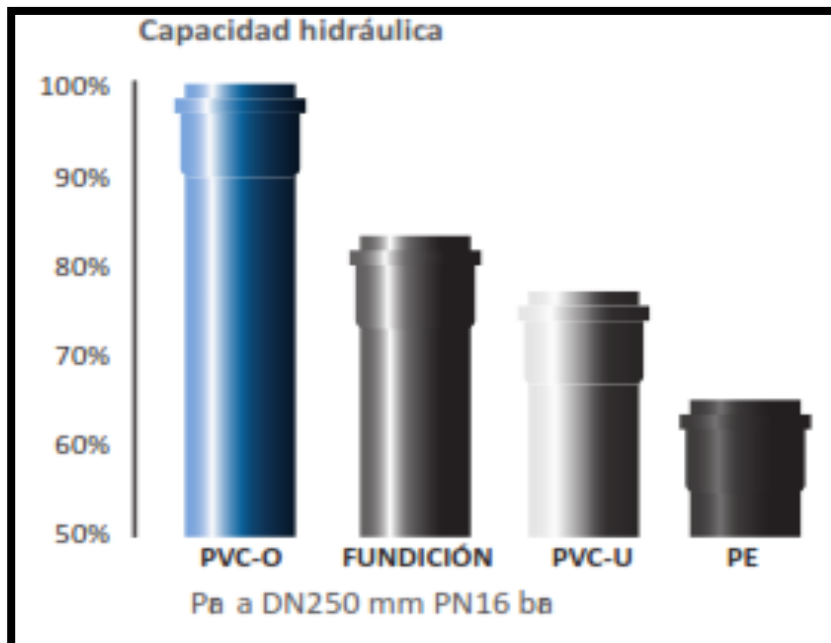
El PVC-O no está sujeto a la corrosión, que puede ser causada por sustancias naturales del suelo, así como por productos agroquímicos, las tuberías no requieren ninguna medida de protección adicional o especial.

### d) Mayor capacidad hidráulica

La tubería de PVC-O al tener un menor grosor de pared, aumenta el diámetro interior, lo que al final ayuda a transportar mucha más agua con el mismo diámetro nominal.

La superficie interior de la tubería de PVC O es muy lisa, lo que reduce la pérdida de presión y evita los depósitos en la pared de la tubería. Mejora la potencia hidráulica entre un 15 % y un 40 % en comparación con las mangueras hechas de otros materiales con diámetros exteriores similares.

*Capacidad Hidráulica*

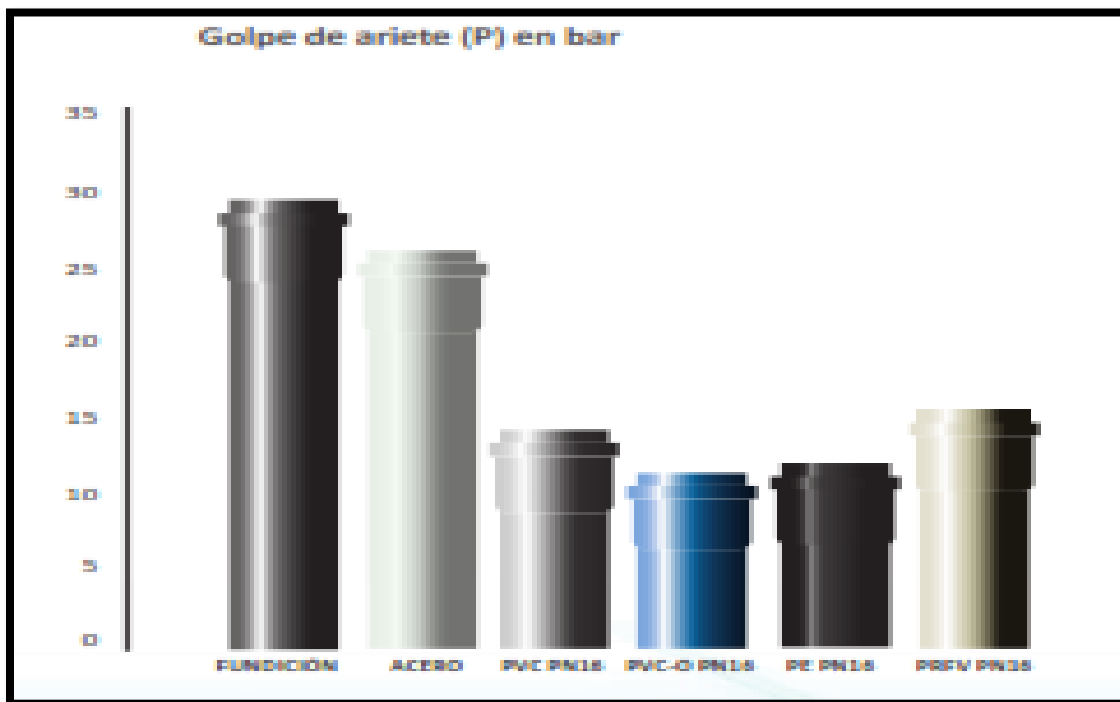


*Nota:* Molecor, (2021 b) [48]

### e) comportamiento frente al golpe de ariete

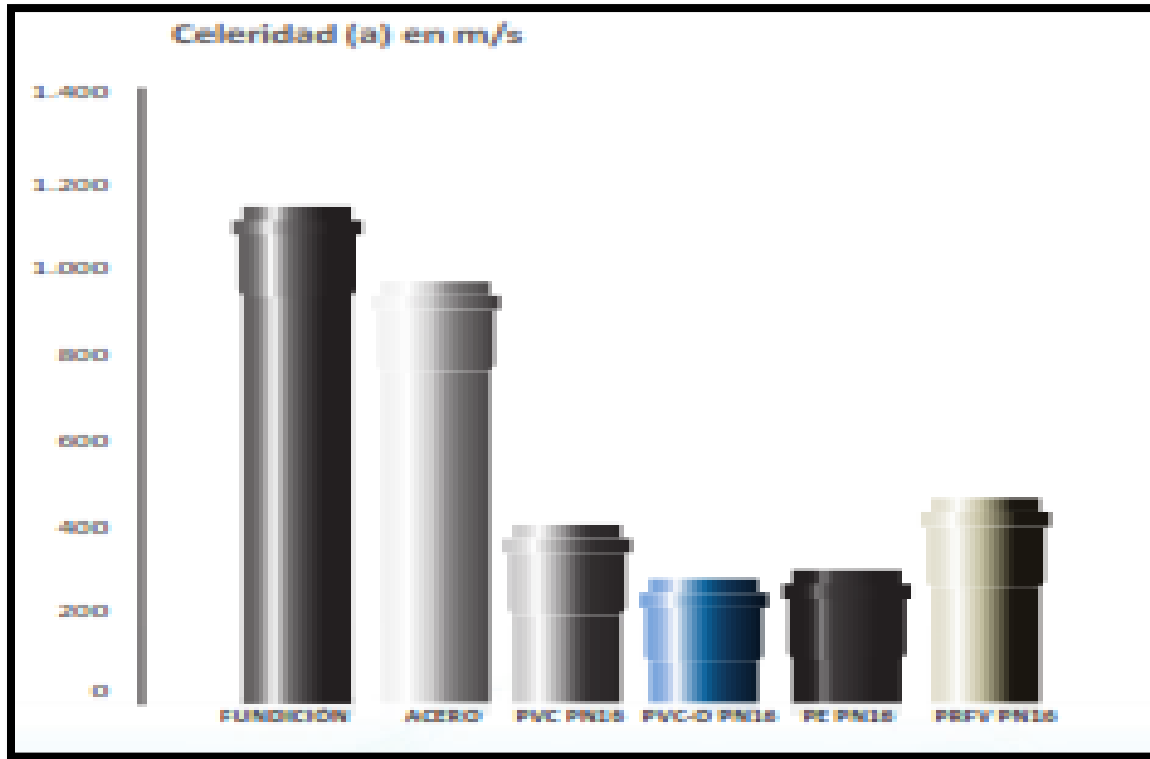
El PVC-O Clase 500, reduce drásticamente los picos de sobrepresión que actúan como resorte, durante el funcionamiento de la red, siendo esta absorbida por la tubería, además indica que esta tubería tiene un coste de mantenimiento muy bajo, haciéndola económicamente rentable a lo largo del tiempo.

#### *Sobrepresiones producidas por cierre brusco en tuberías*



Nota: Molecor, (2021 b) [48]

Celeridad (a) en m/s



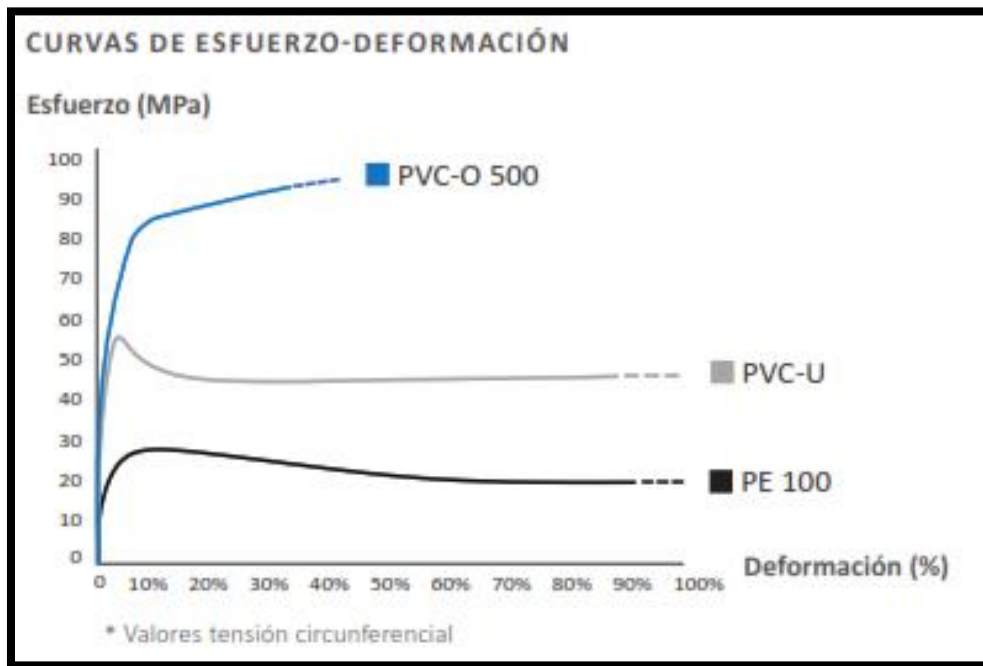
Nota: Molecor, (2021 b) [48]

## Propiedades Mecánicas

### a) Resistencia a la tracción

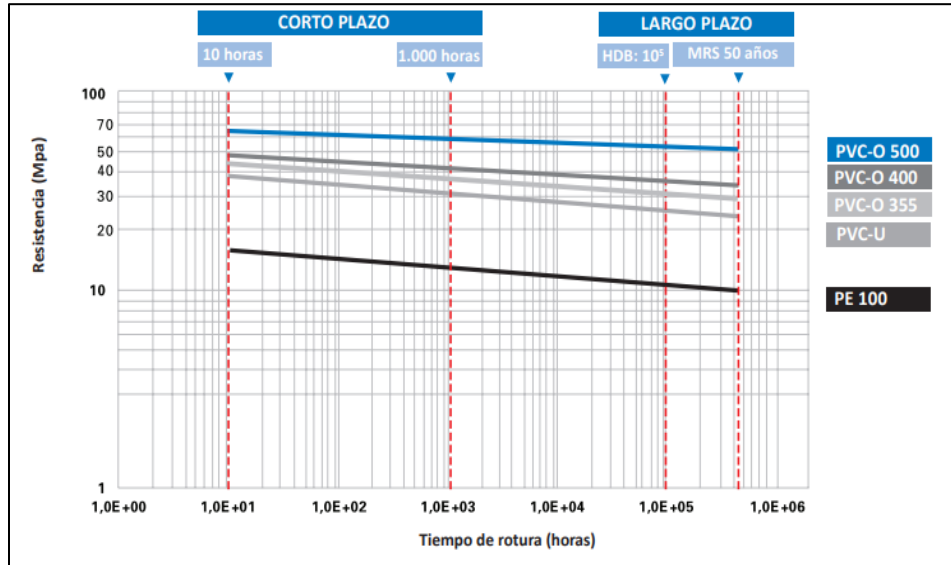
En comparación con los plásticos convencionales, el PVC O, presenta una curvatura, tensión y deformación diferente. La transformación completa de las propiedades mecánicas del PVC-O en PVC convencional solo se consigue en la clase más alta PVC-O 500.

### *Curvas de esfuerzo-deformación*



Nota: Molecor, (2021b) [48]

### Características mecánicas de las tuberías de PVC-O frente a otras tuberías plásticas



Nota: Molecor, (2021 ) [48]

### Características mecánicas del PVC O frente a otras tuberías plásticas

Forma Producto	Unidades	PVC-O 500		PVC -U		PE-100		PE-80	
		NTP	ISO	NTP	ISO	NTP	ISO	NTP	ISO
		16422		1452		4427		4427	
Resistencia mínima requerida (MRS)	Mpa	50.0		25.0		10.0		8.0	
Coeficiente global de servicio "C"		1.4		2.0		1.3		1.3	
Esfuerzo de diseño	Mpa	30.0		12.5		8.0		6.3	
Módulo de elasticidad a corto plazo									
"E"	Mpa	4000.0		>3000.0		1100.0		900.0	
Resistencia tracción uniaxial	Mpa	≥48		≥45		19.0		19.0	
Resistencia a tracción tangencial	Mpa	>85		≥45		19.0		19.0	
Dureza Shore D a 20°C		81-85		70-85		60.0		65.0	



## Características no mecánicas de la tubería PVC-O 500

Características	unidades	valor
Densidad	kg/dm <sup>3</sup>	1.35-1.46
valor K resina de PVC	-	>64
Coeficiente de Poisson	-	0.35-0.41
Temperatura	°C	≥80
Coeficiente de dilatacion lineal	°C <sup>(-1)</sup>	8*10 <sup>(5)</sup>
Conductividad termica	kcal/mh°C	0.14-0.18
Calor especifico a 20°C	cal/g°C	0.20-0.28
Rigidez dielectica	kv/mm	20-40
Constante dielectrica a 60 Hz	-	3.2-3.6
Resistividad transversal a 20°C	Ω/cm	>10 <sup>(16)</sup>
Rugosidad absoluta "ka"	mm	0.007
Rugosidad C	-	10
Coeficiente de Manning"n"	-	0.009

Nota:

### Clasificación del material tubería PVC-O

Numero de clasificación del material del tubo		315		355		400		450		500			
RMR	MPa <sup>a</sup>	31.5	35.5	40	45	50							
C		1.6	2	1.6	2	1.6	2	1.4	1.6	2	1.4	1.6	2
αs	MPa	20	16	22	18	25	20	32	28	23	36	32	25

La NTP-ISO 16422 (2012) La relación entre el espesor de pared nominal y el diámetro exterior nominal Dn. [41]

La PN son símbolos alfanuméricos relacionados con las propiedades mecánicas de las tuberías para referencia, se pueden calcular sustituyendo los valores de RMR, C y Dn en la formula

$$e_n = \frac{P \cdot DN}{(20\sigma + P)}$$

## **Esfuerzo de diseño**

El esfuerzo de diseño debe basarse en el valor de limite inferior de confianza  $\sigma_{LPL}$  del esfuerzo hidrostático a largo plazo para la resistencia del material a presión interna, para obtener el esfuerzo  $\sigma_s$  que se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{MRS}{C}$$

**MRS**

Para MRS, Según la NORMA TÉCNICA PERUANA NTP-ISO 16422 (2012) indica que el valor requerido de  $\sigma_{LPL}$  a la temperatura T es de 20 °C y el tiempo t es de 50 años.

El valor del esfuerzo, MPa, se puede considerar como una propiedad del material en consideración

Proporciona un límite de confianza inferior del 97,5 % para la resistencia hidrostática a largo plazo y es igual a la resistencia media esperada a 20 °C y 50 años de presión hidrostática. NORMA TÉCNICA PERUANA NTP-ISO 16422 (2012) (p. 6).

*Espesores tuberías PVC-O, según Clase de material y coeficiente de diseño, según ISO 16422*

CLASE DEL MATERIAL	Presion PN para coeficiente de diseño C= 1.6												
315	6.3		8		10		12.5		16		20		25
355		8		10		12.5		16		20		25	
400	8		10		12.5		16		20		25		
450		10		12.5		16		20		25			
500	10		12.5		16		20		25				
Presion PN para coeficiente de diseño C= 1.4													
450	10		12.5		16		20		25				
500		12.5		16		20		25					
Presion PN para coeficiente de diseño C= 2.0													
315	5		6.3		8		10		12.5		16		20
355		6.3		8		10		12.5		16		20	
400	6.3		8		10		12.5		16		20		25
450		8		10		12.5		16		20		25	
500	8		10		12.5		16		20		25		
Numero de serie de tubos S preferente y valores calculados(ISO 3) y relacion de dimensiones normalizadas (SDR)													
S	32.0	28.0	25.0	22.4	20.0	18.0	16.0	14.0	12.5	11.2	10.0	9.0	8.0
Scale	31.623	28.184	2.119	22.387	19.953	17.783	15.849	14.125	12.589	11.220	10.000	8.9125	7.9433
SDR	65.0	57.0	51.0	45.8	41.0	37.0	33.0	29.0	26.0	23.4	21.0	19.0	17.0
dn	en, mm												
63					1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.4	3.8
75			1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.5
90		1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.4
110	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.1	3.4	3.8	4.2	4.7	5.3	5.9	6.6
125	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.4
140	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.5	8.3
160	2.5	2.8	3.2	3.5	4.0	4.4	4.9	5.5	6.2	6.9	7.7	8.5	9.5
180	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	5.0	5.5	6.2	6.9	7.7	8.6	9.6	10.7
200	3.2	3.5	3.9	4.4	4.9	5.5	6.2	6.9	7.7	8.6	9.6	10.7	11.9
225	3.5	4.0	4.4	5.0	5.5	6.2	6.9	7.7	8.6	9.3	10.8	12.0	13.4
250	3.9	4.4	4.9	5.5	6.2	6.9	7.7	8.6	9.3	10.7	11.9	13.3	14.8
280	4.4	4.9	5.5	6.2	6.9	7.7	8.6	9.6	10.7	12.0	13.4	14.9	16.6
315	4.9	5.5	6.2	6.9	7.7	8.7	9.7	10.8	12.1	13.5	15.0	16.8	18.7
355	5.6	6.5	7.0	7.8	8.7	9.8	10.9	12.2	13.6	15.2	16.9	18.9	21.1
400	6.3	7.0	7.9	8.8	9.8	11.0	12.3	13.7	15.3	17.1	19.1	21.3	23.7
450	7.0	7.9	8.8	9.9	11.0	12.4	13.8	15.4	17.2	19.2	21.5	23.9	26.7
500	7.8	8.8	9.8	11.0	12.3	13.7	15.3	17.1	19.1	21.4	23.9	26.6	29.7
560	8.8	9.8	11.0	12.3	13.7	15.4	17.2	19.2	21.4	23.9	26.7	29.8	33.2
630	9.9	11.0	12.3	13.8	15.4	17.3	19.3	21.6	24.1	26.9	30.0	33.5	37.4
710	11.2	12.4	14.1	15.4	17.5	19.2	21.8	24.4	27.6	30.2	34.2	37.3	42.2
800	12.6	14.0	15.9	17.4	19.8	21.6	24.5	27.4	31.1	34.0	38.5	42.0	47.6
900	14.1	15.7	17.9	19.6	22.2	24.3	27.6	30.9	35.0	38.2	43.3	47.3	53.5
1000	15.7	17.5	19.9	21.7	24.7	27.0	30.6	34.3	38.9	42.5	48.1	52.5	59.4

## HIERRO FUNDIDO

### ESPECIFICACIONES GENERALES:

#### Dimensiones y masas

Las siguientes descripciones de dimensiones con los requisitos de ISO 2531

#### Espesor:

El espesor nominal de las tuberías y accesorios se calcula como una función de su diámetro nominal con la siguiente formula:

$$e = K(0.5 + 0.001 DN)$$

donde :

**e** = espesor nominal de pared (mm)

**DN** = diámetro Nominal (mm)

**K** = un coeficiente seleccionado de una serie de números enteros ...8,9, 10, 11, 12...

#### Tolerancia de espesor:

Las tolerancias de los espesores de pared se indica

#### *Tolerancia de espesor*

<b>Tipo de fundición</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>dimensiones</b>	<b>en</b>
			<b>milímetros</b>
<b>Tuberías</b>	-	<b>(1,3 + 0,001 DN)</b>	
<b>Accesorios y complementos</b>	-	<b>( 2,3 + 0,001 DN)</b>	

#### Largos y Tolerancias:

La NORMA TÉCNICA PERUANA NTP-ISO 2531(2009), permite la tolerancia de  $\pm 30$ mm en los tramos de trabajo de fabricante para permitir variaciones debidas a encogimiento y crecimiento, dependiendo de la composición del Hierro Dúctil y el tratamiento térmico que le es dado.

<b>Diámetro Nominales DN</b>	<b>Tramo de trabajo del Fabricante )m=</b>
<b>100 – 900</b>	<b>5,5</b>
<b>1000</b>	<b>5,5 y 6,0</b>
<b>1200 - 1600</b>	<b>6,0</b>

## **Ensayos mecánicos**

### **Prueba de Presión Interna**

Las tuberías son expuestas a un ensayo hidrostático de fábrica por una duración de 10 segundos y con una presión basada en las fórmulas y limitaciones dadas en el siguiente cuadro

**Tabla 6:**

#### ***Prueba de Presión Interna***

<b>Tamaño Nominales DN (mm)</b>	<b>Presión para ensayos hidrostáticos de fabrica formulas (bar)</b>	<b>Tuberías K &gt; 9, presión mínima de ensayo (bar)</b>
<b>100 &lt; DN &lt; 300</b>	<b>0,5 ( K + 1)<sup>2</sup></b>	<b>50</b>
<b>350 &lt; DN &lt; 600</b>	<b>0,5 K<sup>2</sup></b>	<b>40</b>
<b>700 &lt; DN &lt; 1000</b>	<b>0,5 (K – 1)<sup>2</sup></b>	<b>32</b>
<b>1200 &lt; DN &lt; 1600</b>	<b>0,5 (K – 2)<sup>2</sup></b>	<b>25</b>

***K es el coeficiente de espesor de la tubería***

Los accesorios son expuestos a un ensayo de hermeticidad hecho con agua bajo las presiones indicadas a en el siguiente cuadro o con aire bajo una presión mínima de 1 bar

<b>Tamaño Nominal DN (mm)</b>	<b>Presión para ensayo hidrostáticos de hermeticidad para accesorios (bar)</b>
<b>80 &lt; DN &lt; 300</b>	<b>25</b>
<b>350 &lt; DN &lt; 600</b>	<b>16</b>
<b>700 &lt; DN &lt; 1600</b>	<b>10</b>

### **Ensayo de Dureza por Maquina de Brinell**

La dureza del metal será tal que la tubería podrá ser cortada, taladrada o maquinada. En caso de desacuerdo, los productos serán considerados aceptables con tal que la dureza superficial no exceda 230 HB para tuberías y 250 HB para accesorios y complementos. Se verifica la dureza en la superficie externa de las fundiciones después de un leve esmerillaje. Cuando la tubería y los accesorios tienen elementos soldados, se permite que haya una dureza mas alta en los alrededores cercanos a la soldadura.

### **CARACTERISTICAS**



***Alta resistencia a la tensión,***



***Alta resistencia a la corrosión,*** por ambientes salinos, del subsuelo o ataques químicos.



***Excelente flujo hidráulico,*** textura interna homogénea y lisa. El diámetro efectivo de flujo de agua es igual al diámetro nominal

**Alta presiones de trabajo,**

para cubrir las aplicaciones mas exigentes de transporte de agua.

Para tubería con brida tipo PN, las pruebas de presión deben ser de 1.5 veces la presión nominal.

Diámetro Nominal DN (mm)	Pruebas de presión hidrostáticas BAR
80 - 300	50
350 - 600	40
700 - 1000	32
1200 - 2000	25
2200 - 2600	18

**Facilidad en la**

**instalación,** peso ligero y resistencia a los imprevistos de la obra.

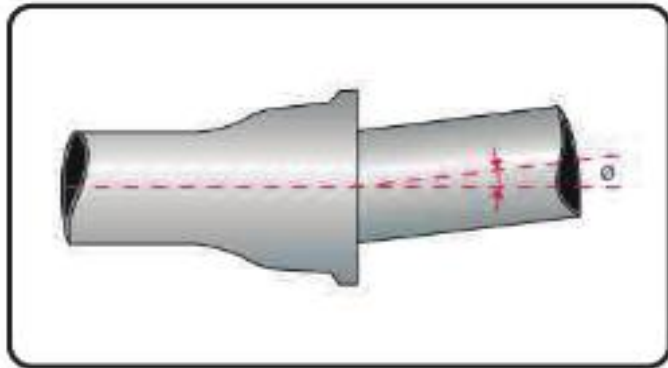


**Larga vida útil,** por ser el material con mejores propiedades para soportar 100 año de servicio.





**Se acomoda a los movimientos,** del suelo por la deflexión de sus uniones.



### Características Mecánicas Mínimas

*Según La Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2531(2009)*

Resistencia mínima a la tracción (Rm)		Alargamiento mínimo a la rotura (A)			Dureza Brinell (HB)	
<b>TUBOS Y</b>						
ACCESORIOS	TUBOS	TUBOS	ACCESORIOS	TUBOS	ACCESORIOS	
DN 60 a 2000	DN 60 a 1000	DN 1100 a 2000	DN 60 a 2000	DN 60 a 2000	DN 60 a 2000	
420MPa	10%	7%	5%	≤ 230	≤ 250	

### Prueba de Estanqueidad

Las tuberías se someten en fabrica antes de aplicar el revestimiento interno, a una prueba hidráulica.

Dicha prueba consiste en aumentar la presión interior de los tubos hasta alcanzar la presión de prueba que es igual a la respectiva clase de presión de tubo.

Estos valores de presión correspondiente a la serie **K9**, son los exigidos por la norma la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2531(2009).

Todas las piezas especiales se prueban en fabrica a estanqueidad; Dicha prueba consiste en mantener la pieza con aire como mínimo a 1 bar de presión y comprobar la estanquidad.

### **Revestimiento interno**

Las tuberías son revestidos en su interior con una capa de mortero de cemento de horno alto, aplicada por centrifugación del tubo. Los espesores de la capa de mortero son:

*Espesor de la capa de mortero (mm)*

---

<b>DN (mm)</b>	<b>Espesor de la capa de mortero (mm)</b>	
	<b>Normal</b>	<b>Valor mínimo en un punto</b>
<b>80 a 300</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>350 a 600</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>700 a 1200</b>	<b>6</b>	<b>3.5</b>
<b>1400 a 2000</b>	<b>9</b>	<b>6</b>

---

### **PRESIONES**

Para el cálculo de presiones se basa Según La Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2531(2009), tomando en cuenta lo siguiente:

**Presión de funcionamiento admisible (PFA):**

Es la Presión interior en bares que un componente puede soportar de forma continua en régimen hidráulico permanente.

$$PFA = \frac{20 \cdot e \cdot R_t}{C \cdot D}$$

<b>PFA</b> = presión de funcionamiento admisible. (con un máximo de 64 bar)	Rt = Resistencia mínima a la tracción = 420
<b>e</b> = Espesor mínimo de la pared del tubo = <b>e<sub>n</sub> - T</b>	C = Coeficiente de seguridad = 3
<b>e<sub>n</sub></b> = Espesor nominal = <b>K( 0,5 + 0,001DN)</b>	D= Diámetro medio = Dext - e
<b>T</b> = Tolerancia máxima = ( <b>1,3 + 0,001DN</b> )	Dext = Diámetro exterior

<b>DN (mm)</b>	<b>100 – 300</b>	<b>350 – 600</b>	<b>700 - 1000</b>
<b>Presión (bar)</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>32</b>

**Presión máxima admisible (PMA):**

Presión hidrostática máxima en bares (incluyendo el golpe de ariete) capaz de soportar en régimen de sobrepresión transitoria.

La PMA es igual a la PFA incrementada en un 20%, utilizando un coeficiente de seguridad  $C = 2.5$

**Presión de ensayo admisible (PEA):**

Presión hidrostática máxima de prueba en zanja a la cual es capaz de resistir un componente de la canalización durante un tiempo relativamente corto con el fin de asegurar la integridad y estanquidad de la misma

$$PEA = 5 + PMA$$

**Presiones admisibles clases de presión preferidas**

Según La Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2531(2009) son las siguientes presiones admisibles.

DN	CLASE DE PRESION	PFA	PMA	PEA
		BAR		
80 -300	C40	40	48	53
350 – 600	C30	30	36	41
700 - 2000	C25	25	30	35

**Tabla de presiones (CLASE K9)**

<b>DN</b>	<b>DE</b>	<b>PFA</b>	<b>PMA</b>	<b>PEA</b>
<b>100</b>	<b>118</b>	<b>64</b>	<b>77</b>	<b>82</b>
<b>150</b>	<b>170</b>	<b>64</b>	<b>77</b>	<b>82</b>
<b>200</b>	<b>222</b>	<b>62</b>	<b>74</b>	<b>79</b>
<b>250</b>	<b>274</b>	<b>54</b>	<b>65</b>	<b>70</b>
<b>300</b>	<b>326</b>	<b>49</b>	<b>59</b>	<b>64</b>
<b>350</b>	<b>378</b>	<b>45</b>	<b>54</b>	<b>59</b>
<b>400</b>	<b>429</b>	<b>42</b>	<b>51</b>	<b>56</b>
<b>450</b>	<b>480</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>53</b>
<b>500</b>	<b>532</b>	<b>38</b>	<b>46</b>	<b>51</b>
<b>600</b>	<b>635</b>	<b>36</b>	<b>43</b>	<b>48</b>
<b>700</b>	<b>738</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>46</b>
<b>800</b>	<b>842</b>	<b>32</b>	<b>39</b>	<b>44</b>
<b>900</b>	<b>945</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>42</b>
<b>1000</b>	<b>1048</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>41</b>

**Características geométricas (CLASE K9)**

DN (mm)	L (m)	DE	Espesor metal	Espesor mortero	Masa por metro	PFA
		mm			kg	bar
100	6	118	6	3.5	18.2	64
150	6	170	6	3.5	27.3	64
200	6	222	6.3	3.5	37.0	62
250	6	274	6.8	3.5	48.3	54
300	6	326	7.2	3.5	60.7	49
350	6	378	7.7	5	80.3	45
400	6	429	8.1	5	95.5	42
450	6	480	8.6	5	112.7	40
500	6	532	9.0	5	130.2	38
600	6	635	9.9	5	169.7	36
700	6	738	10.8	6	216.7	34
800	6	842	11.7	6	266.0	32
900	6	945	12.6	6	319.3	31
1000	6	1048	13.5	6	377.3	30

## Anexo 8. Formato para el cálculo del Golpe de ariete y Formulas aplicables

### *Golpe De Ariete En Impulsion (Micheaud - Allievi)*

#### TUBERIA - PERFIL LONGITUDINAL

DESCRIPCION		UNIDAD	DETALLE			
			TUB. -1	TUB. -2	TUB. -3	TUB. -4
L	Longitud	m				
Hg	Altura geométrica	m				
Q	Caudal	l/s				
Di	Diámetro interior	mm				
v	Velocidad	m/s				

#### PERDIDA DE CARGA CONTINUA PARA TUBERIA EN SERVICIO (HAZEN WILLIAMS)

DESCRIPCION		UNIDAD	DETALLE			
			TUB. -1	TUB. -2	TUB. -3	TUB. -4
C	Coeficiente de Hazen - Williams					
J	Pérd. Carga	m/km				
$\Delta h$	Pérd. Carga	mca				
Hm	Hg + $\Delta h$	mca				

#### SOBREPRESIONES POR GOLPE DE ARIETE

DESCRIPCION		UNIDAD	DETALLE			
			TUB. -1	TUB. -2	TUB. -3	TUB. -4
v	Velocidad del agua	m/s				
e	Espesor	mm				
E	Módulo de elasticidad a largo plazo	kg/m <sup>2</sup>				
Kc	Valor "K" largo plazo (característica del material)					
a	Celeridad de onda	m/s				
m	Pendiente hidráulica					

C	Coef. "C" según Mendiluce					
K	Coef. "K" según Mendiluce					
T	Tiempo de cierre	s				
Tc	Tiempo crítico	s				
Lc	Longitud crítica	m				
	Tipo de conducción					
	Tipo de cierre					
	Fórmula					
$\Delta P$	<b>Golpe de Ariete</b>	<b>mca</b>				
	<b>Presión Máxima</b>	<b>mca</b>				

**Nota:** Elaboración Propia



## FORMULAS APLICABLES

### 1.- CELERIDAD DE ONDA

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k_c \cdot \frac{D_m}{e}}}$$

celeridad (velocidad de propagación de onda), en

a: m/s

diámetro medio de la tubería, en

Dm: mm

e: espesor de la tubería, en mm

Kc:

coeficiente función del módulo de elasticidad  $E$  del material constitutivo de la tubería expresado en kg/m<sup>2</sup> y cuyo valor es

E: módulo de elasticidad, en kg/m<sup>2</sup>, para la tubería de PVC-O  
kg/m<sup>2</sup>  $4 \times 10^8$

$4 \times 10^8$

$$K_c = \frac{10^{10}}{E}$$

$$K_c = \frac{10^{10}}{E}$$

## 2.- TIEMPO DE PARADA DE BOMBAS

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

- L: longitud de la conducción, en mm
- V: velocidad de régimen del agua, en m/s
- C y K: coeficiente de ajuste empíricos
- G: aceleración de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>
- Hm: altura manométrica, en m.ca; Hm=Hg+ Ht

### COEFICIENTE "C" EN FUNCION DE LA PENDIENTE HIDRAULICA (m)

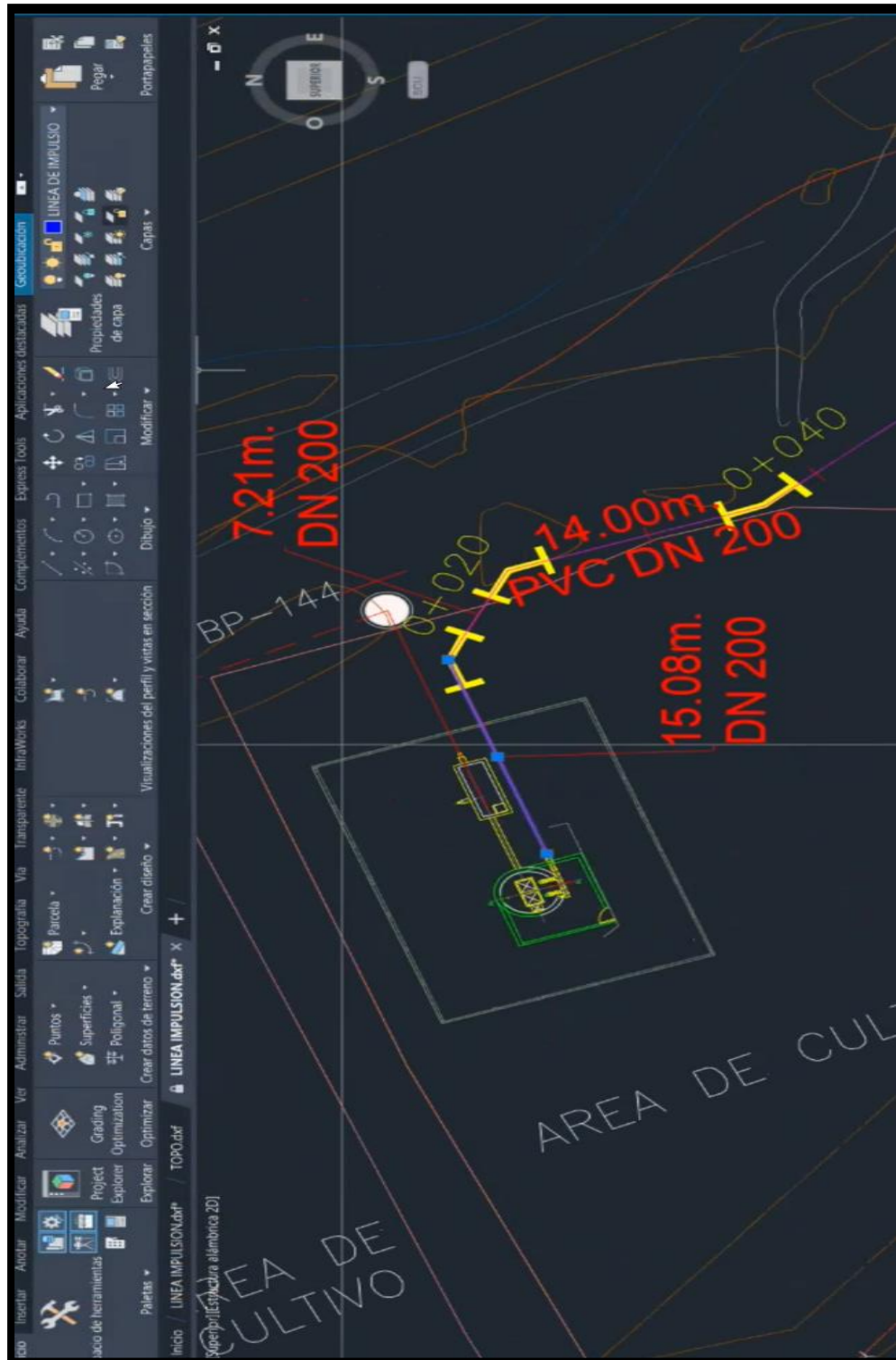
$$m = \frac{Hm}{L}$$

Toma el valor C=1 para pendientes hidráulicas crecientes de hasta 20% y se reduce progresivamente a partir de este valor hasta hacerse cero para pendientes del 40% pendientes superiores al 50% implican paradas muy rápidas, aconsejándose considerar

el golpe de ariete máximo de ALLIEVI en toda la longitud de la tubería. Los valores del coeficiente © según Mendiluce son los siguientes:

## Anexo 9. Sustento de resultados

### LOCALIZACION DEL PUNTO DE ESTUDIO.



## REGISTROS DE DATOS.

Tablas De Excel (Cálculos del golpe de Ariete en los materiales de PVC.O, PVC.U, HDPE, HD

### Cálculos golpe de Ariete

Tubería			PVC-O DN200 PN 10	PVC-U DN200 CLASE 10	HDPE 100 DN200 PN10	FD K9 DN200
L	Longitud	m	1420.94	1420.94	1420.94	1420.94
Hg	Altura geométrica	m	11.02	11.02	11.02	11.02
Q	Caudal	l/s	40	40	40	40
Di	Diámetro interior	mm	191.2	184.6	176.2	200
v	Velocidad	m/s	1.39	1.49	1.64	1.27

#### Pérdida de carga continua para tubería en servicio (Hazen Williams)

C	Coeficiente de Hazen - Williams		150	150	150	130
$\Delta h$	Pérd. Carga	mca	11.53	13.68	17.16	12.07
Hm	Hg + $\Delta h$	mca	<b>22.55</b>	<b>24.70</b>	<b>28.18</b>	<b>23.09</b>

#### Sobrepresión por golpe de ariete

v	Velocidad del agua	m/s	1.39	1.49	1.64	1.27
e	Espesor	mm	4.4	7.7	11.9	9.8
E	Módulo de elasticidad a largo plazo	kg/m <sup>2</sup>	4.00E+08	3.10E+08	1.43E+08	1.70E+10
Kc	Valor "K" largo plazo (característica del material)		2.50E+01	3.23E+01	6.99E+01	5.88E-01
a	Celeridad de onda	m/s	293.9	345.37	300.73	1274.85
m	Pendiente hidráulica		0.016	0.017	0.02	0.016
C	Coef. "C" según Mendiluce		1	1	1	1
K	Coef. "K" según Mendiluce		1.5	1.5	1.5	1.5
T	Tiempo de cierre	s	14.4	14.11	13.64	12.95
Tc	Tiempo crítico	s	9.67	8.23	9.45	2.23
Lc	Longitud crítica	m	2116.08	2436.59	2050.98	8254.65
	Tipo de conducción		Corta	Corta	Corta	Corta
	Tipo de cierre		Lento	Lento	Lento	Lento
	Fórmula		Michaud	Michaud	Michaud	Michaud
$\Delta P$	<b>Golpe de Ariete</b>	<b>mca</b>	<b>27.96</b>	<b>30.59</b>	<b>34.83</b>	<b>28.41</b>
	<b>Presión Máxima</b>	<b>mca</b>	<b>38.98</b>	<b>41.61</b>	<b>45.85</b>	<b>39.43</b>

Programación Y Registro De Datos Con El Software Hammer

## Configuraciones previas para el registro de datos en el sistema Hammer

The screenshot displays the Bentley Hammer software interface for a hydraulic network. The main window shows a network diagram with nodes labeled P-1, P-2, J-1, J-2, J-3, and P-5. A red pipe segment is highlighted, labeled P-5 with a diameter of 150 mm. The interface includes a ribbon menu with tabs for File, Home, Layout, Analysis, Components, Review, View, Tools, Report, and Bentley Cloud Services. The Analysis tab is active, showing options like Validate, Compute, and Transient Summary. The Properties window for Pipe - P-5 (77) is open, displaying various parameters:

Property	Value
DMA Status	Boundary Candidate
<b>Failure History</b>	
Number of Breaks	0
Use Local Duration of Pipe Failure Hist	False
Duration of Pipe Failure History (years)	0
Pipe Break Group	<None>
Cost of Break (\$)	0.00
<b>Initial Settings</b>	
Status (Initial)	Open
<b>Operational</b>	
Controls	<Collection>
<b>Physical</b>	
Zone	<None>
Diameter (mm)	150.0
Material	Ductile Iron
Hazen-Williams C	130.0
Has User Defined Length?	False
Length (Scaled) (m)	58.87
Length (m)	58.87
Has Check Valve?	False
Specify Local Minor Loss?	True
Minor Loss Coefficient (Local)	0.000
Installation Year	0
<b>Transient (Physical)</b>	
Wave Speed (m/s)	1287.47
<b>Water Quality</b>	

The bottom status bar shows the current pipe selected: Pipe: P-5 (77). The Windows taskbar at the bottom indicates a temperature of 24°C, a search bar, and the system time as 01:24 a.m. on 02/06/2023.

## Identificación y registro de las propiedades y características de la tubería

Properties - Pipe - P-5 (77)

P-5

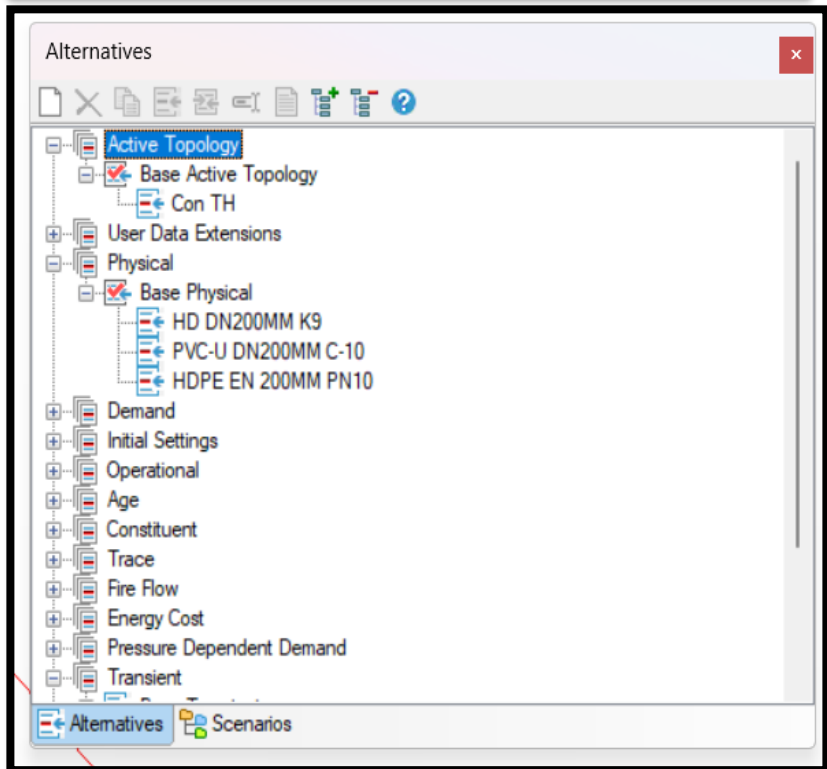
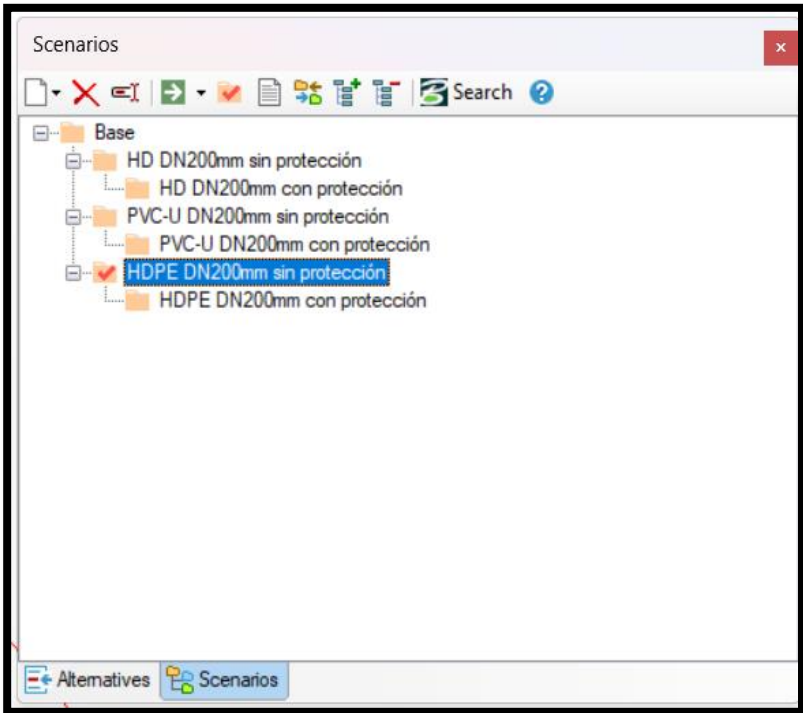
<Show All>

Property Search

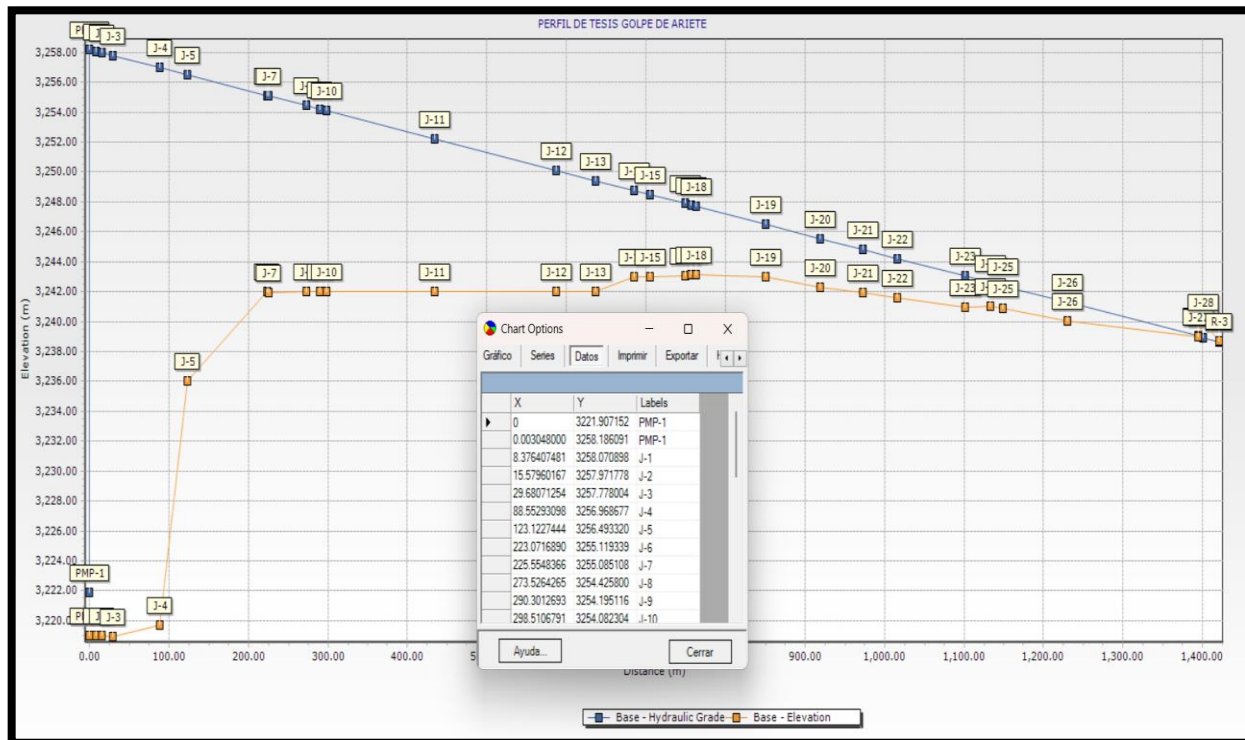
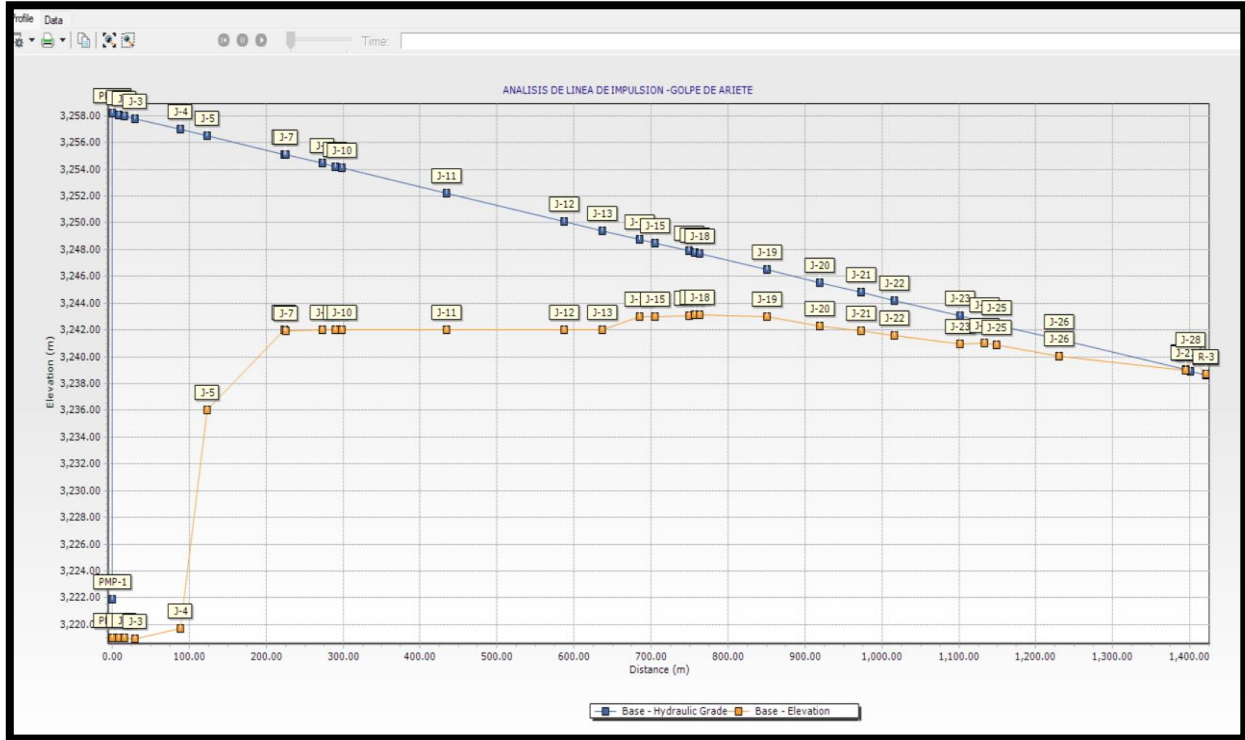
<b>&lt;General&gt;</b>	
ID	77
Label	P-5
Notes	
GIS-IDs	<Collection: 0 items>
Hyperlinks	<Collection: 0 items>
Start Node	J-3
Stop Node	J-4
Node Reversal	<Reverse Start/Stop>
<b>&lt;Geometry&gt;</b>	
Geometry	<Collection: 2 items>
<b>Active Topology</b>	
Is Active?	True
<b>District Meter Areas</b>	
DMA Status	Boundary Candidate
<b>Failure History</b>	
Number of Breaks	0
Use Local Duration of Pipe Failure His	False
Duration of Pipe Failure History (years)	0
Pipe Break Group	<None>
Cost of Break (S/)	0.00
<b>Initial Settings</b>	
Status (Initial)	Open
<b>Operational</b>	
Controls	<Collection>
<b>Physical</b>	
Zone	<None>
Diameter (mm)	193.0
Material	HDPE
Hazen-Williams C	150.0
Has User Defined Length?	False
Length (Scaled) (m)	58.87
Length (m)	58.87

**Label**  
Descriptive label for this element.

*Configuración de las alternativas y escenarios en el sistema*

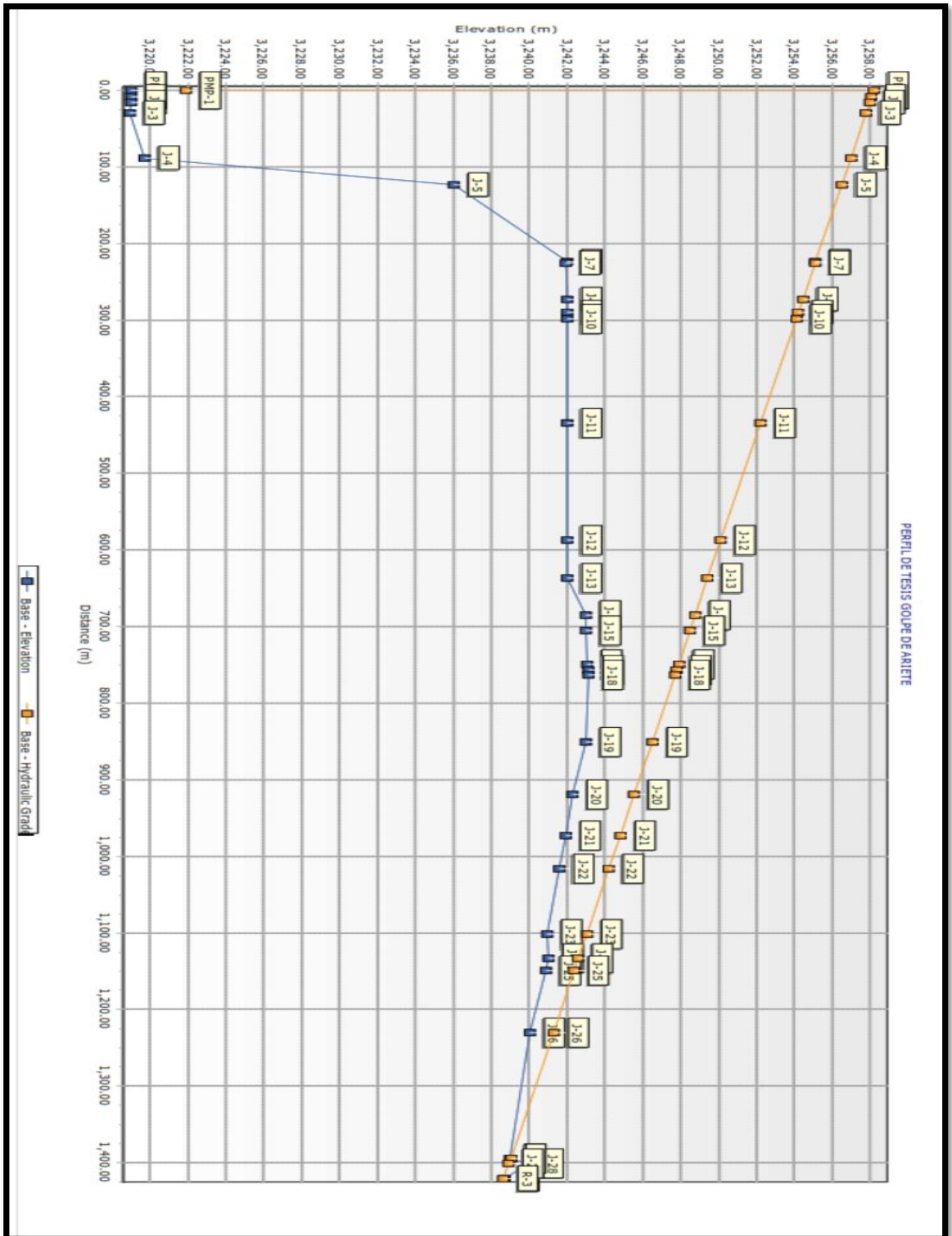


**Registro del perfil y su gradiente hidráulica**



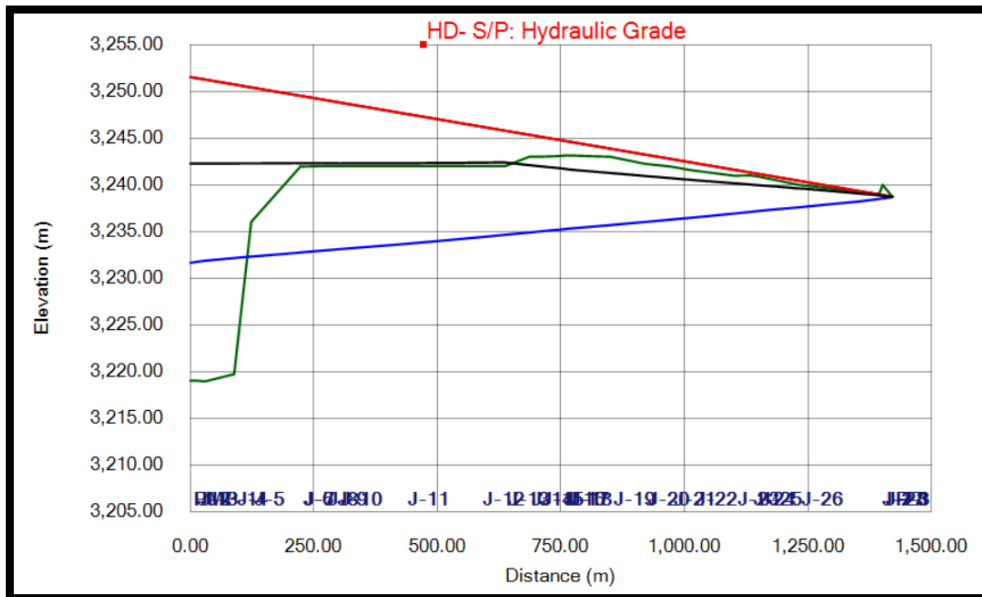
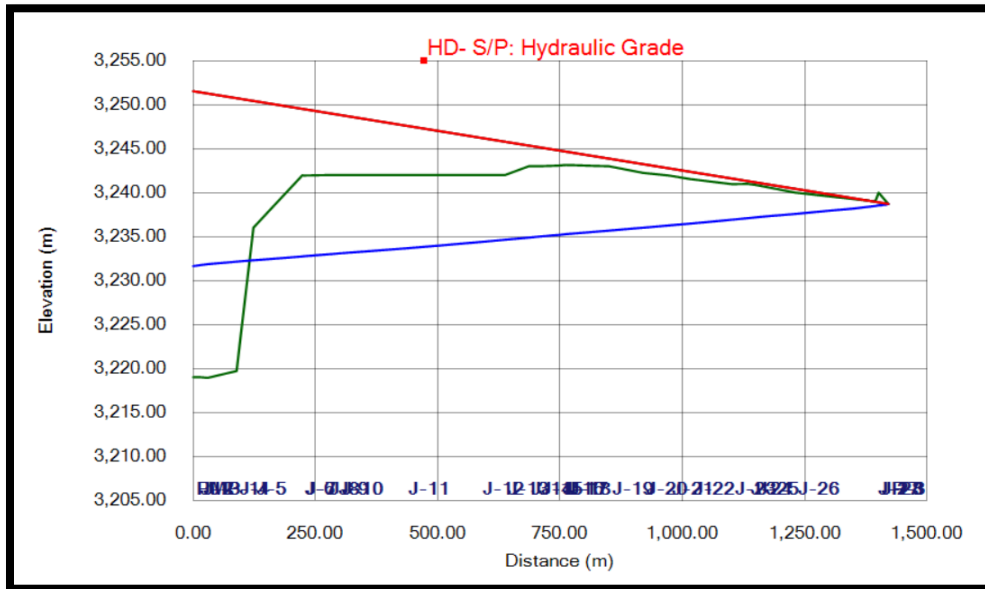


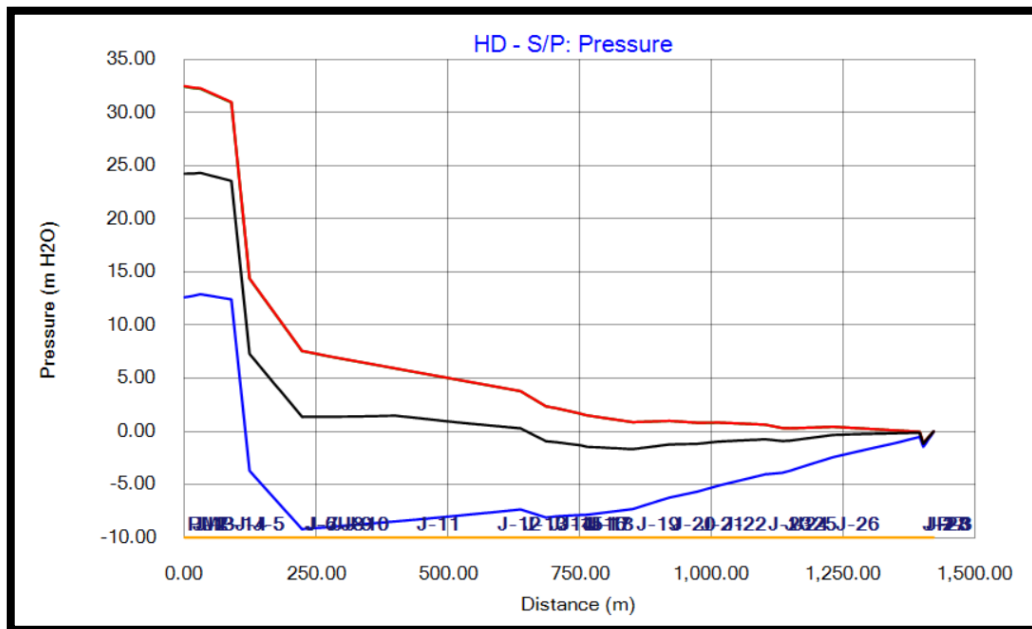
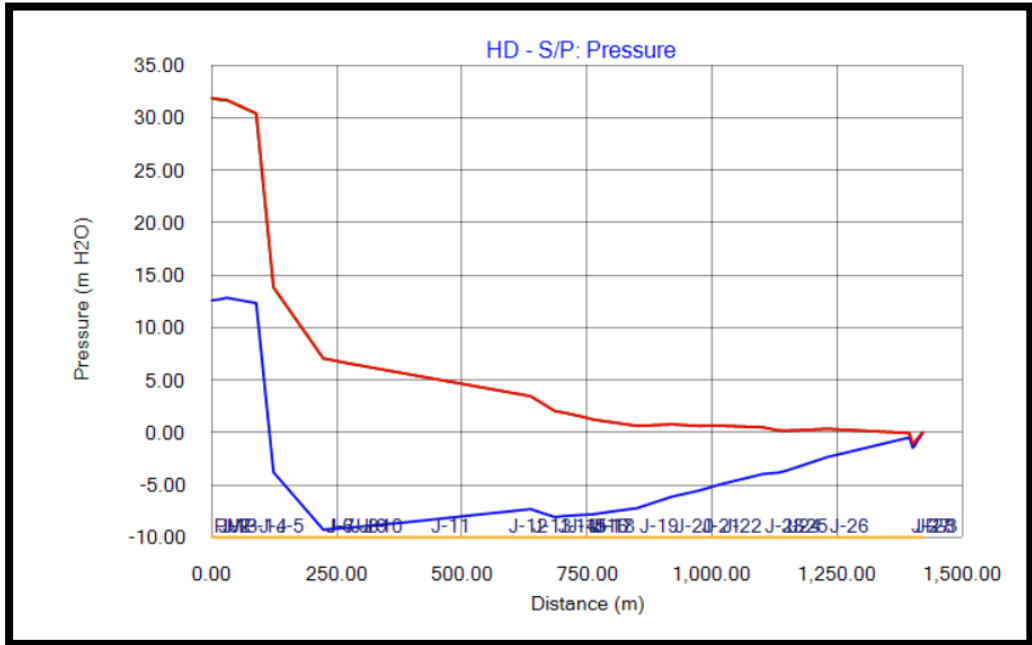
# Análisis de Datos en Sistema Permanente con el Programa Hammer



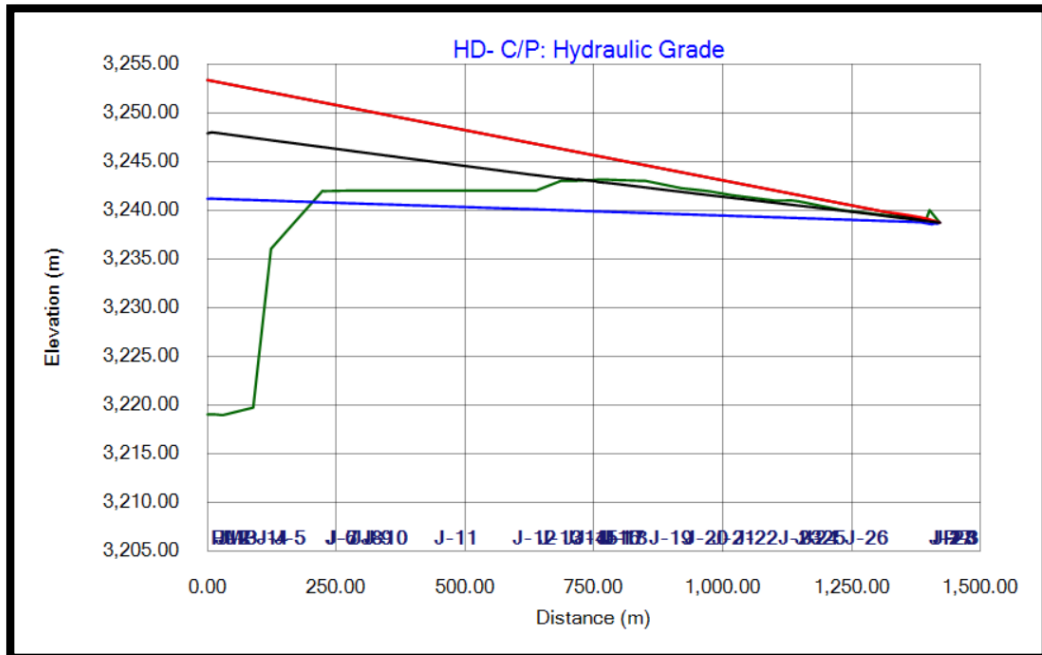
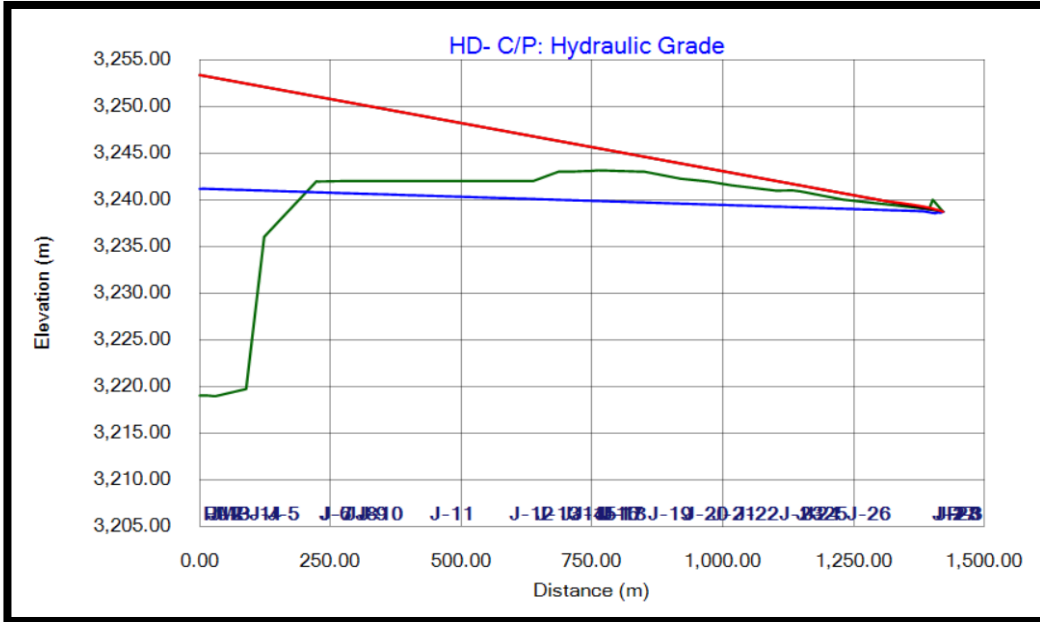
Análisis de la sobrepresión de los materiales sin elementos de protección y con elementos de protección.

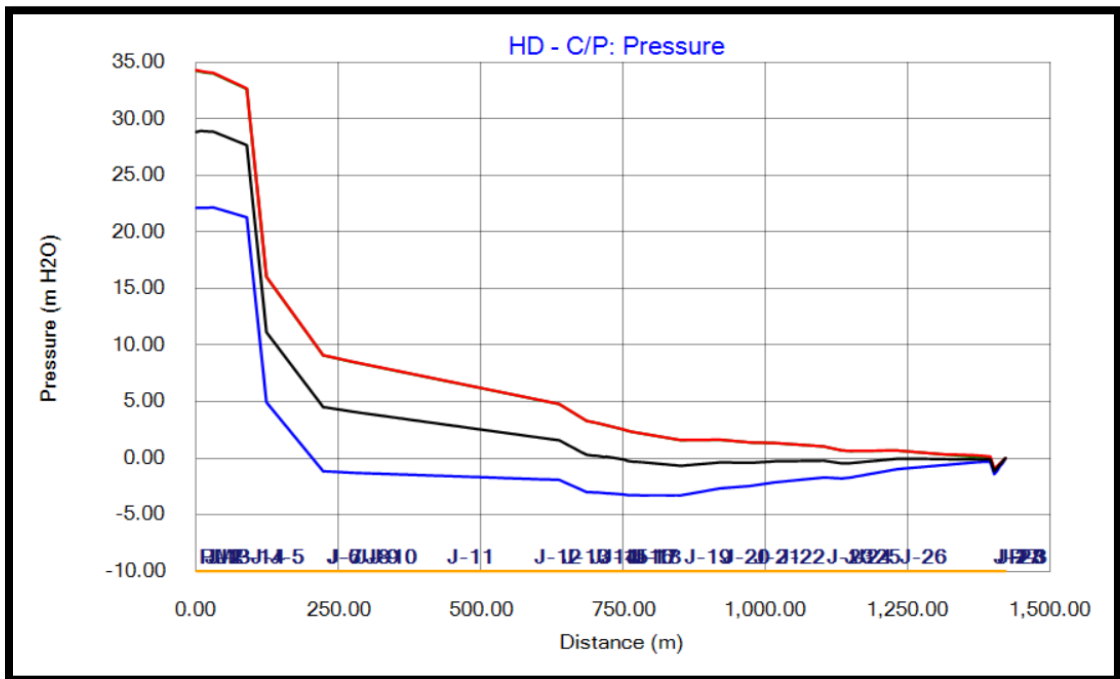
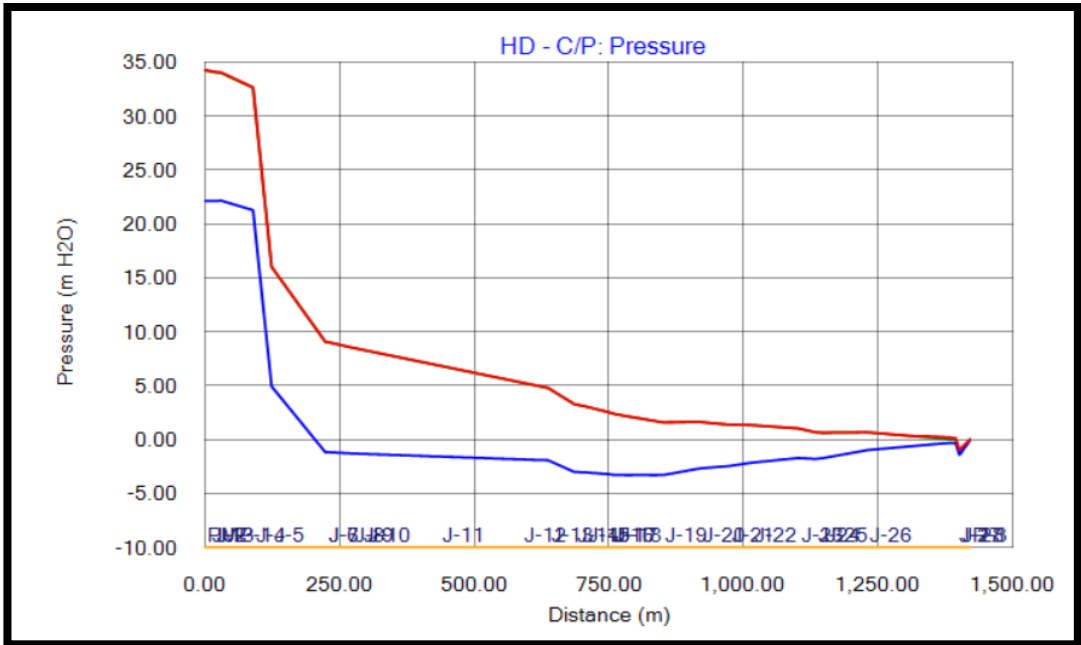
**Material HD – S/Protección**



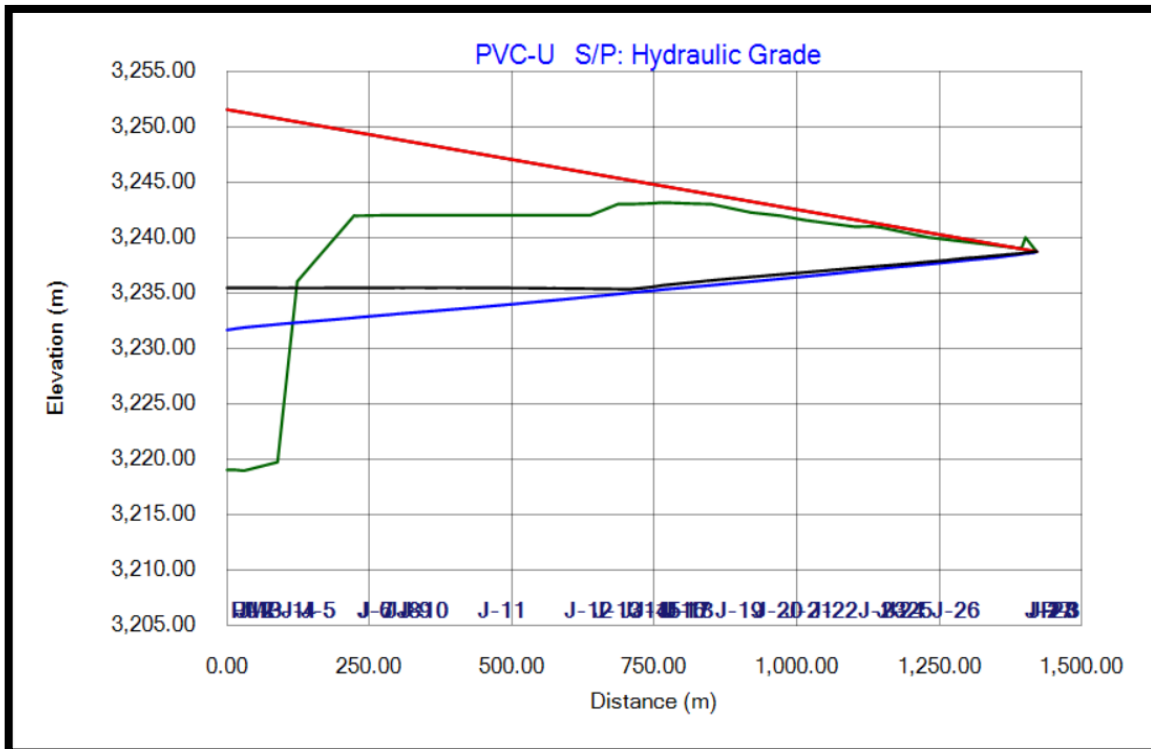
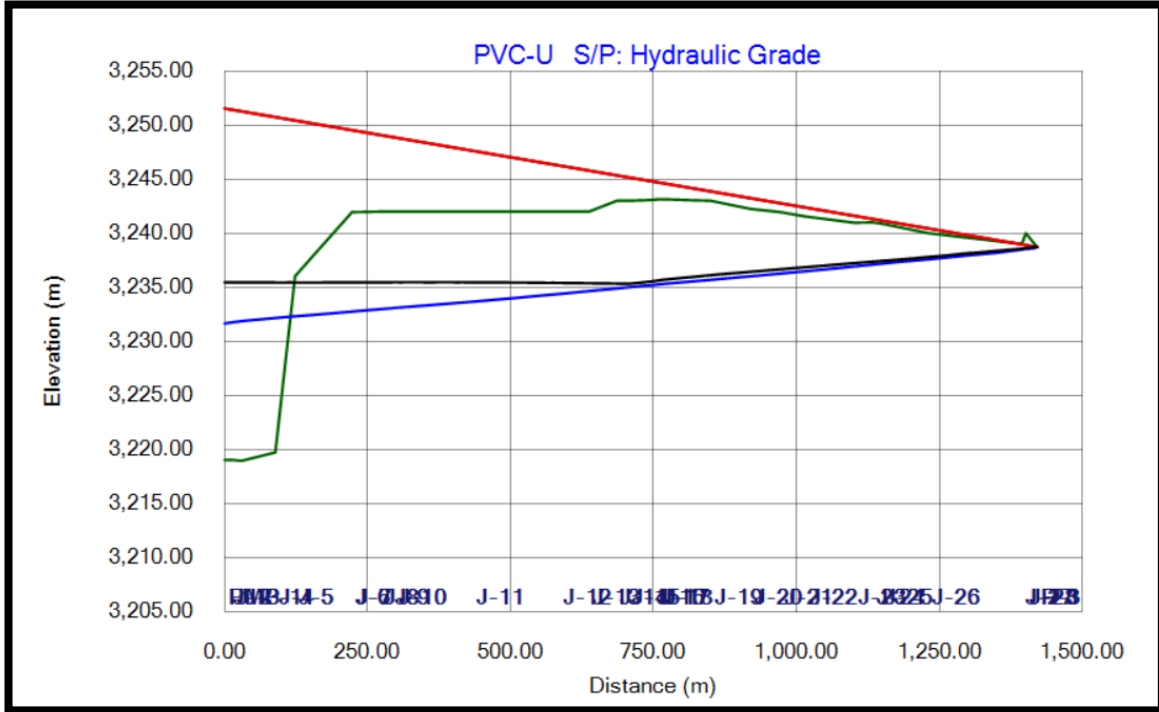


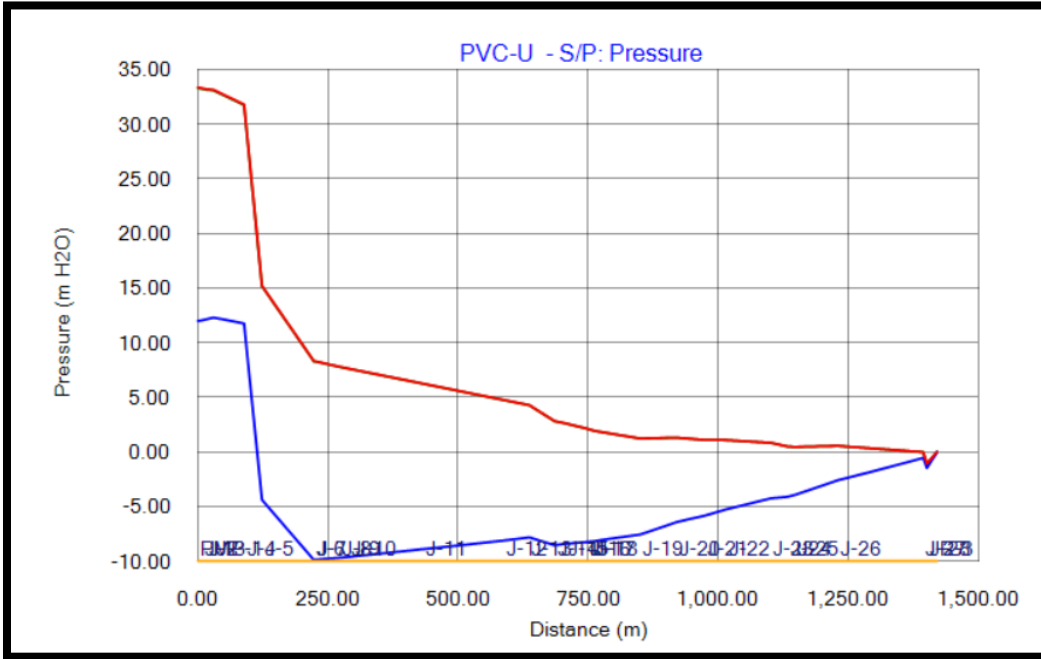
**Material HD – C/Protección**

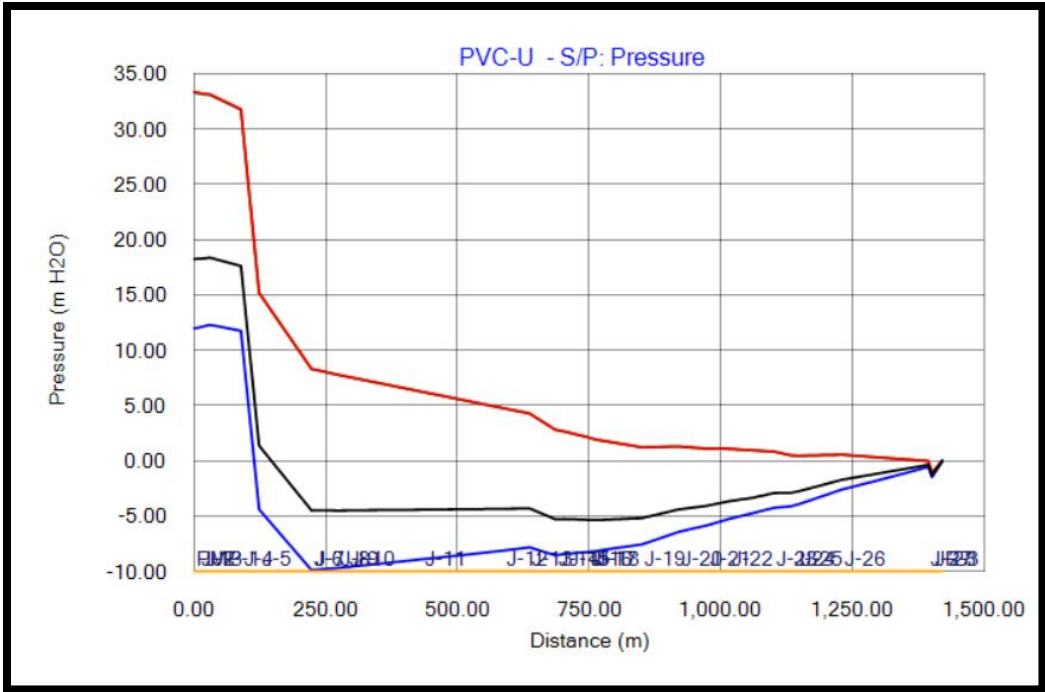




**Material PVC-U – S/Protección**

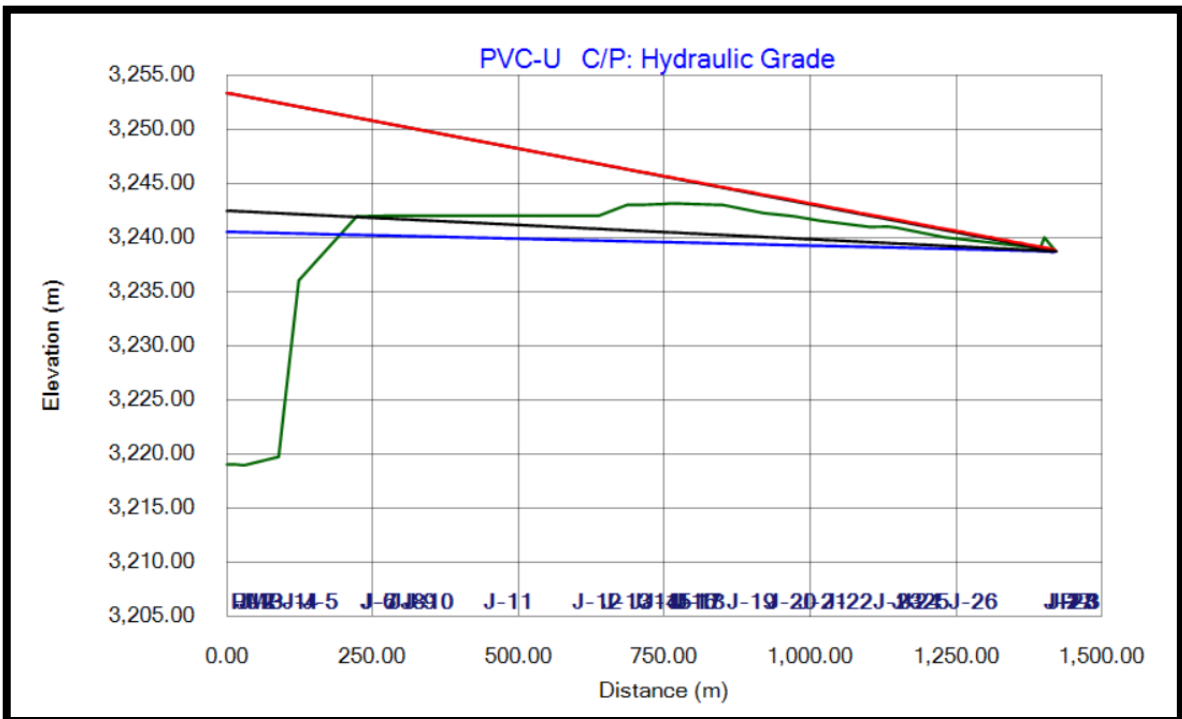
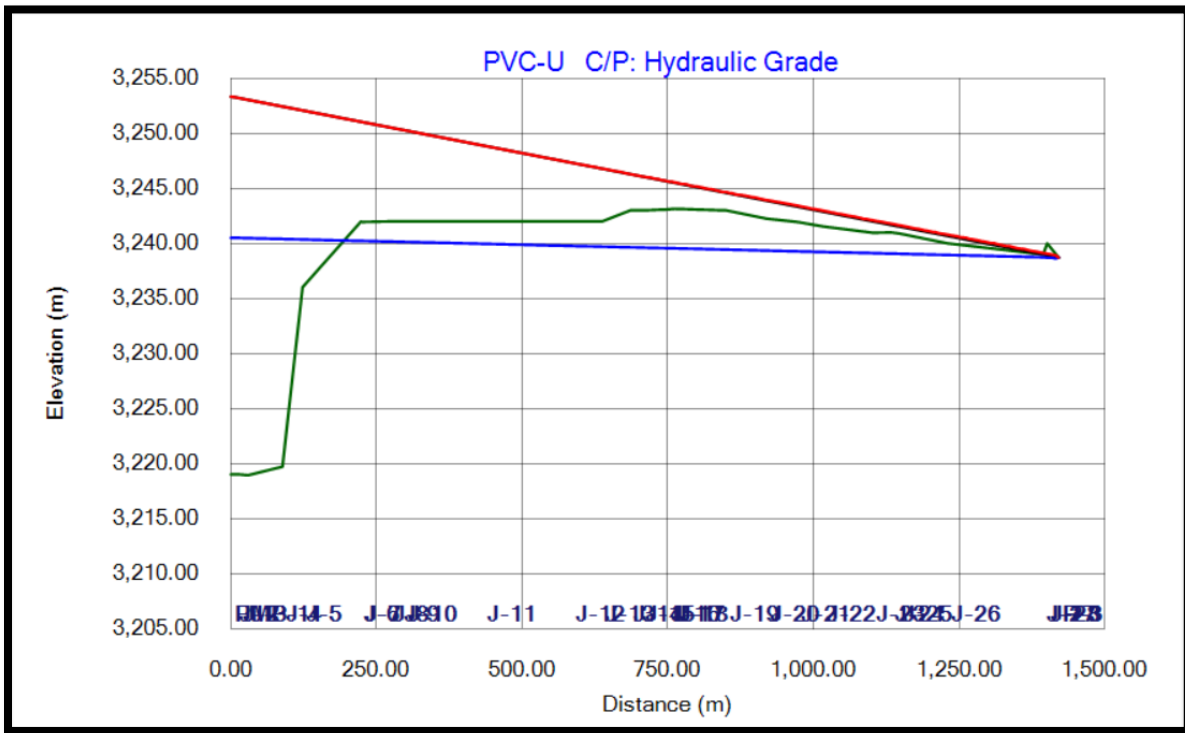


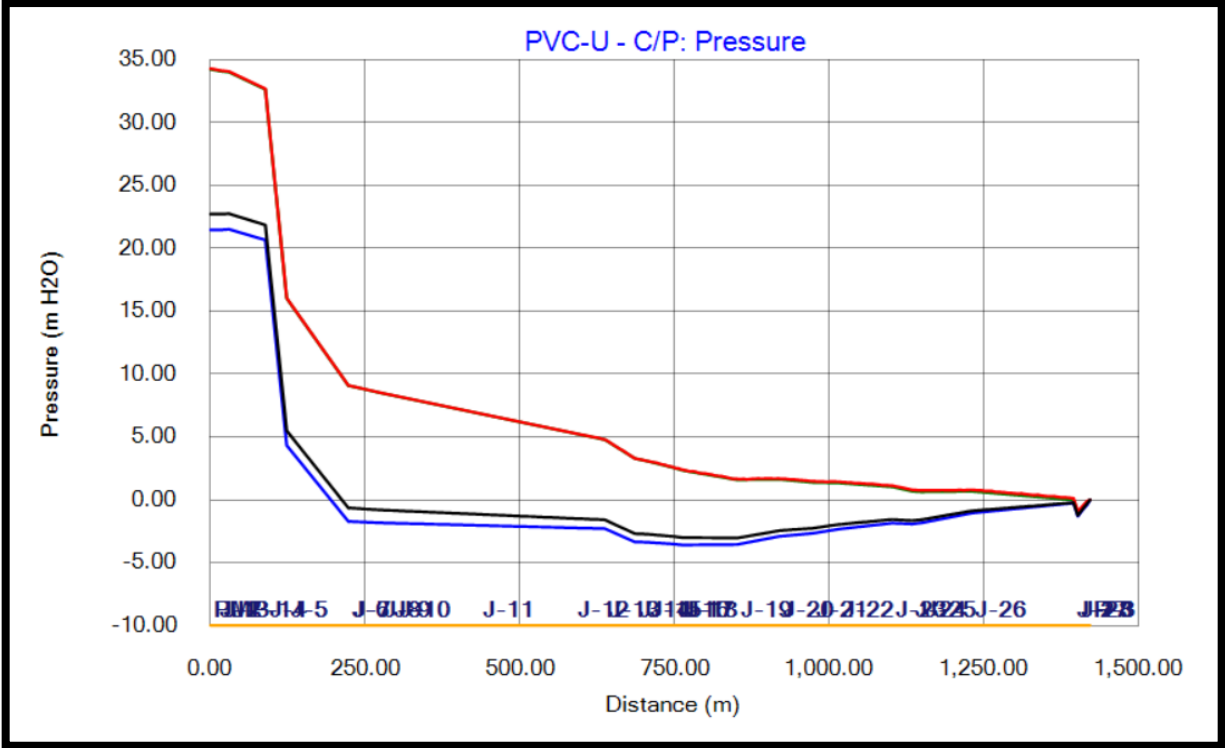
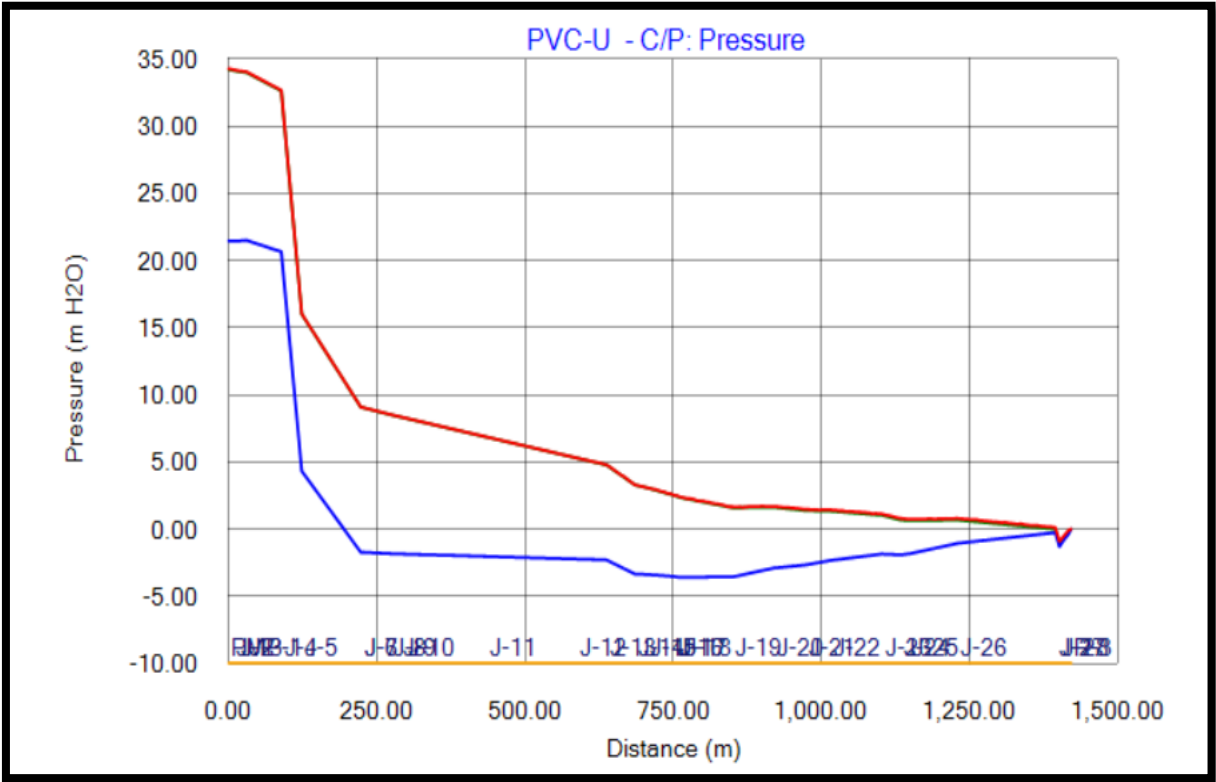




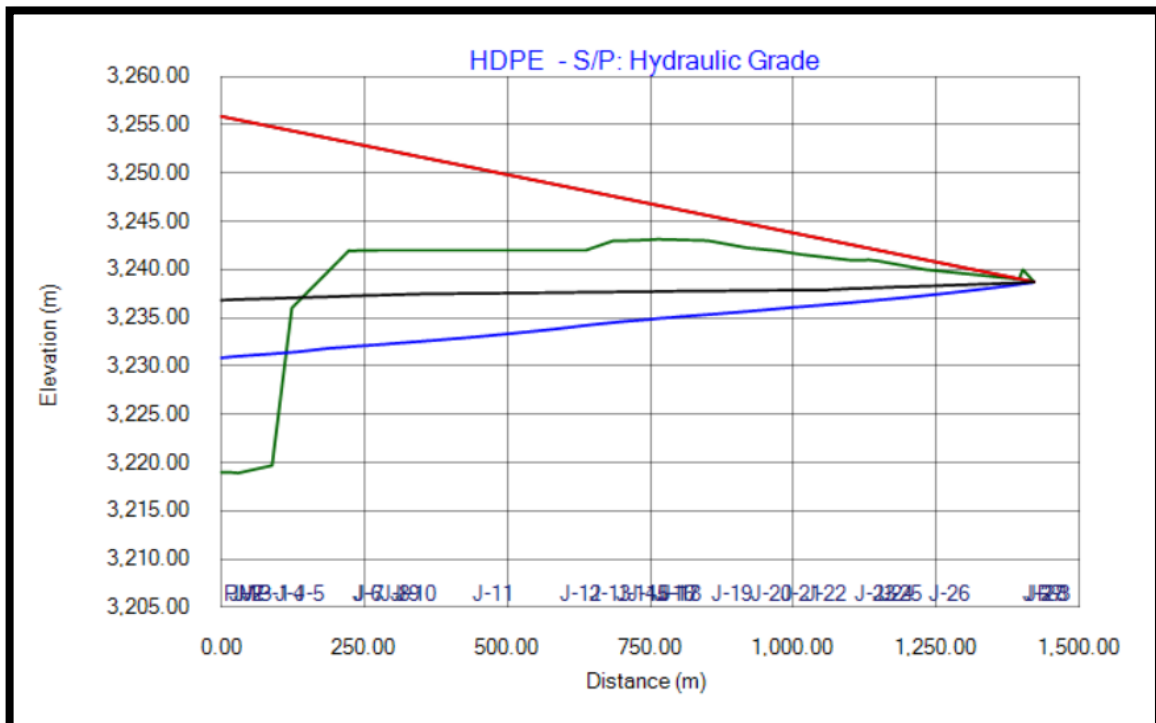
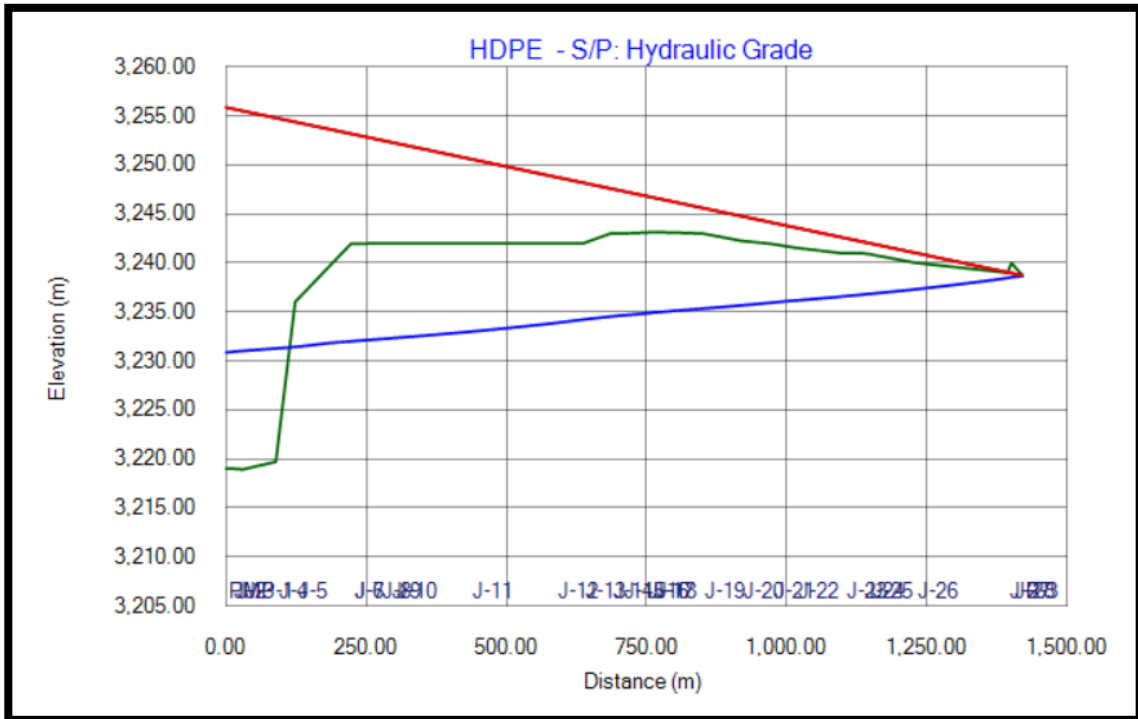


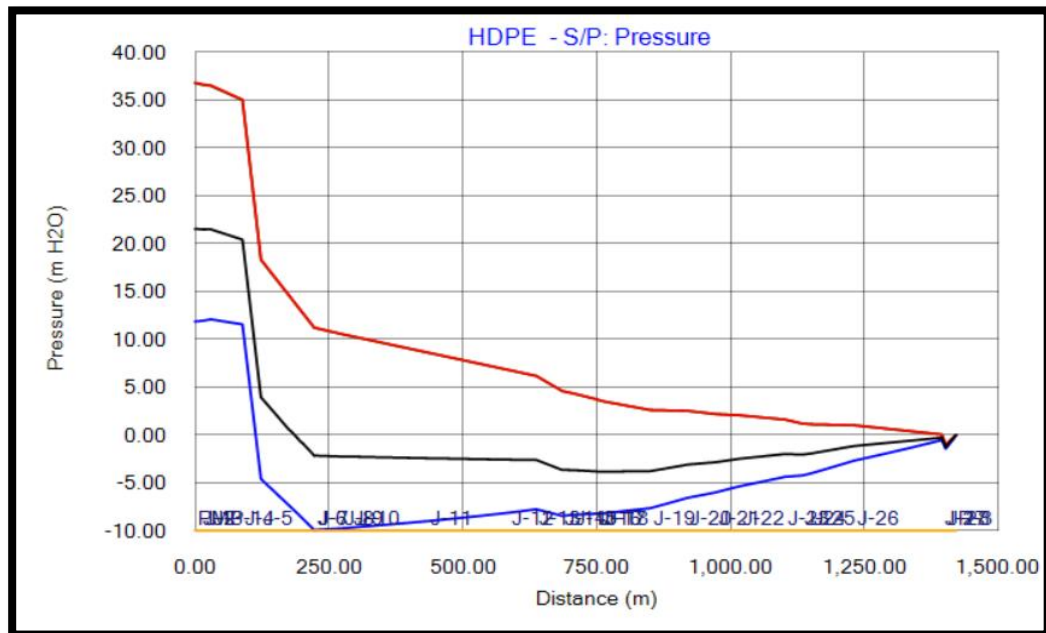
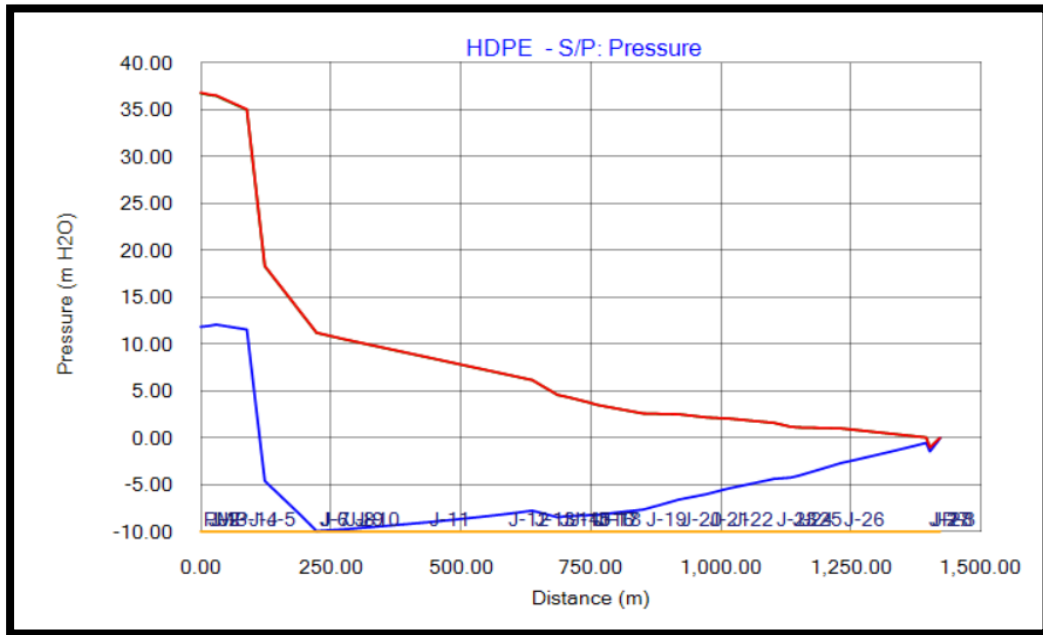
**Material PVC-U – C/ Protección**



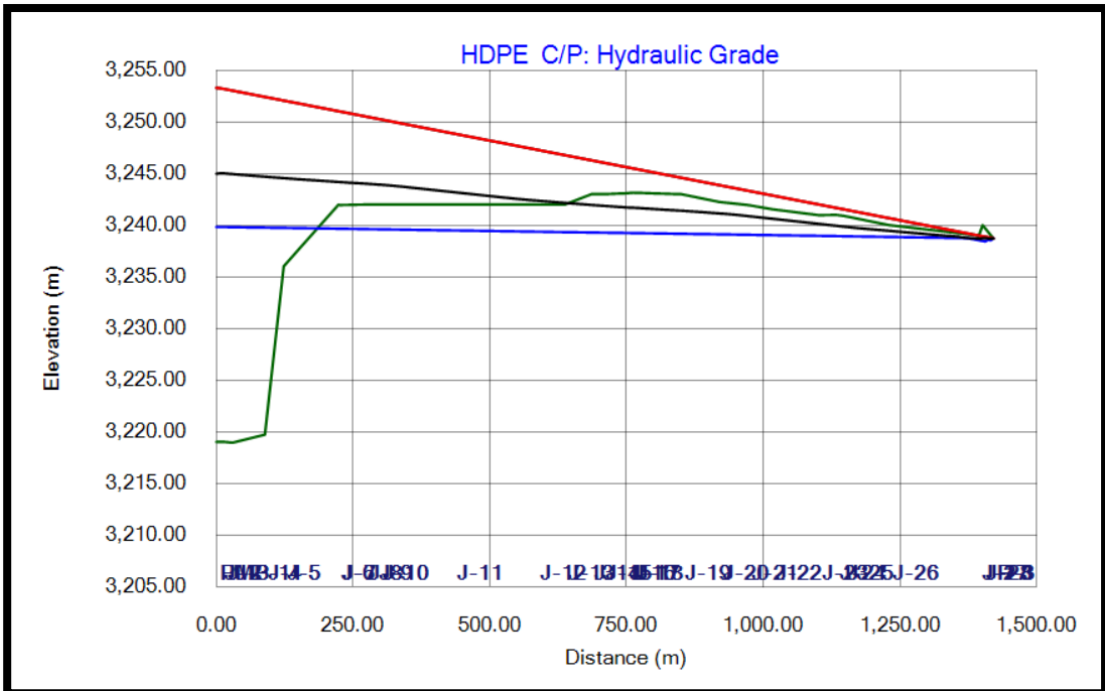
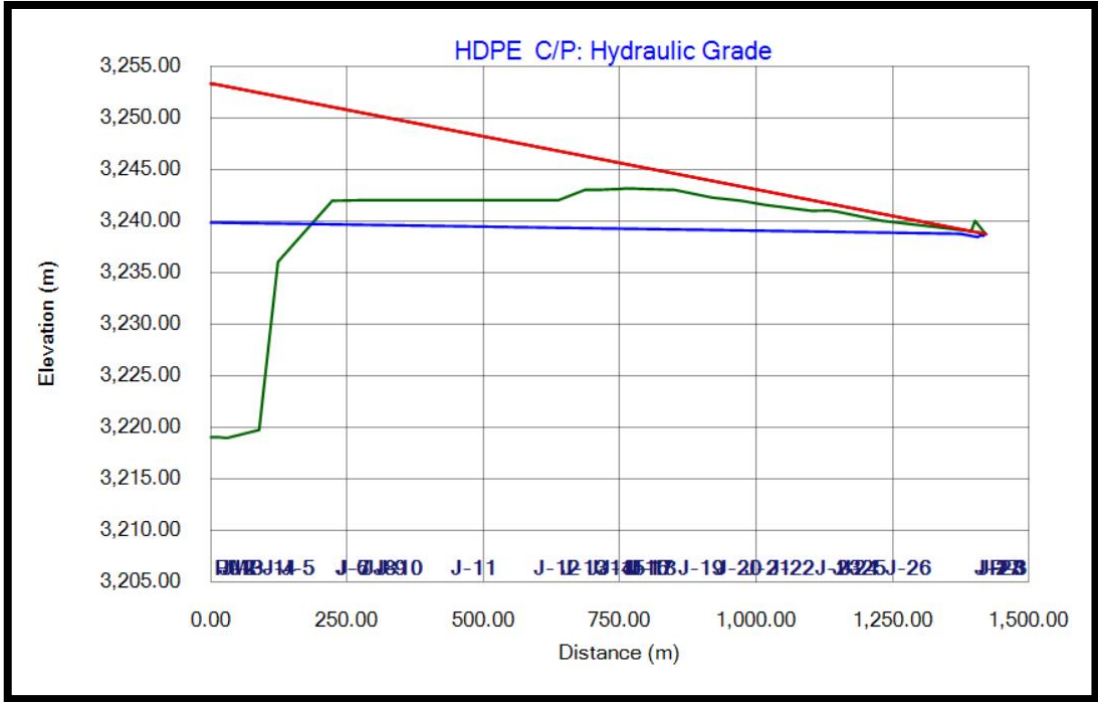


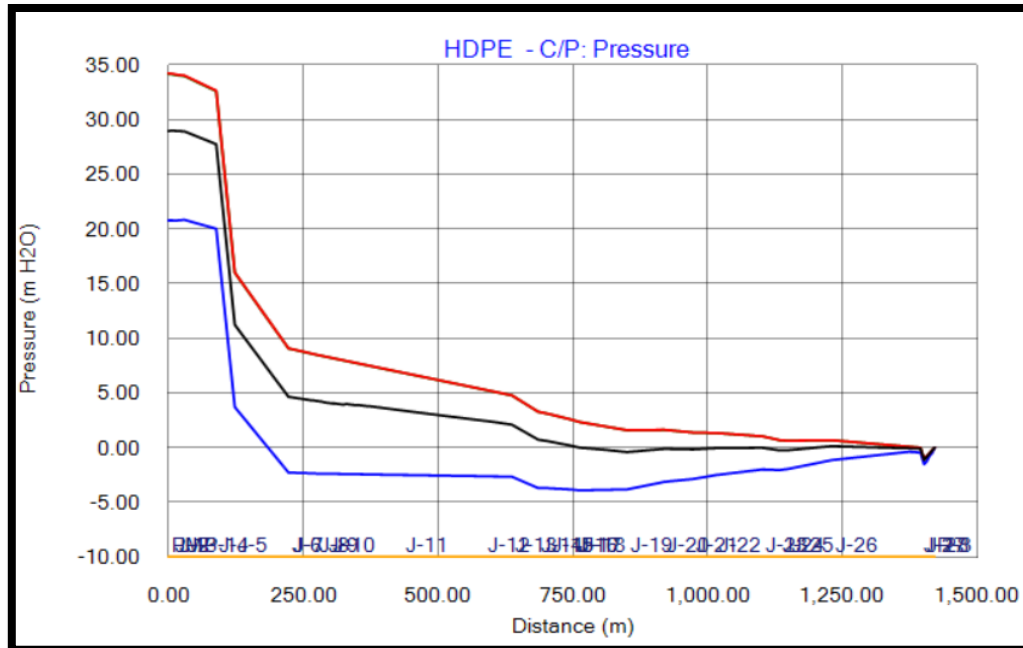
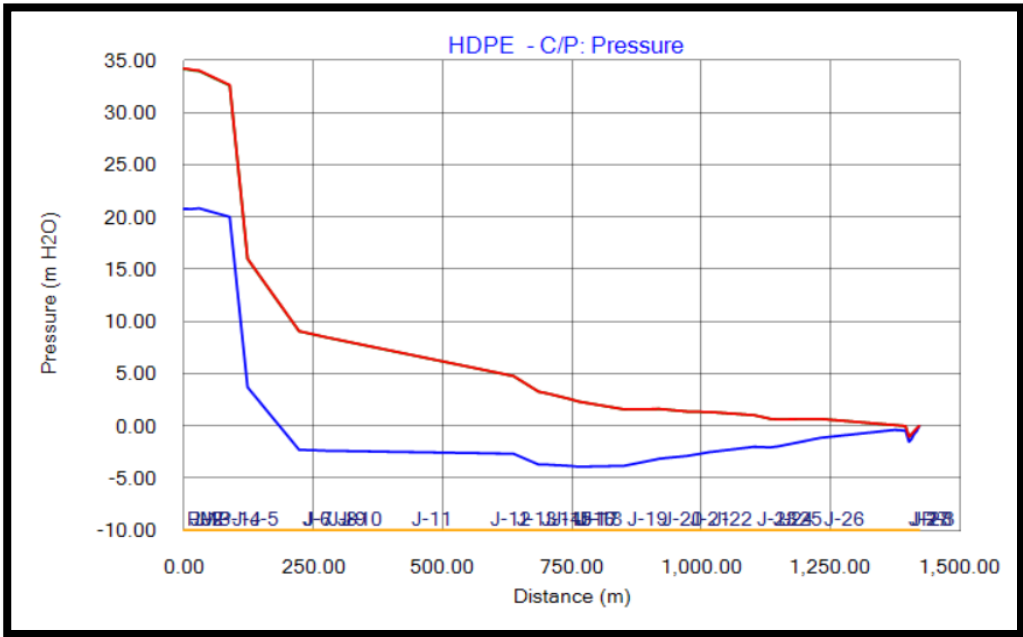
**Material HDPE – S/Protección**



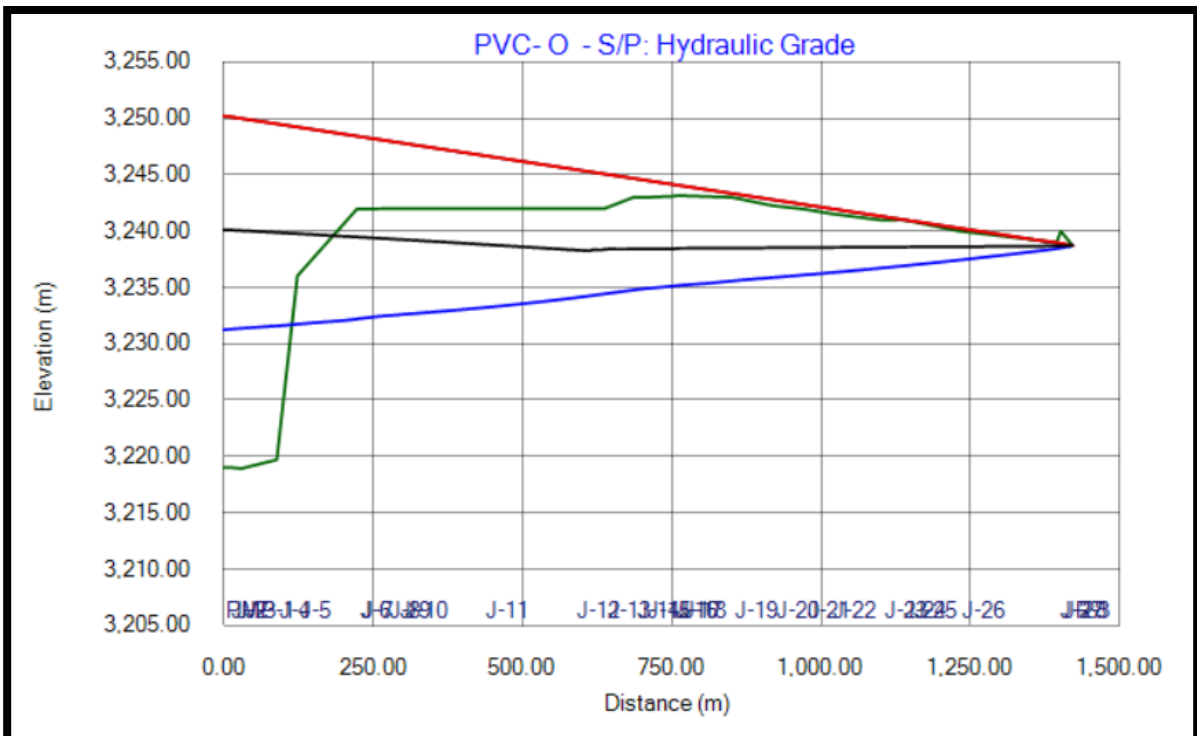
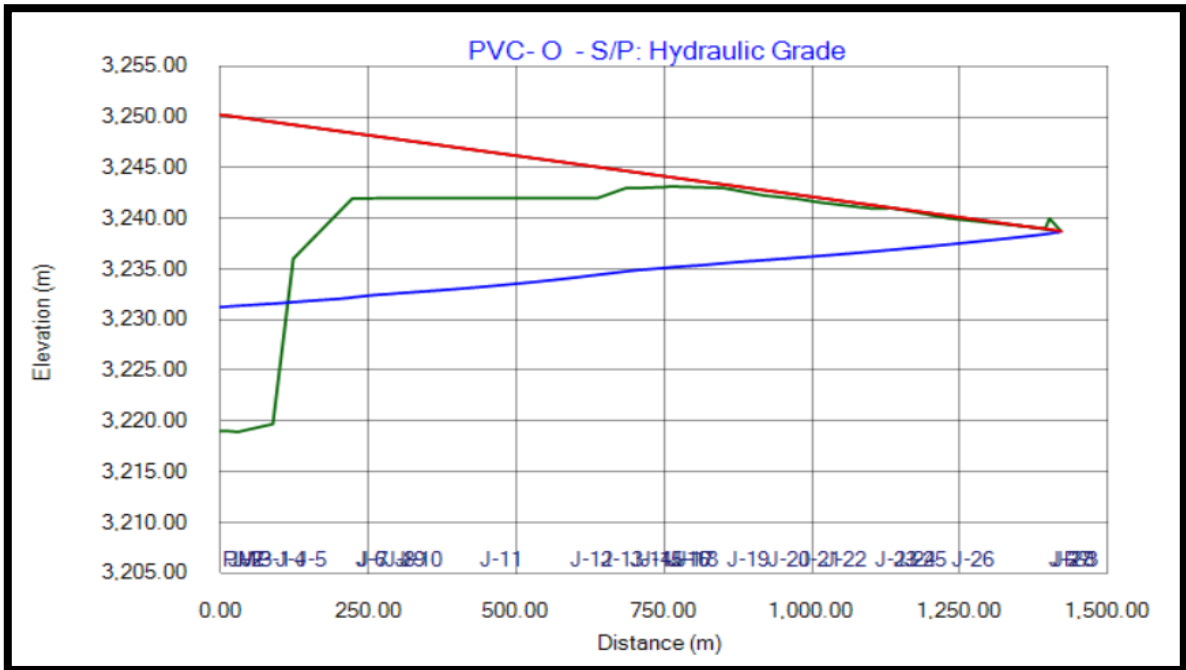


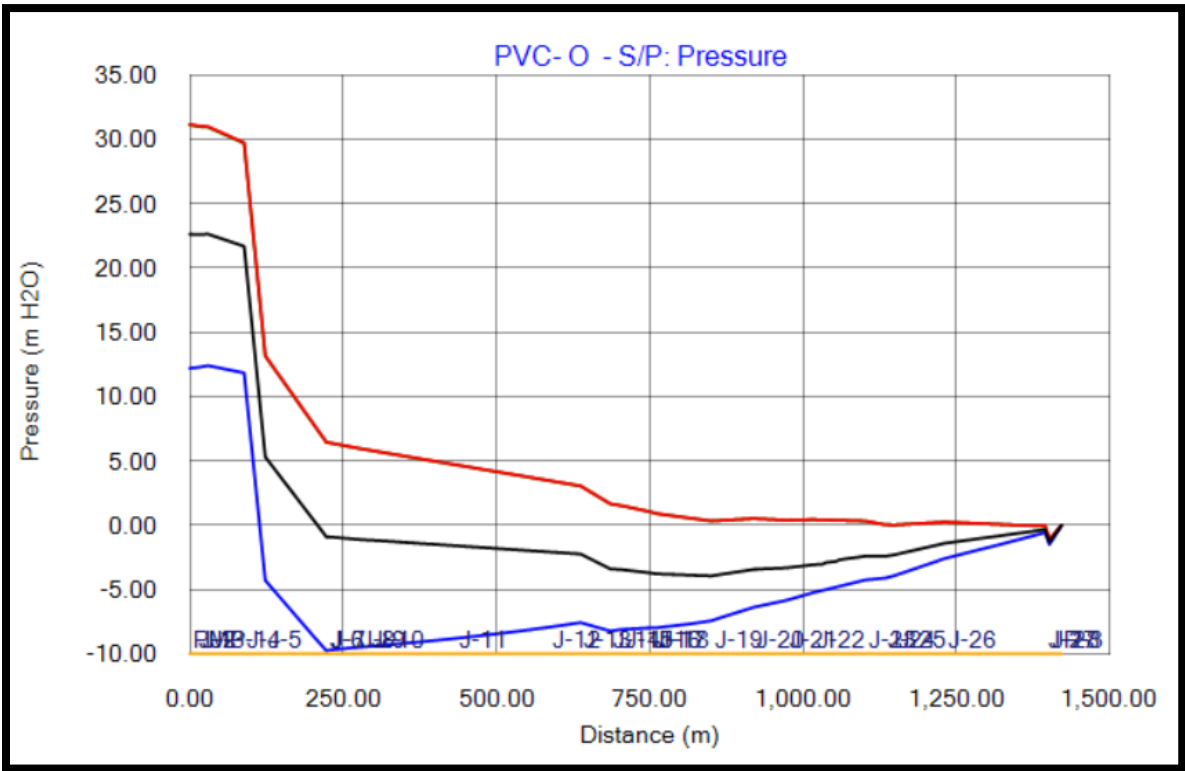
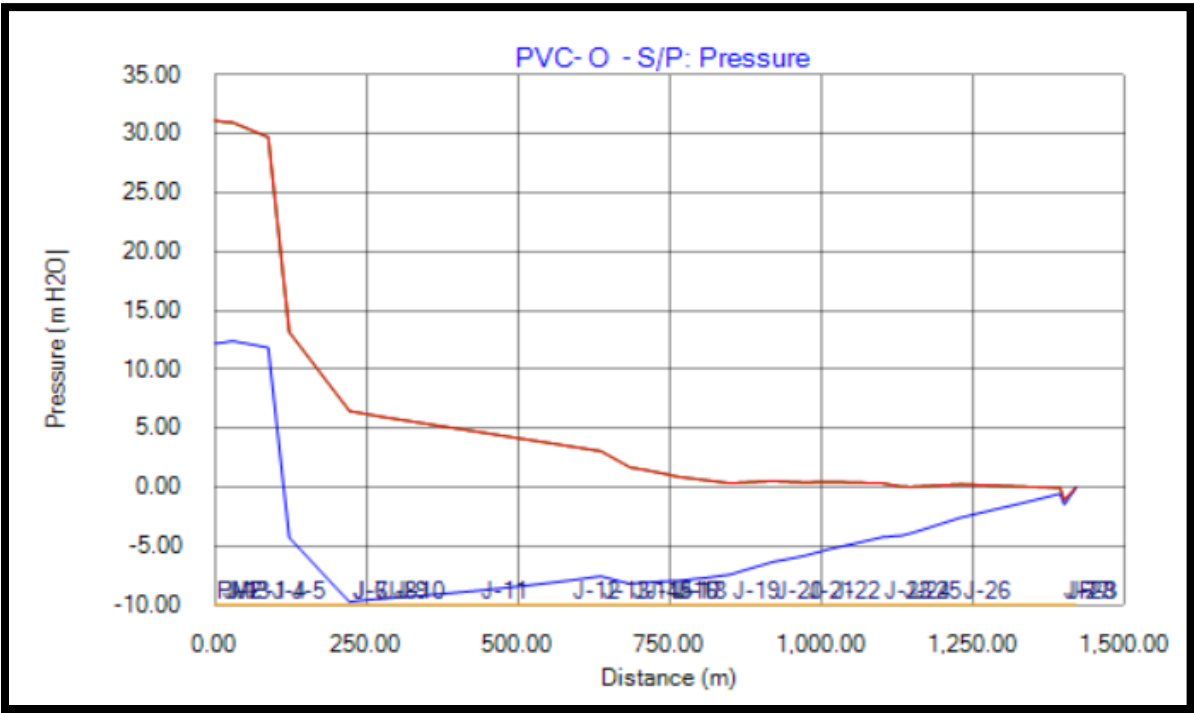
**Material HDPE – C/ Protección**





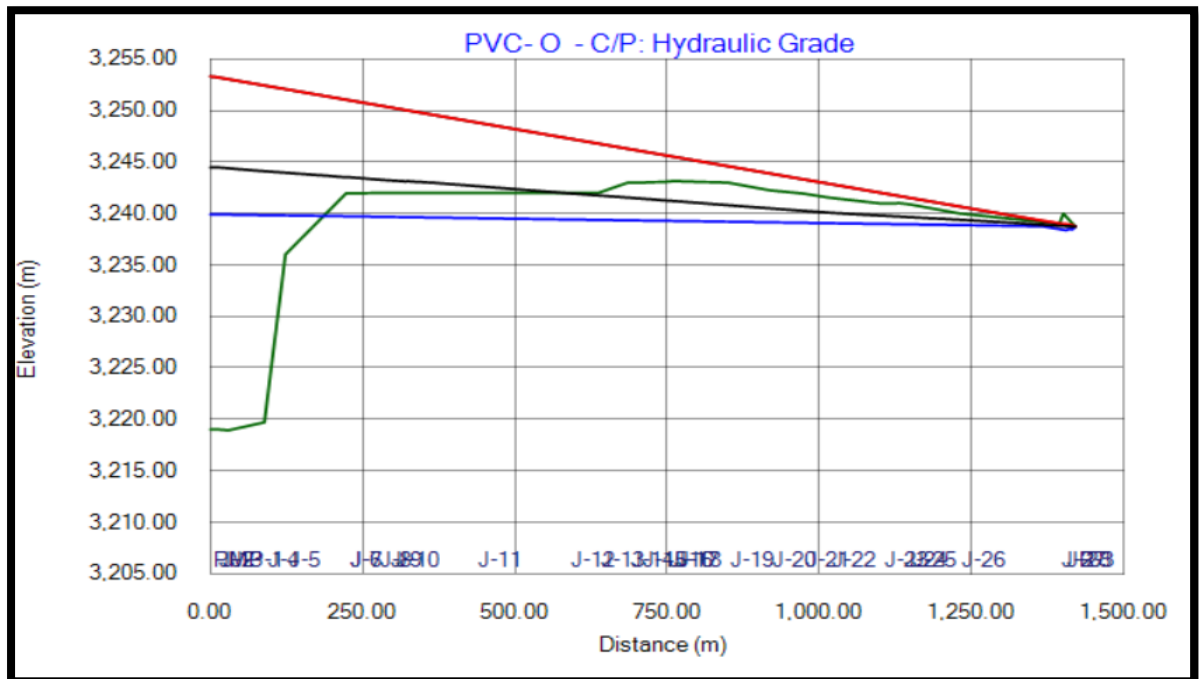
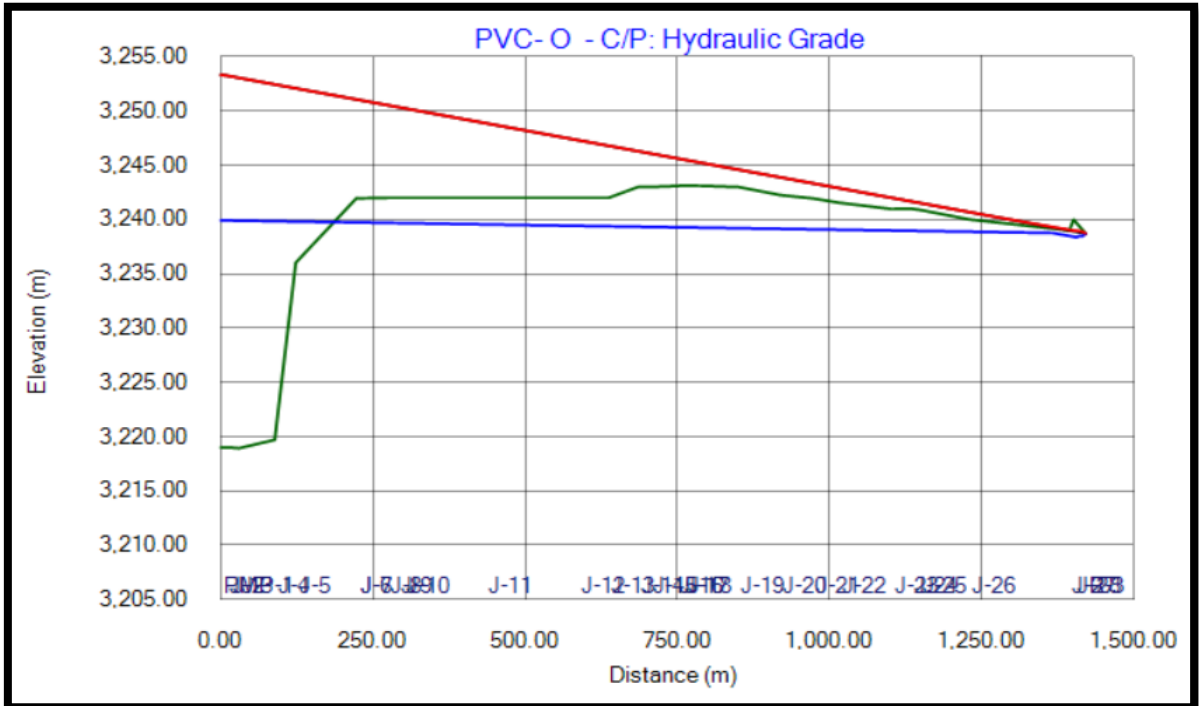
**Material PVC-O – S/Protección**

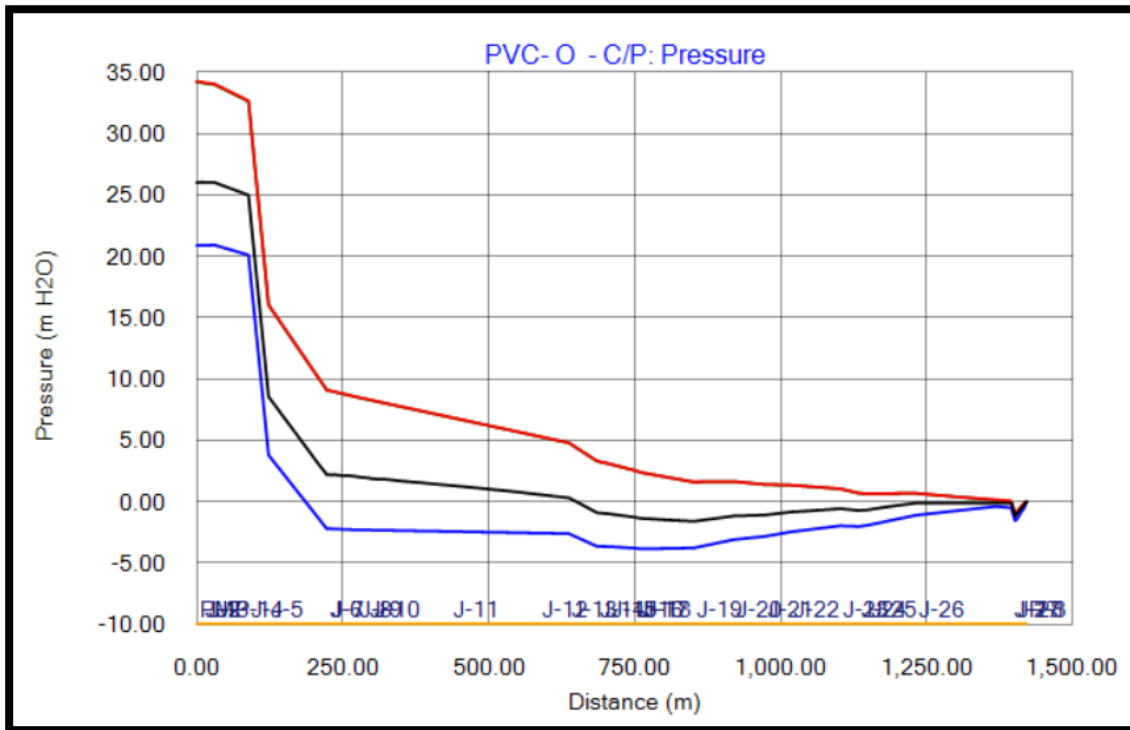
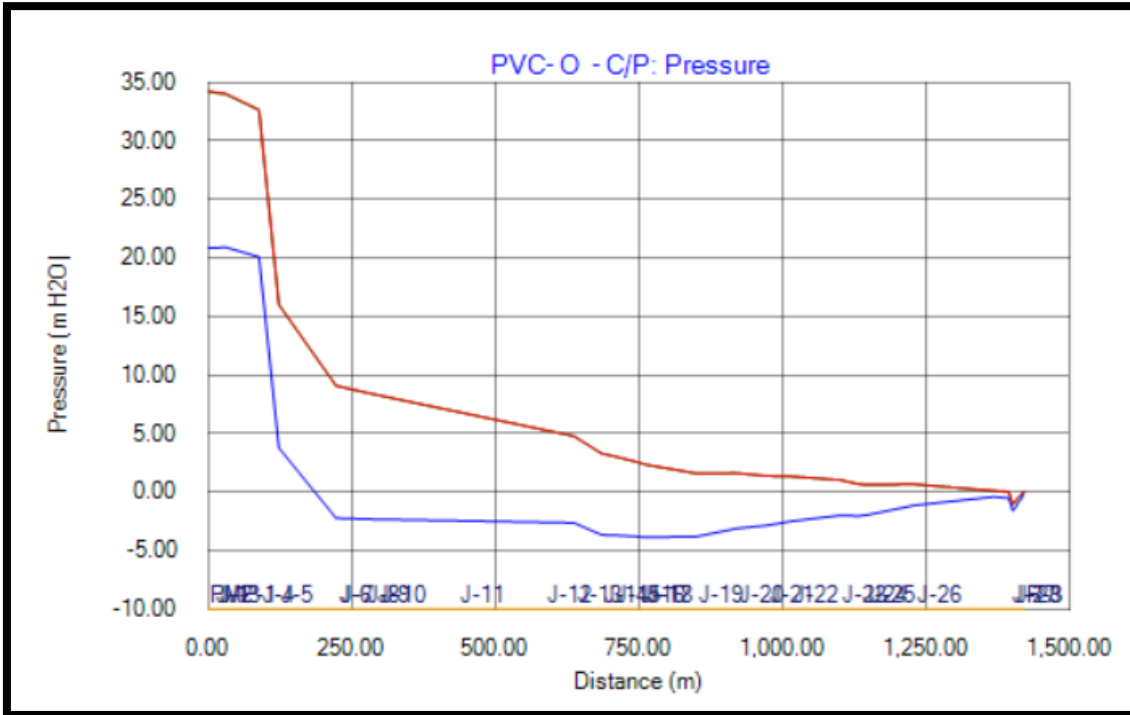






**Material PVC- O – C/ Protección**

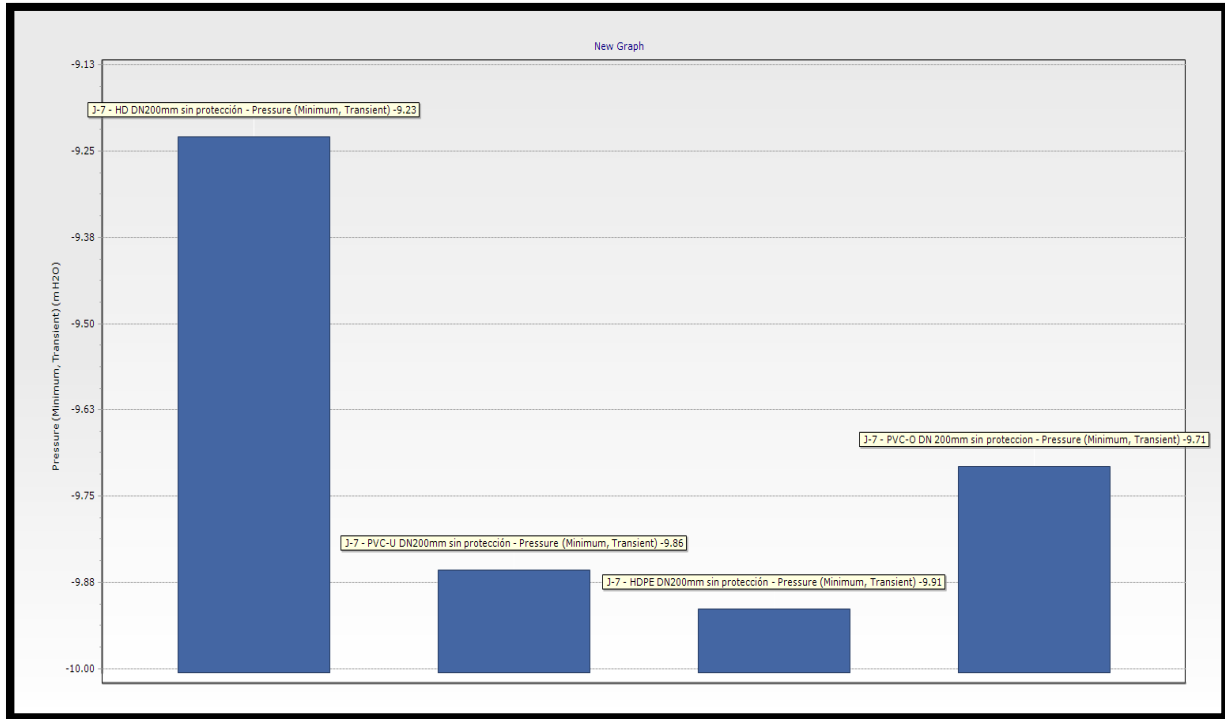




Análisis de punto vulnerables de los materiales sin elementos de protección y con elementos de protección .

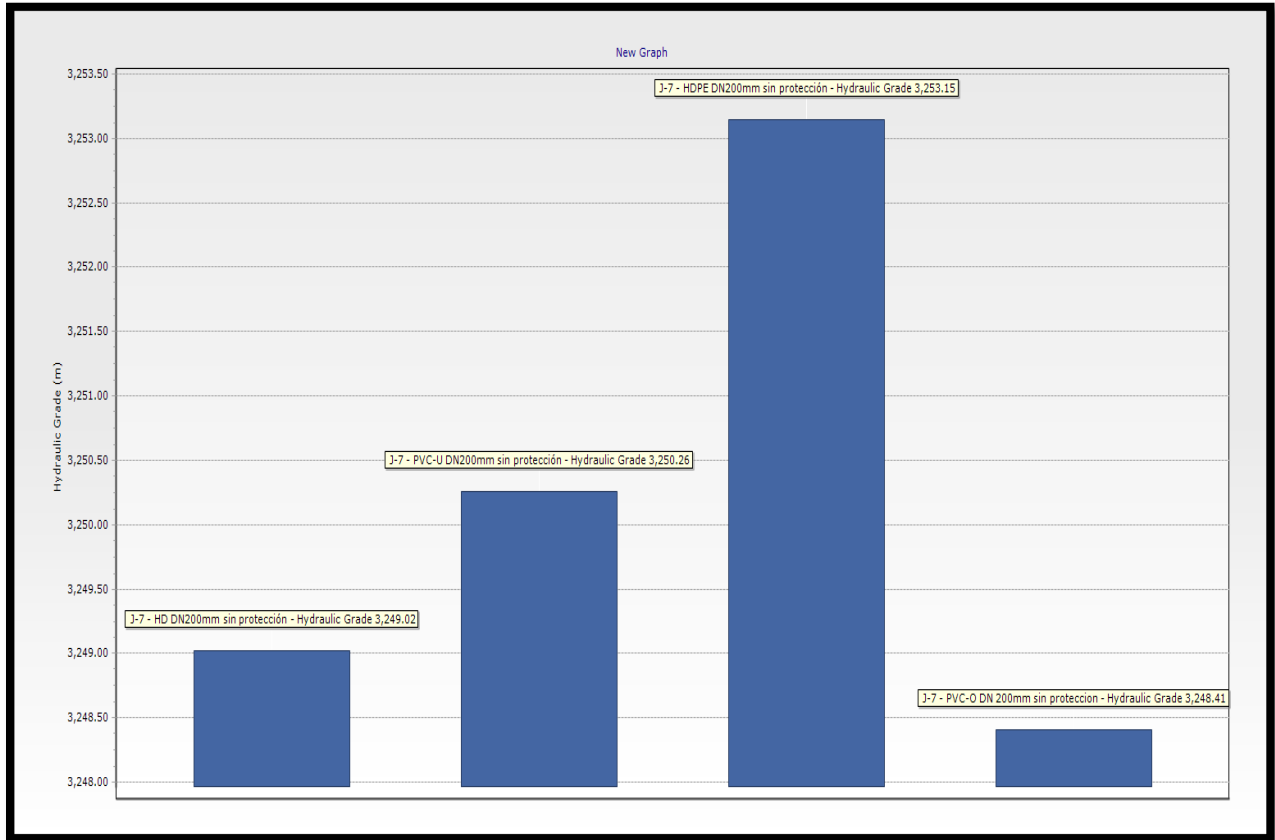
**S/PROTECTION**

***JUNCTION ( J-7 ) – PRESIONES MINIMAS***



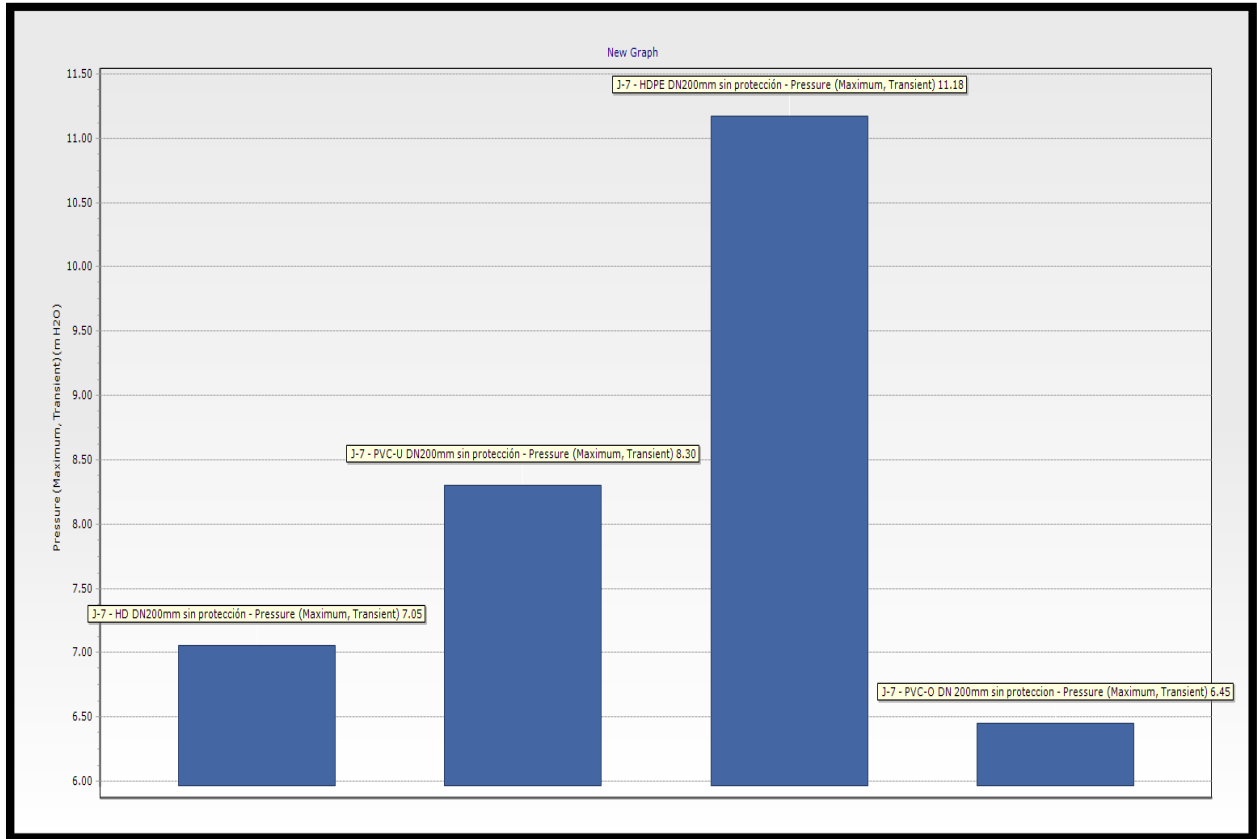
Graph		Data			
Time (hours)	J-7 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200mm sin proteccion - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	-9.23	-9.86	-9.91	-9.71

**JUNCTION ( J-7 ) – HYDRAULIC GRADE**



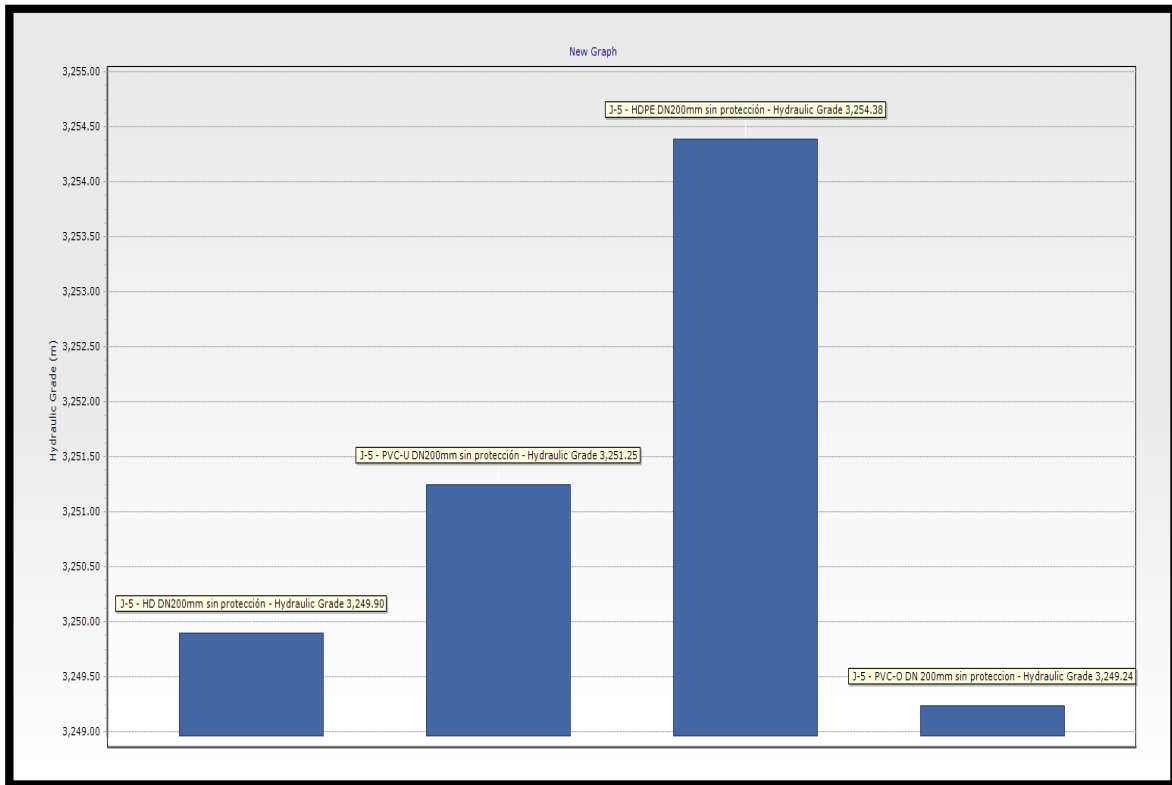
Graph		Data			
	Time (hours)	J-7 - HD DN200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	J-7 - PVC-U DN200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	J-7 - HDPE DN200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	J-7 - PVC-O DN 200mm sin proteccion - Hydraulic Grade (m)
0	0.00	3,249.02	3,250.26	3,253.15	3,248.41

**JUNCTION ( J-7 ) – PRESIONES MAXIMAS**



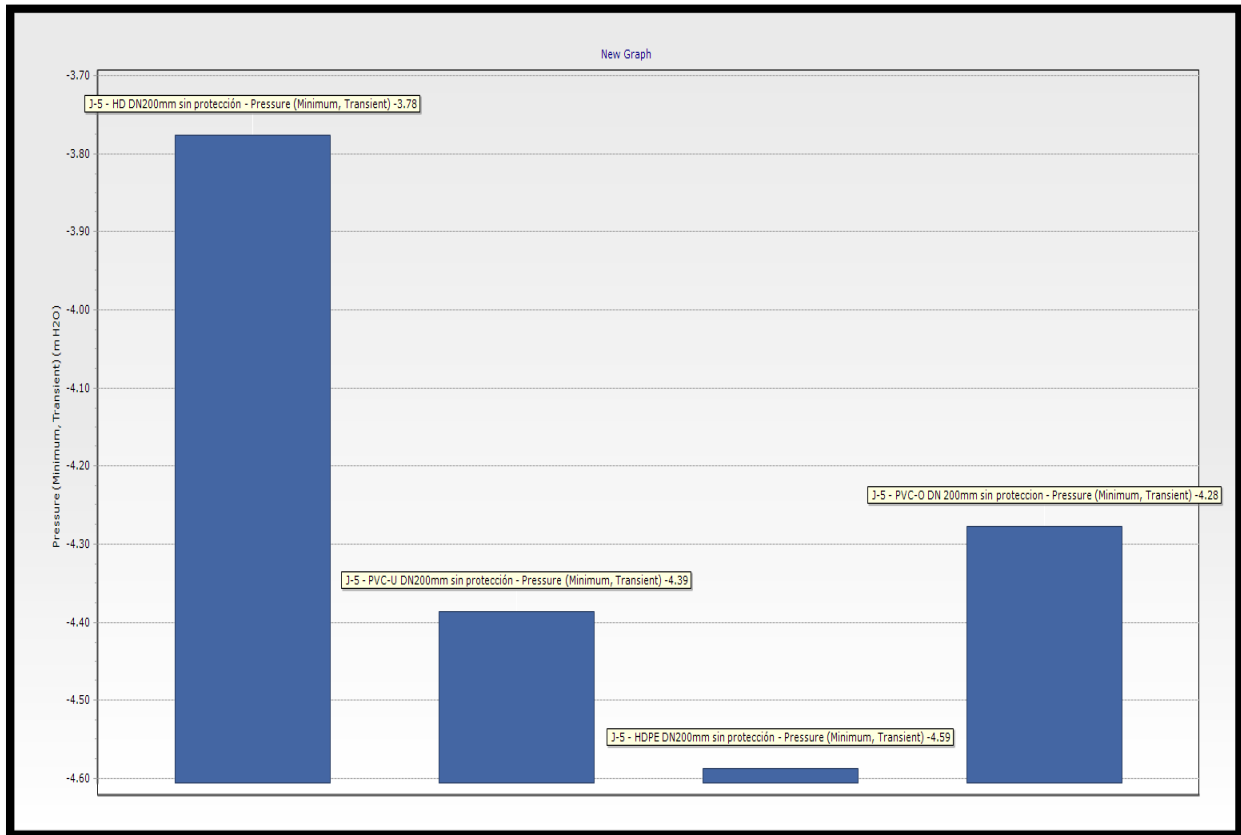
Graph		Data			
Time (hours)	J-7 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200mm sin proteccion - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	7.05	8.30	11.18	6.45

**JUNCTION ( J-5 ) – HYDRAULIC GRADE**



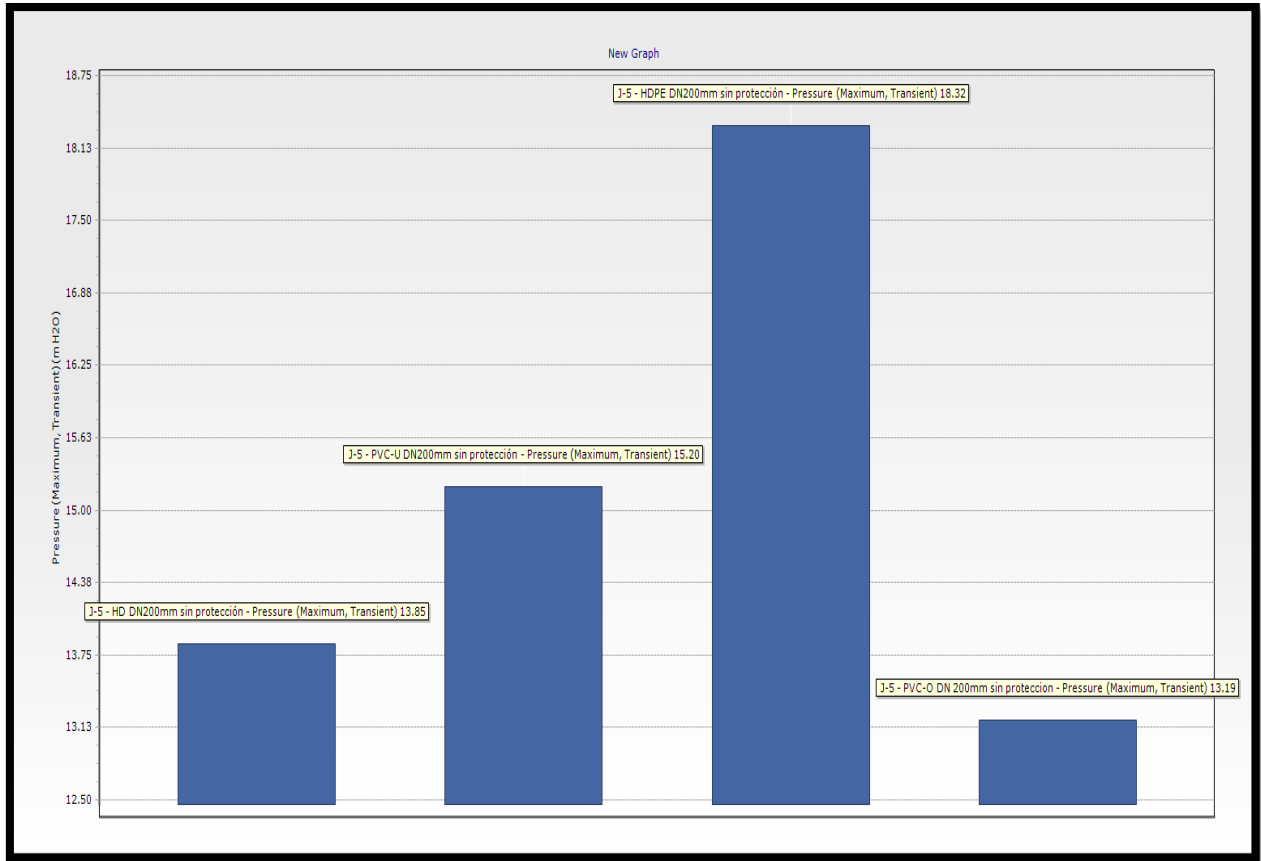
Graph		Data			
Time (hours)	J-5 - HD DN200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	J-5 - PVC-U DN200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	J-5 - HDPE DN200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	J-5 - PVC-O DN 200mm sin protección - Hydraulic Grade (m)	
0	0.00	3,249.90	3,251.25	3,254.38	3,249.24

## JUNCTION ( J-5 ) – PRESIONES MINIMAS



Graph		Data			
Time (hours)	J-5 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H <sub>2</sub> O)	J-5 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H <sub>2</sub> O)	J-5 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H <sub>2</sub> O)	J-5 - PVC-O DN 200mm sin protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H <sub>2</sub> O)	
0	0.00	-3.78	-4.39	-4.59	-4.28

**JUNCTION ( J-5 ) – PRESIONES MAXIMAS**

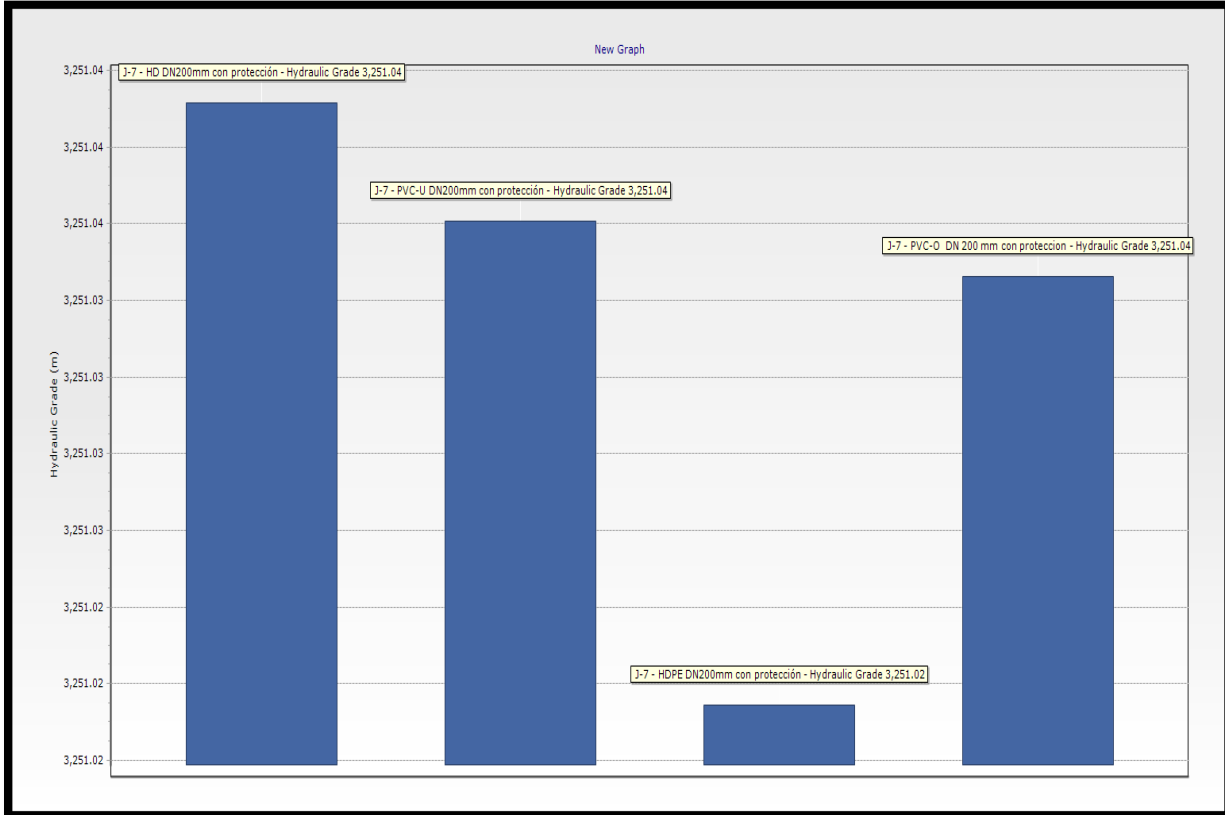


Graph		Data			
	Time (hours)	J-5 - HD DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200mm sin protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)
0	0.00	13.85	15.20	18.32	13.19



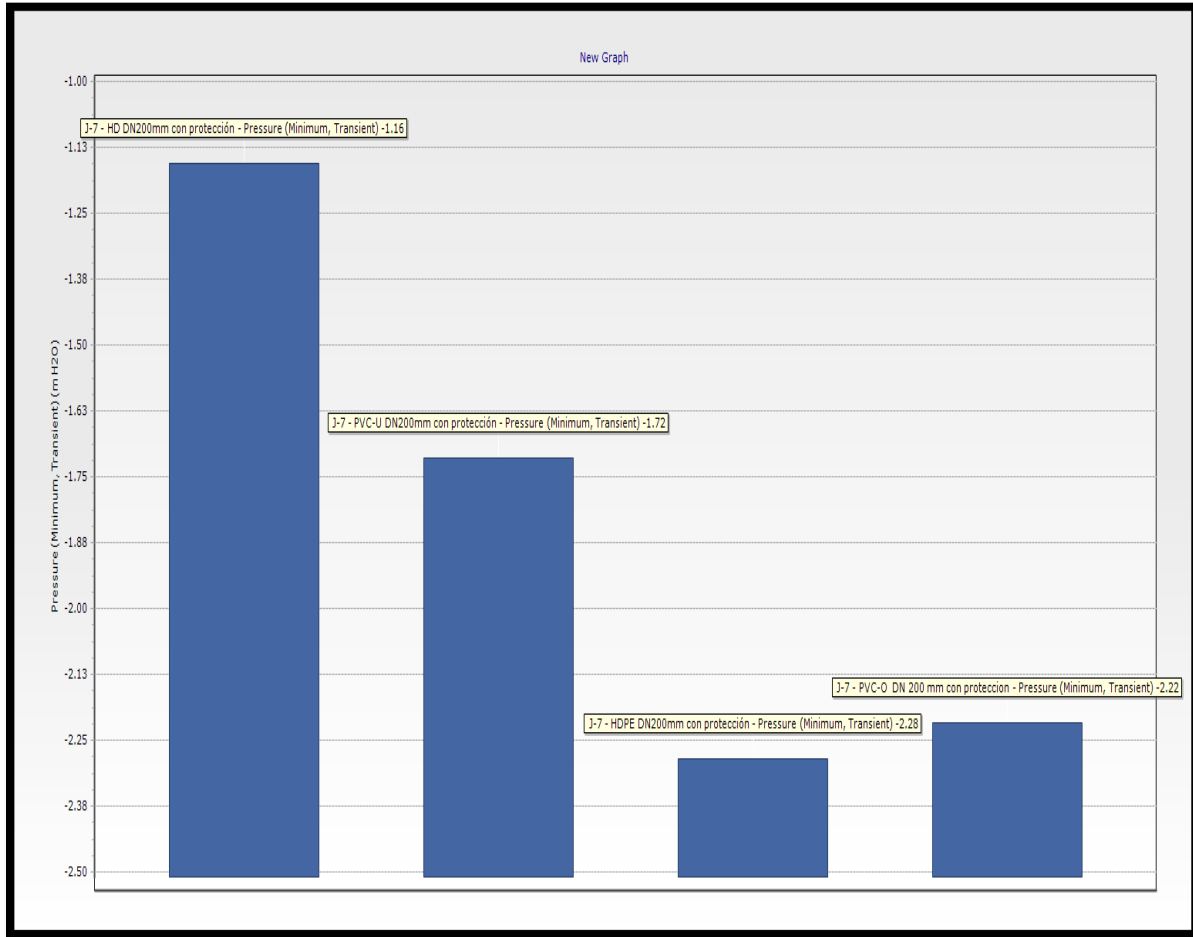
**C / PROTECTION**

***JUNCTION ( J-7 ) – HYDRAULIC GRADE***



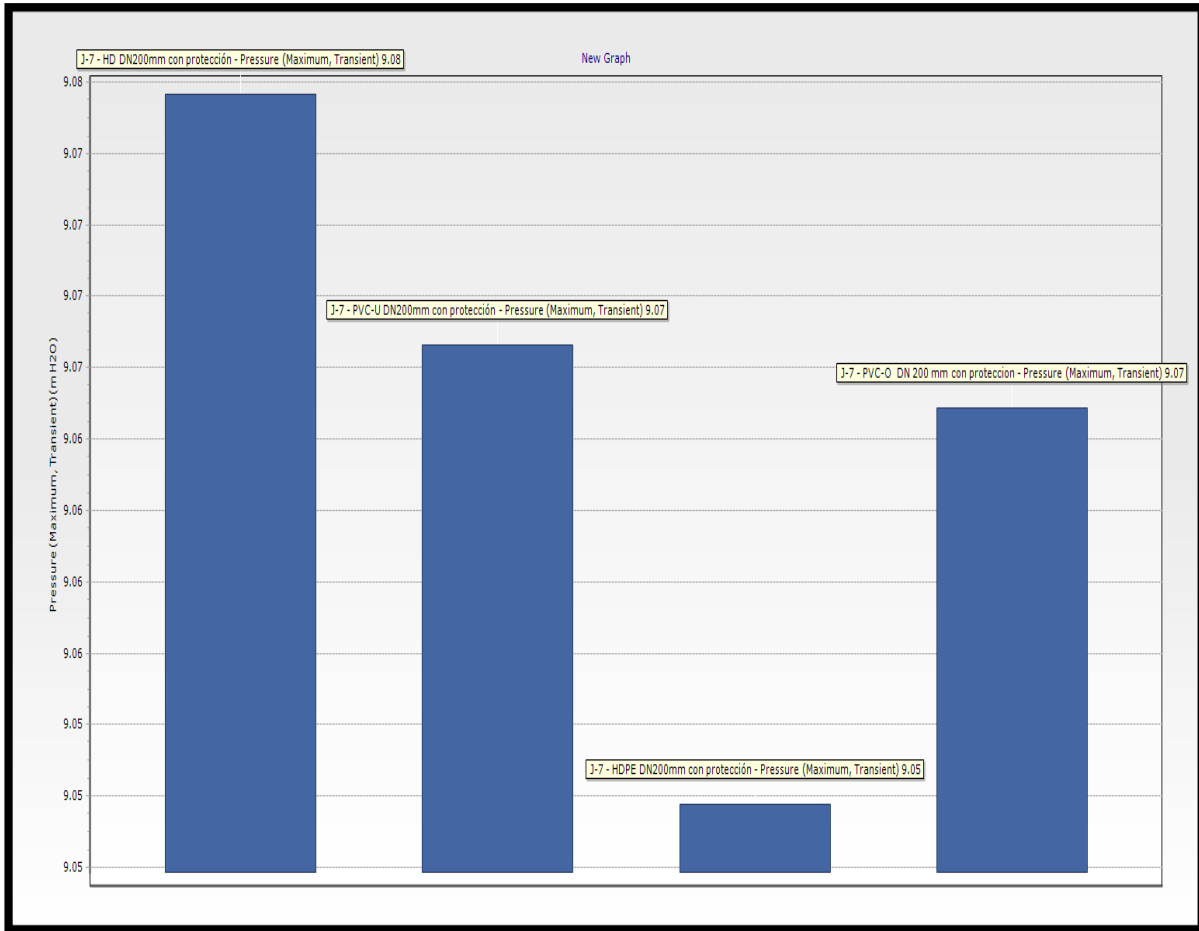
Graph		Data			
Time (hours)	J-7 - HD DN200mm con protección - Hydraulic Grade (m)	J-7 - PVC-U DN200mm con protección - Hydraulic Grade (m)	J-7 - HDPE DN200mm con protección - Hydraulic Grade (m)	J-7 - PVC-O DN 200 mm con protección - Hydraulic Grade (m)	
0	0.00	3,251.04	3,251.04	3,251.02	3,251.04

**JUNCTION ( J-7 ) – PRESIONES MINIMAS**



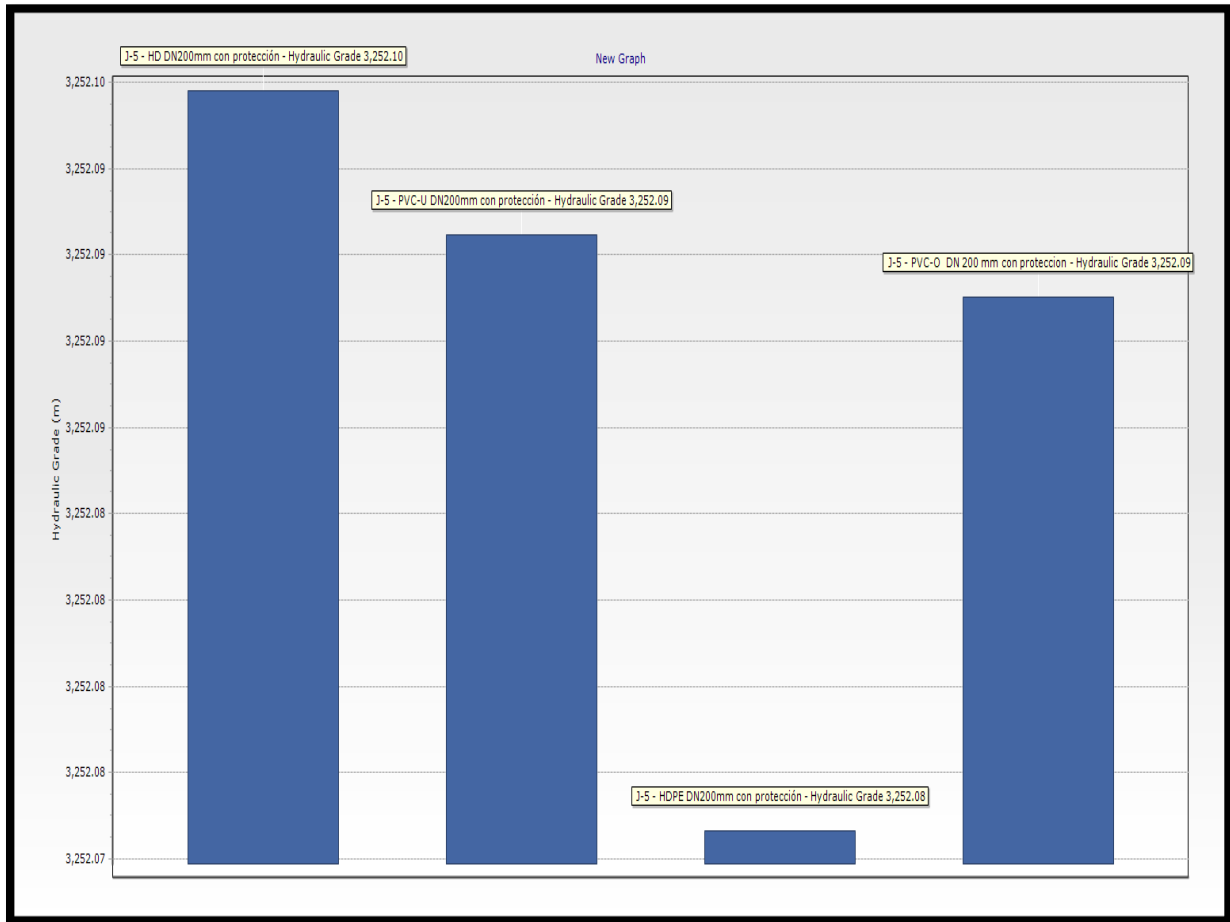
Graph		Data			
Time (hours)	J-7 - HD DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	-1.16	-1.72	-2.28	-2.22

**JUNCTION ( J-7 ) – PRESIONES MAXIMAS**



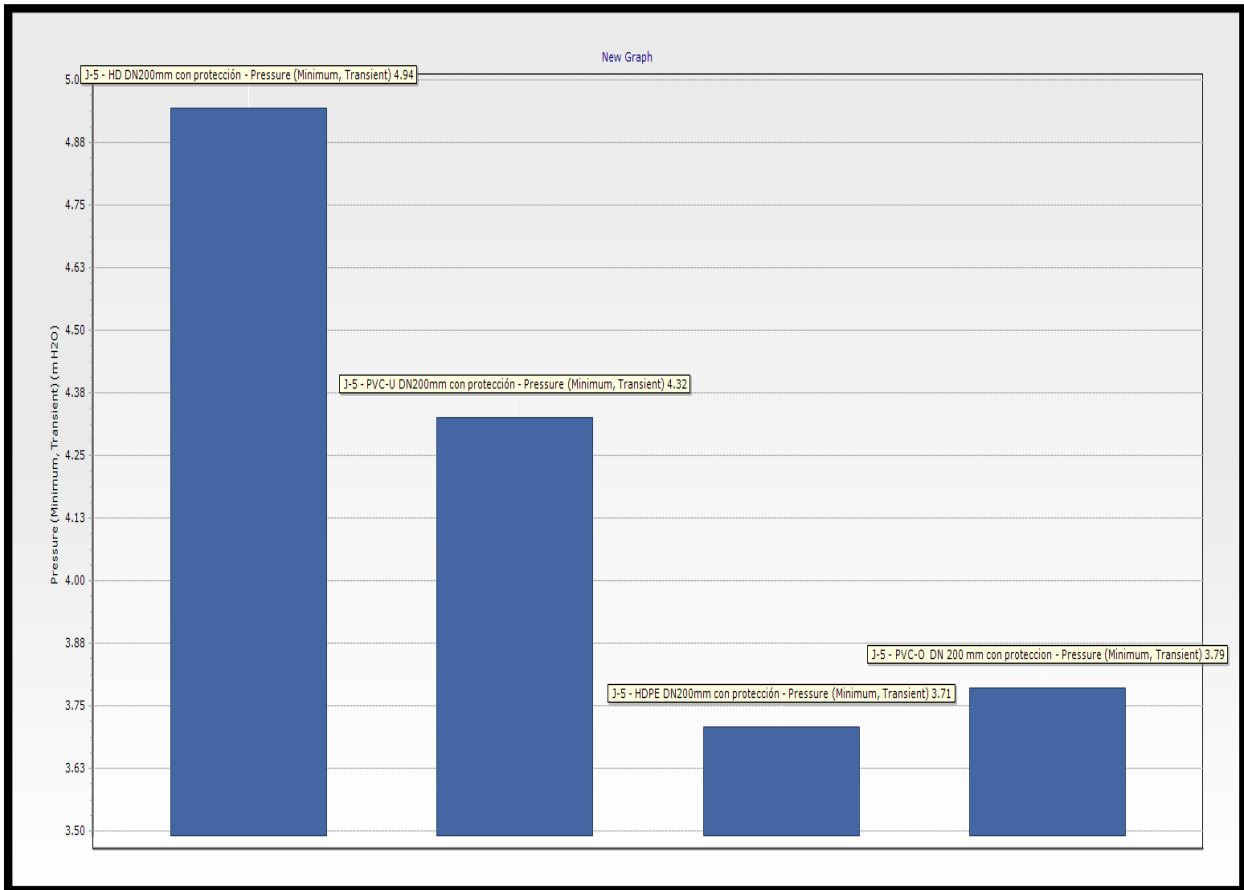
Graph		Data			
Time (hours)	J-7 - HD DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-7 - PVC-O DN 200 mm con proteccion - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	9.08	9.07	9.05	9.07

**JUNCTION ( J-5 ) – HYDRAULIC GRADE**



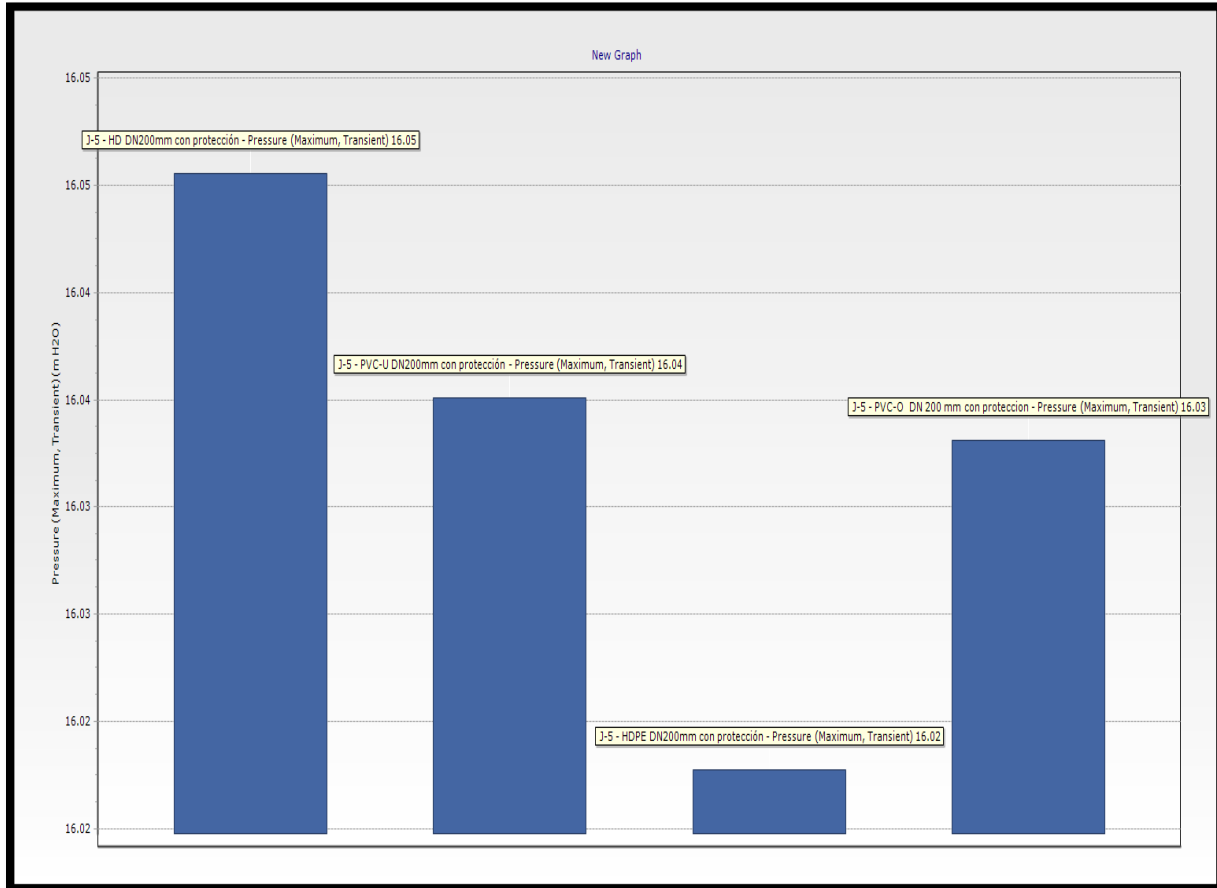
Graph		Data			
Time (hours)	J-5 - HD DN200mm con protección - Hydraulic Grade (m)	J-5 - PVC-U DN200mm con protección - Hydraulic Grade (m)	J-5 - HDPE DN200mm con protección - Hydraulic Grade (m)	J-5 - PVC-O DN 200 mm con proteccion - Hydraulic Grade (m)	
0	0.00	3,252.10	3,252.09	3,252.08	3,252.09

**JUNCTION ( J-5 ) – PRESIONES MINIMAS**



Graph		Data			
Time (hours)	J-5 - HD DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	
0	0.00	4.94	4.32	3.71	3.79

## JUNCTION ( J-5 ) – PRESIONES MAXIMAS



Series Options		HD m con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-U DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - HDPE DN200mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	J-5 - PVC-O DN 200 mm con protección - Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)
Time (hours)	0.00	16.05	16.04	16.02	16.03

Reporte según el Software Hammer en tuberías y Juntion de cada uno de los materiales (PVC-O, PVC-U, HDPE, HD) en Régimen Transitorio

Reporte de tuberías – sin elementos de protección

Reporte de Juntion – sin elementos de protección

Reporte de tuberías – con elementos de protección

Reporte de juntion – con elementos de protección

Reporte De Tuberías – Sin Elementos De Protección

Hierro Ductil- DN 200MM

FlexTable; Pipe Table

**FlexTable: Pipe Table**

Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	Ductile Iron	2.48	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.02	-9.27	7.05	3,249.04
J-17	J-18	Ductile Iron	6.60	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.06	-7.81	1.31	3,244.45
J-27	J-28	Ductile Iron	6.88	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.06	-1.46	-0.05	3,238.95
J-1	J-2	Ductile Iron	7.20	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.06	12.65	31.83	3,250.89
J-16	J-17	Ductile Iron	7.62	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.07	-7.82	1.42	3,244.51
J-9	J-10	Ductile Iron	8.21	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.07	-9.01	6.45	3,248.46
J-2	J-3	Ductile Iron	14.10	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.12	12.70	31.77	3,250.83
J-24	J-25	Ductile Iron	15.30	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.13	-3.81	0.20	3,241.20
J-8	J-9	Ductile Iron	16.77	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.14	-9.07	6.60	3,248.61
J-28	R-3	Ductile Iron	19.67	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.17	-1.46	0.00	3,238.89
J-14	J-15	Ductile Iron	19.91	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.17	-8.05	2.06	3,245.06
J-23	J-24	Ductile Iron	31.90	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.27	-3.95	0.50	3,241.48
J-4	J-5	Ductile Iron	34.57	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.30	-3.78	30.43	3,250.20
J-21	J-22	Ductile Iron	43.33	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.37	-5.55	0.66	3,242.59
J-15	J-16	Ductile Iron	43.93	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.38	-7.95	1.89	3,244.89
J-7	J-8	Ductile Iron	47.97	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.41	-9.23	7.05	3,249.02
J-13	J-14	Ductile Iron	48.46	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.42	-8.05	3.47	3,245.48
J-12	J-13	Ductile Iron	50.05	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.43	-7.55	3.90	3,245.91
J-20	J-21	Ductile Iron	53.04	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.46	-6.11	0.79	3,243.04
J-3	J-4	Ductile Iron	58.87	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.51	12.34	31.72	3,250.71
J-19	J-20	Ductile Iron	69.20	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.60	-7.20	0.79	3,243.64
J-25	J-26	Ductile Iron	81.67	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.70	-3.63	0.36	3,241.07
J-22	J-23	Ductile Iron	85.65	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.74	-4.94	0.66	3,242.21
J-18	J-19	Ductile Iron	86.81	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.75	-7.78	1.24	3,244.39
J-5	J-6	Ductile Iron	99.95	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.86	-9.27	13.85	3,249.90
J-10	J-11	Ductile Iron	135.76	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	1.17	-8.96	6.38	3,248.39
J-11	J-12	Ductile Iron	152.80	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	1.32	-8.32	5.21	3,247.22
J-26	J-27	Ductile Iron	163.85	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	1.41	-2.33	0.36	3,240.36
R-1	PMP-1	Ductile Iron	6.75	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.06	-1.36	0.00	3,217.84
PMP-1	J-1	Ductile Iron	8.38	200.0	130.0	1,274.85	40	1.28	0.07	12.60	31.90	3,250.96
J-1	HT-1	Ductile Iron	8.07	200.0	130.0	1,274.85	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)



PVC- U – DN 200MM

FlexTable: Pipe Table												
Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	PVC.U	2.48	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.02	-9.91	8.30	3,250.29
J-17	J-18	PVC.U	6.60	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.06	-8.21	2.00	3,245.14
J-27	J-28	PVC.U	6.88	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.07	-1.48	-0.02	3,238.98
J-1	J-2	PVC.U	7.20	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.07	12.06	33.29	3,252.36
J-16	J-17	PVC.U	7.62	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.07	-8.24	2.11	3,245.21
J-9	J-10	PVC.U	8.21	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.08	-9.61	7.62	3,249.64
J-2	J-3	PVC.U	14.10	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.14	12.13	33.23	3,252.29
J-24	J-25	PVC.U	15.30	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.15	-4.11	0.50	3,241.50
J-8	J-9	PVC.U	16.77	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.16	-9.69	7.79	3,249.80
J-28	R-3	PVC.U	19.67	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.19	-1.48	0.00	3,238.92
J-14	J-15	PVC.U	19.91	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.19	-8.54	2.82	3,245.83
J-23	J-24	PVC.U	31.90	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.31	-4.25	0.84	3,241.81
J-4	J-5	PVC.U	34.57	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.33	-4.39	31.82	3,251.59
J-21	J-22	PVC.U	43.33	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.42	-5.86	1.10	3,243.05
J-15	J-16	PVC.U	43.93	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.42	-8.41	2.63	3,245.63
J-7	J-8	PVC.U	47.97	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.46	-9.86	8.30	3,250.27
J-13	J-14	PVC.U	48.46	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.47	-8.54	4.29	3,246.29
J-12	J-13	PVC.U	50.05	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.48	-8.12	4.77	3,246.78
J-20	J-21	PVC.U	53.04	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.51	-6.43	1.31	3,243.57
J-3	J-4	PVC.U	58.87	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.57	11.76	33.16	3,252.16
J-19	J-20	PVC.U	69.20	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.67	-7.56	1.31	3,244.24
J-25	J-26	PVC.U	81.67	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.79	-3.92	0.56	3,241.35
J-22	J-23	PVC.U	85.65	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.83	-5.26	1.08	3,242.64
J-18	J-19	PVC.U	86.81	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.84	-8.16	1.92	3,245.07
J-5	J-6	PVC.U	99.95	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.96	-9.91	15.20	3,251.26
J-10	J-11	PVC.U	135.76	184.6	150.0	345.37	40	1.50	1.31	-9.57	7.55	3,249.56
J-11	J-12	PVC.U	152.80	184.6	150.0	345.37	40	1.50	1.48	-8.89	6.24	3,248.25
J-26	J-27	PVC.U	163.85	184.6	150.0	345.37	40	1.50	1.58	-2.59	0.56	3,240.56
R-1	PMP-1	PVC.U	6.75	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.07	-1.36	0.00	3,217.86
PMP-1	J-1	PVC.U	8.38	184.6	150.0	345.37	40	1.50	0.08	11.99	33.37	3,252.44
J-1	HT-1	PVC.U	8.07	184.6	150.0	345.37	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)

HDPE – DN 200MM

FlexTable: Pipe Table												
Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	HDPE	2.48	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.03	-9.96	11.18	3,253.18
J-17	J-18	HDPE	6.60	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.08	-8.22	2.00	3,245.14
J-27	J-28	HDPE	6.88	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.07	-1.48	-0.02	3,238.98
J-1	J-2	HDPE	7.20	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.07	12.06	33.29	3,252.36
J-16	J-17	HDPE	7.62	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.07	-8.24	2.11	3,245.21
J-9	J-10	HDPE	8.21	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.08	-9.61	7.62	3,249.64
J-2	J-3	HDPE	14.10	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.14	12.13	33.23	3,252.29
J-24	J-25	HDPE	15.30	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.15	-4.11	0.50	3,241.50
J-8	J-9	HDPE	16.77	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.16	-9.69	7.79	3,249.80
J-28	R-3	HDPE	19.67	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.19	-1.48	0.00	3,238.92
J-14	J-15	HDPE	19.91	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.19	-8.54	2.82	3,245.83
J-23	J-24	HDPE	31.90	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.31	-4.25	0.84	3,241.81
J-4	J-5	HDPE	34.57	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.33	-4.39	31.82	3,251.59
J-21	J-22	HDPE	43.33	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.42	-5.86	1.10	3,243.05
J-15	J-16	HDPE	43.93	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.42	-8.41	2.63	3,245.63
J-7	J-8	HDPE	47.97	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.46	-9.86	8.30	3,250.27
J-13	J-14	HDPE	48.46	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.47	-8.54	4.29	3,246.29
J-12	J-13	HDPE	50.05	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.48	-8.12	4.77	3,246.78
J-20	J-21	HDPE	53.04	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.51	-6.43	1.31	3,243.57
J-3	J-4	HDPE	58.87	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.57	11.76	33.16	3,252.16
J-19	J-20	HDPE	69.20	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.67	-7.56	1.31	3,244.24
J-25	J-26	HDPE	81.67	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.79	-3.92	0.56	3,241.35
J-22	J-23	HDPE	85.65	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.83	-5.26	1.08	3,242.64
J-18	J-19	HDPE	86.81	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.84	-8.16	1.92	3,245.07
J-5	J-6	HDPE	99.95	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.96	-9.91	15.20	3,251.26
J-10	J-11	HDPE	135.76	176.2	150.0	300.73	40	1.64	1.31	-9.57	7.55	3,249.56
J-11	J-12	HDPE	152.80	176.2	150.0	300.73	40	1.64	1.48	-8.89	6.24	3,248.25
J-26	J-27	HDPE	163.85	176.2	150.0	300.73	40	1.64	1.58	-2.59	0.56	3,240.56
R-1	PMP-1	HDPE	6.75	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.07	-1.36	0.00	3,217.86
PMP-1	J-1	HDPE	8.38	176.2	150.0	300.73	40	1.64	0.08	11.99	33.37	3,252.44
J-1	HT-1	HDPE	8.07	176.2	150.0	300.73	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)



**PVC- O – DN 200MM**

**Flex Table: Pipe Table**

Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	PVC-O C500	2.48	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.02	-9.76	6.45	3,248.43
J-17	J-18	PVC-O C500	6.60	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.05	-7.97	0.97	3,244.10
J-27	J-28	PVC-O C500	6.88	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.06	-1.49	-0.01	3,238.99
J-1	J-2	PVC-O C500	7.20	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.06	12.26	31.11	3,250.17
J-16	J-17	PVC-O C500	7.62	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.06	-7.97	1.07	3,244.17
J-9	J-10	PVC-O C500	8.21	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.07	-9.42	5.87	3,247.89
J-2	J-3	PVC-O C500	14.10	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.11	12.29	31.05	3,250.11
J-24	J-25	PVC-O C500	15.30	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.12	-4.10	0.05	3,241.05
J-8	J-9	PVC-O C500	16.77	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.14	-9.49	6.01	3,248.02
J-28	R-3	PVC-O C500	19.67	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.16	-1.49	0.00	3,238.92
J-14	J-15	PVC-O C500	19.91	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.16	-8.22	1.68	3,244.68
J-23	J-24	PVC-O C500	31.90	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.26	-4.24	0.34	3,241.31
J-4	J-5	PVC-O C500	34.57	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.28	-4.28	29.75	3,249.52
J-21	J-22	PVC-O C500	43.33	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.35	-5.82	0.45	3,242.36
J-15	J-16	PVC-O C500	43.93	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.36	-8.09	1.52	3,244.52
J-7	J-8	PVC-O C500	47.97	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.39	-9.71	6.45	3,248.41
J-13	J-14	PVC-O C500	48.46	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.39	-8.22	3.07	3,245.08
J-12	J-13	PVC-O C500	50.05	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.41	-7.90	3.48	3,245.48
J-20	J-21	PVC-O C500	53.04	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.43	-6.36	0.53	3,242.79
J-3	J-4	PVC-O C500	58.87	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.48	11.86	31.00	3,250.00
J-19	J-20	PVC-O C500	69.20	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.56	-7.41	0.53	3,243.35
J-25	J-26	PVC-O C500	81.67	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.66	-3.91	0.26	3,240.93
J-22	J-23	PVC-O C500	85.65	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.69	-5.23	0.45	3,242.01
J-18	J-19	PVC-O C500	86.81	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.70	-7.95	0.90	3,244.05
J-5	J-6	PVC-O C500	99.95	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.81	-9.76	13.19	3,249.24
J-10	J-11	PVC-O C500	135.76	191.2	150.0	293.90	40	1.39	1.10	-9.38	5.81	3,247.82
J-11	J-12	PVC-O C500	152.80	191.2	150.0	293.90	40	1.39	1.24	-8.78	4.71	3,246.72
J-26	J-27	PVC-O C500	163.85	191.2	150.0	293.90	40	1.39	1.33	-2.57	0.26	3,240.27
R-1	PMP-1	PVC-O C500	6.75	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.05	-1.35	0.00	3,217.86
PMP-1	J-1	PVC-O C500	8.38	191.2	150.0	293.90	40	1.39	0.07	12.21	31.17	3,250.24
J-1	HT-1	PVC-O C500	8.07	191.2	150.0	293.90	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)

**HIERRO DUCTIL – DN 200MM**

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,250.89	3,231.68	31.83	12.65	31.82	31.82
J-2	3,219.00	3,250.83	3,231.72	31.77	12.70	31.76	31.76
J-3	3,218.93	3,250.71	3,231.80	31.72	12.84	31.71	31.71
J-4	3,219.70	3,250.20	3,232.07	30.43	12.34	30.43	30.43
J-5	3,236.03	3,249.90	3,232.24	13.85	-3.78	13.85	13.85
J-7	3,241.95	3,249.02	3,232.70	7.05	-9.23	7.05	7.05
J-6	3,241.98	3,249.04	3,232.68	7.05	-9.27	7.05	7.05
J-8	3,242.00	3,248.61	3,232.91	6.60	-9.07	6.59	6.59
J-9	3,242.00	3,248.46	3,232.97	6.45	-9.01	6.45	6.45
J-10	3,242.00	3,248.39	3,233.02	6.38	-8.96	6.38	6.38
J-11	3,242.00	3,247.22	3,233.66	5.21	-8.32	5.21	5.21
J-12	3,242.00	3,245.91	3,234.44	3.90	-7.55	3.90	3.90
J-13	3,242.00	3,245.48	3,234.69	3.47	-7.29	3.46	3.46
J-14	3,243.00	3,243.06	3,234.93	2.06	-8.05	2.05	2.05
J-15	3,243.00	3,244.89	3,235.04	1.89	-7.95	1.88	1.88
J-16	3,243.09	3,244.51	3,235.25	1.42	-7.82	1.41	1.41
J-17	3,243.13	3,244.45	3,235.31	1.31	-7.81	1.30	1.30
J-18	3,243.15	3,244.39	3,235.36	1.24	-7.78	1.23	1.23
J-20	3,242.25	3,243.04	3,236.13	0.79	-6.11	0.78	0.78
J-22	3,241.55	3,242.21	3,236.60	0.66	-4.94	0.66	0.66
J-19	3,243.00	3,243.64	3,235.79	0.64	-7.20	0.63	0.63
J-21	3,241.95	3,242.59	3,236.39	0.64	-5.55	0.63	0.63
J-23	3,240.97	3,241.48	3,237.02	0.50	-3.95	0.50	0.50
J-26	3,240.01	3,240.36	3,237.67	0.36	-2.33	0.35	0.35
J-24	3,241.00	3,241.20	3,237.18	0.20	-3.81	0.20	0.20
J-25	3,240.89	3,241.07	3,237.26	0.18	-3.63	0.17	0.17
J-27	3,239.00	3,238.95	3,238.53	-0.05	-0.47	-0.05	-0.05
J-28	3,240.00	3,238.89	3,238.53	-1.10	-1.46	-1.11	-1.11

PVC- U – DN 200MM

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,252.36	3,231.08	33.29	12.06	33.29	33.29
J-2	3,219.00	3,252.29	3,231.16	33.23	12.13	33.22	33.22
J-3	3,218.93	3,252.16	3,231.25	33.16	12.30	33.16	33.16
J-4	3,219.70	3,251.59	3,231.49	31.82	11.76	31.81	31.81
J-5	3,236.03	3,251.26	3,231.63	15.20	-4.39	15.19	15.19
J-7	3,241.95	3,250.27	3,232.07	8.30	-9.86	8.29	8.29
J-6	3,241.98	3,250.29	3,232.05	8.30	-9.91	8.29	8.29
J-8	3,242.00	3,249.80	3,232.29	7.79	-9.69	7.78	7.78
J-9	3,242.00	3,249.64	3,232.37	7.62	-9.61	7.62	7.62
J-10	3,242.00	3,249.56	3,232.42	7.55	-9.57	7.54	7.54
J-11	3,242.00	3,248.25	3,233.09	6.24	-8.89	6.23	6.23
J-12	3,242.00	3,246.78	3,233.87	4.77	-8.12	4.76	4.76
J-13	3,242.00	3,246.29	3,234.16	4.29	-7.82	4.28	4.28
J-14	3,243.00	3,245.83	3,234.44	2.82	-8.54	2.81	2.81
J-15	3,243.00	3,245.63	3,234.57	2.63	-8.41	2.62	2.62
J-16	3,243.09	3,245.21	3,234.83	2.11	-8.24	2.11	2.11
J-17	3,243.13	3,245.14	3,234.91	2.00	-8.21	1.99	1.99
J-18	3,243.15	3,245.07	3,234.97	1.92	-8.16	1.91	1.91
J-20	3,242.25	3,243.57	3,235.81	1.31	-6.43	1.30	1.30
J-19	3,243.00	3,244.24	3,235.43	1.23	-7.56	1.23	1.23
J-21	3,241.95	3,243.05	3,236.08	1.10	-5.86	1.10	1.10
J-22	3,241.55	3,242.64	3,236.28	1.08	-5.26	1.08	1.08
J-23	3,240.97	3,241.81	3,236.71	0.84	-4.25	0.83	0.83
J-26	3,240.01	3,240.56	3,237.41	0.56	-2.59	0.55	0.55
J-24	3,241.00	3,241.50	3,236.88	0.50	-4.11	0.49	0.49
J-25	3,240.89	3,241.35	3,236.97	0.46	-3.92	0.46	0.46
J-27	3,239.00	3,238.98	3,238.46	-0.02	-0.54	-0.02	-0.02
J-28	3,240.00	3,238.92	3,238.52	-1.08	-1.48	-1.09	-1.09

HDPE – DN 200MM

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,255.77	3,230.91	36.69	11.89	36.69	36.69
J-2	3,219.00	3,255.68	3,230.96	36.61	11.93	36.61	36.61
J-3	3,218.93	3,255.51	3,231.02	36.51	12.07	36.51	36.51
J-4	3,219.70	3,254.80	3,231.27	35.03	11.55	35.02	35.02
J-5	3,236.03	3,254.38	3,231.43	18.32	-4.59	18.32	18.32
J-6	3,241.98	3,253.18	3,232.00	11.18	-9.96	11.18	11.18
J-7	3,241.95	3,253.15	3,232.02	11.18	-9.91	11.17	11.17
J-8	3,242.00	3,252.57	3,232.22	10.55	-9.76	10.55	10.55
J-9	3,242.00	3,252.37	3,232.29	10.35	-9.69	10.34	10.34
J-10	3,242.00	3,252.27	3,232.34	10.25	-9.64	10.24	10.24
J-11	3,242.00	3,250.63	3,232.98	8.61	-9.00	8.61	8.61
J-12	3,242.00	3,248.79	3,233.87	6.77	-8.12	6.77	6.77
J-13	3,242.00	3,248.18	3,234.22	6.17	-7.76	6.17	6.17
J-14	3,243.00	3,247.60	3,234.52	4.59	-8.46	4.59	4.59
J-15	3,243.00	3,247.36	3,234.64	4.35	-8.35	4.35	4.35
J-16	3,243.09	3,246.83	3,234.85	3.73	-8.23	3.72	3.72
J-17	3,243.13	3,246.74	3,234.89	3.60	-8.22	3.59	3.59
J-18	3,243.15	3,246.66	3,234.94	3.50	-8.19	3.50	3.50
J-19	3,243.00	3,245.61	3,235.34	2.60	-7.64	2.60	2.60
J-20	3,242.25	3,244.77	3,235.67	2.51	-6.57	2.51	2.51
J-21	3,241.95	3,244.13	3,235.94	2.18	-5.99	2.18	2.18
J-22	3,241.55	3,243.61	3,236.16	2.05	-5.37	2.05	2.05
J-23	3,240.97	3,242.58	3,236.59	1.60	-4.38	1.60	1.60
J-24	3,241.00	3,242.19	3,236.76	1.19	-4.23	1.19	1.19
J-25	3,240.89	3,242.00	3,236.85	1.11	-4.04	1.11	1.11
J-26	3,240.01	3,241.02	3,237.31	1.01	-2.69	1.01	1.01
J-27	3,239.00	3,239.04	3,238.46	0.04	-0.54	0.04	0.04
J-28	3,240.00	3,238.96	3,238.55	-1.04	-1.45	-1.04	-1.04

PVC- O – DN 200MM

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,250.17	3,231.28	31.11	12.26	31.11	31.11
J-2	3,219.00	3,250.11	3,231.32	31.05	12.29	31.05	31.05
J-3	3,218.93	3,250.00	3,231.37	31.00	12.42	31.00	31.00
J-4	3,219.70	3,249.52	3,231.59	29.75	11.86	29.75	29.75
J-5	3,236.03	3,249.24	3,231.74	13.19	-4.28	13.19	13.19
J-7	3,241.95	3,248.41	3,232.23	6.45	-9.71	6.44	6.44
J-6	3,241.98	3,248.43	3,232.20	6.44	-9.76	6.44	6.44
J-8	3,242.00	3,248.02	3,232.49	6.01	-9.49	6.01	6.01
J-9	3,242.00	3,247.89	3,232.56	5.87	-9.42	5.87	5.87
J-10	3,242.00	3,247.82	3,232.60	5.81	-9.38	5.81	5.81
J-11	3,242.00	3,246.72	3,233.20	4.71	-8.78	4.71	4.71
J-12	3,242.00	3,245.48	3,234.08	3.48	-7.90	3.47	3.47
J-13	3,242.00	3,245.08	3,234.43	3.07	-7.56	3.07	3.07
J-14	3,243.00	3,244.68	3,234.77	1.68	-8.22	1.68	1.68
J-15	3,243.00	3,244.52	3,234.90	1.52	-8.09	1.52	1.52
J-16	3,243.09	3,244.17	3,235.10	1.07	-7.97	1.07	1.07
J-17	3,243.13	3,244.10	3,235.15	0.97	-7.97	0.97	0.97
J-18	3,243.15	3,244.05	3,235.19	0.90	-7.95	0.90	0.90
J-20	3,242.25	3,242.79	3,235.88	0.53	-6.36	0.53	0.53
J-22	3,241.55	3,242.01	3,236.31	0.45	-5.23	0.45	0.45
J-21	3,241.95	3,242.36	3,236.12	0.41	-5.82	0.40	0.40
J-19	3,243.00	3,243.35	3,235.57	0.35	-7.41	0.34	0.34
J-23	3,240.97	3,241.31	3,236.73	0.34	-4.24	0.34	0.34
J-26	3,240.01	3,240.27	3,237.43	0.26	-2.57	0.26	0.26
J-24	3,241.00	3,241.05	3,236.89	0.05	-4.10	0.05	0.05
J-25	3,240.89	3,240.93	3,236.98	0.04	-3.91	0.04	0.04
J-27	3,239.00	3,238.99	3,238.45	-0.01	-0.55	-0.06	-0.06
J-28	3,240.00	3,238.92	3,238.51	-1.08	-1.49	-1.12	-1.12

Reporte De Tuberías – Con Elementos De Protección

**HIERRRO DUCTIL – DN 200MM**

**Flexible Pipe Table**

Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	Ductile Iron	2.48	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.03	-1.18	9.08	3,251.08
J-17	J-18	Ductile Iron	6.60	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.07	-3.28	2.43	3,245.57
J-27	J-28	Ductile Iron	6.88	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.07	-1.41	0.15	3,239.15
J-1	J-2	Ductile Iron	7.20	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.07	22.12	34.22	3,253.28
J-16	J-17	Ductile Iron	7.62	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.08	-3.26	2.55	3,245.65
J-9	J-10	Ductile Iron	8.21	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.08	-1.33	8.36	3,250.38
J-2	J-3	Ductile Iron	14.10	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.15	22.12	34.14	3,253.21
J-24	J-25	Ductile Iron	15.30	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.16	-1.79	0.69	3,241.69
J-8	J-9	Ductile Iron	16.77	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.17	-1.32	8.54	3,250.55
J-28	R-3	Ductile Iron	19.67	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.20	-1.41	0.00	3,239.05
J-14	J-15	Ductile Iron	19.91	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.21	-3.03	3.30	3,246.31
J-23	J-24	Ductile Iron	31.90	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.33	-1.79	1.04	3,242.02
J-4	J-5	Ductile Iron	34.57	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.36	4.94	32.69	3,252.46
J-21	J-22	Ductile Iron	43.33	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.45	-2.46	1.40	3,243.35
J-15	J-16	Ductile Iron	43.93	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.45	-3.20	3.10	3,246.10
J-7	J-8	Ductile Iron	47.97	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.49	-1.29	9.08	3,251.05
J-13	J-14	Ductile Iron	48.46	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.50	-3.00	4.80	3,246.81
J-12	J-13	Ductile Iron	50.05	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.52	-1.91	5.31	3,247.32
J-20	J-21	Ductile Iron	53.04	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.55	-2.67	1.64	3,243.89
J-3	J-4	Ductile Iron	58.87	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.61	21.29	34.07	3,253.07
J-19	J-20	Ductile Iron	69.20	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.71	-3.29	1.64	3,244.61
J-25	J-26	Ductile Iron	81.67	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.84	-1.71	0.68	3,241.53
J-22	J-23	Ductile Iron	85.65	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.88	-2.13	1.35	3,242.90
J-18	J-19	Ductile Iron	86.81	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.89	-3.29	2.35	3,245.50
J-5	J-6	Ductile Iron	99.95	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	1.03	-1.18	16.05	3,252.10
J-10	J-11	Ductile Iron	135.76	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	1.40	-1.57	8.28	3,250.30
J-11	J-12	Ductile Iron	152.80	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	1.58	-1.83	6.88	3,248.90
J-26	J-27	Ductile Iron	163.85	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	1.69	-0.97	0.68	3,240.69
R-1	PMP-1	Ductile Iron	6.75	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.07	-1.37	0.00	3,217.91
PMP-1	J-1	Ductile Iron	8.38	200.0	130.0	1,274.85	34	1.33	0.09	22.12	34.30	3,253.37
J-1	HT-1	Ductile Iron	8.07	200.0	130.0	1,274.85	0	0.00	0.00	22.11	34.22	3,253.28



PVC- U – DN 200MM

FlexTable: Pipe Table												
Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	PVC.U	2.48	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.03	-1.74	9.07	3,251.06
J-17	J-18	PVC.U	6.60	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.07	-3.59	2.49	3,245.63
J-27	J-28	PVC.U	6.88	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.07	-1.31	0.13	3,239.13
J-1	J-2	PVC.U	7.20	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.07	21.46	34.21	3,253.28
J-16	J-17	PVC.U	7.62	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.08	-3.57	2.55	3,245.65
J-9	J-10	PVC.U	8.21	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.08	-1.86	8.35	3,250.37
J-2	J-3	PVC.U	14.10	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.15	21.46	34.13	3,253.20
J-24	J-25	PVC.U	15.30	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.16	-1.92	0.80	3,241.80
J-8	J-9	PVC.U	16.77	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.17	-1.85	8.53	3,250.54
J-28	R-3	PVC.U	19.67	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.20	-1.31	0.00	3,239.07
J-14	J-15	PVC.U	19.91	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.21	-3.37	3.29	3,246.30
J-23	J-24	PVC.U	31.90	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.33	-1.92	1.14	3,242.11
J-4	J-5	PVC.U	34.57	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.36	4.32	32.68	3,252.45
J-21	J-22	PVC.U	43.33	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.45	-2.66	1.49	3,243.44
J-15	J-16	PVC.U	43.93	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.45	-3.52	3.09	3,246.09
J-7	J-8	PVC.U	47.97	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.49	-1.82	9.07	3,251.04
J-13	J-14	PVC.U	48.46	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.50	-3.35	4.79	3,246.80
J-12	J-13	PVC.U	50.05	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.52	-2.29	5.31	3,247.32
J-20	J-21	PVC.U	53.04	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.55	-2.90	1.68	3,243.94
J-3	J-4	PVC.U	58.87	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.61	20.66	34.06	3,253.06
J-19	J-20	PVC.U	69.20	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.71	-3.55	1.71	3,244.67
J-25	J-26	PVC.U	81.67	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.84	-1.83	0.80	3,241.64
J-22	J-23	PVC.U	85.65	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.88	-2.32	1.44	3,242.99
J-18	J-19	PVC.U	86.81	184.6	150.0	345.37	39	1.53	0.89	-3.59	2.39	3,245.54
J-5	J-6	PVC.U	99.95	184.6	150.0	345.37	39	1.53	1.03	-1.74	16.04	3,252.09
J-10	J-11	PVC.U	135.76	184.6	150.0	345.37	39	1.53	1.40	-2.03	8.27	3,250.29
J-11	J-12	PVC.U	152.80	184.6	150.0	345.37	39	1.53	1.57	-2.22	6.87	3,248.89
J-26	J-27	PVC.U	163.85	184.6	150.0	345.37	39	1.53	1.69	-1.05	0.79	3,240.80
R-1	PMP-1	PVC.U	6.75	184.6	150.0	345.37	34	1.32	0.05	-1.54	0.00	3,217.91
PMP-1	J-1	PVC.U	8.38	184.6	150.0	345.37	34	1.32	0.07	21.46	34.27	3,253.34
J-1	HT-1	PVC.U	8.07	184.6	150.0	345.37	-5	0.29	0.00	21.47	34.21	3,253.28

HDPE – DN 200MM

FlexTable: Pipe Table												
Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	HDPE	2.48	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.03	-2.31	9.05	3,251.05
J-17	J-18	HDPE	6.60	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.07	-3.90	2.42	3,245.55
J-27	J-28	HDPE	6.88	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.07	-1.52	-0.01	3,239.00
J-1	J-2	HDPE	7.20	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.07	20.78	34.19	3,253.26
J-16	J-17	HDPE	7.62	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.08	-3.88	2.54	3,245.63
J-9	J-10	HDPE	8.21	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.08	-2.40	8.34	3,250.36
J-2	J-3	HDPE	14.10	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.15	20.78	34.11	3,253.18
J-24	J-25	HDPE	15.30	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.16	-2.05	0.68	3,241.68
J-8	J-9	HDPE	16.77	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.17	-2.39	8.51	3,250.53
J-28	R-3	HDPE	19.67	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.20	-1.52	0.00	3,238.94
J-14	J-15	HDPE	19.91	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.20	-3.71	3.28	3,246.29
J-23	J-24	HDPE	31.90	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.33	-2.05	1.04	3,242.01
J-4	J-5	HDPE	34.57	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.36	3.71	32.66	3,252.43
J-21	J-22	HDPE	43.33	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.45	-2.87	1.38	3,243.34
J-15	J-16	HDPE	43.93	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.45	-3.84	3.08	3,246.08
J-7	J-8	HDPE	47.97	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.49	-2.37	9.05	3,251.02
J-13	J-14	HDPE	48.46	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.50	-3.70	4.78	3,246.79
J-12	J-13	HDPE	50.05	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.51	-2.67	5.29	3,247.30
J-20	J-21	HDPE	53.04	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.55	-3.13	1.63	3,243.88
J-3	J-4	HDPE	58.87	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.61	20.02	34.04	3,253.04
J-19	J-20	HDPE	69.20	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.71	-3.83	1.63	3,244.59
J-25	J-26	HDPE	81.67	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.84	-1.96	0.67	3,241.52
J-22	J-23	HDPE	85.65	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.88	-2.51	1.34	3,242.89
J-18	J-19	HDPE	86.81	176.2	150.0	300.73	47	1.59	0.89	-3.90	2.33	3,245.48
J-5	J-6	HDPE	99.95	176.2	150.0	300.73	47	1.59	1.03	-2.31	16.02	3,252.08
J-10	J-11	HDPE	135.76	176.2	150.0	300.73	47	1.59	1.40	-2.51	8.25	3,250.27
J-11	J-12	HDPE	152.80	176.2	150.0	300.73	47	1.59	1.57	-2.63	6.86	3,248.88
J-26	J-27	HDPE	163.85	176.2	150.0	300.73	47	1.59	1.69	-1.14	0.67	3,240.68
R-1	PMP-1	HDPE	6.75	176.2	150.0	300.73	34	1.16	0.04	-1.47	0.00	3,217.89
PMP-1	J-1	HDPE	8.38	176.2	150.0	300.73	34	1.16	0.05	20.78	34.24	3,253.30
J-1	HT-1	HDPE	8.07	176.2	150.0	300.73	-13	0.69	0.02	20.78	34.21	3,253.28

LINEA DE IMPULSION FINAL.wtg  
24/06/2023

Bentley Systems, Inc. Haestad Methods Solution Center  
27 Siemon Company Drive Suite 200 W Watertown, CT 06795 USA +1-203-755-1666

HAMMER  
[10.02.02.06]  
Page 1 of 1

PVC- O – DN 200MM

**FlexTable: Pipe Table**

Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Head (Maximum, Transient) (m)
J-6	J-7	PVC-O C500	2.48	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.03	-2.24	9.07	3,251.06
J-17	J-18	PVC-O C500	6.60	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.07	-3.87	2.43	3,245.56
J-27	J-28	PVC-O C500	6.88	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.07	-1.58	0.04	3,239.04
J-1	J-2	PVC-O C500	7.20	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.07	20.87	34.21	3,253.27
J-16	J-17	PVC-O C500	7.62	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.08	-3.84	2.54	3,245.64
J-9	J-10	PVC-O C500	8.21	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.08	-2.33	8.35	3,250.37
J-2	J-3	PVC-O C500	14.10	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.15	20.87	34.13	3,253.20
J-24	J-25	PVC-O C500	15.30	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.16	-2.03	0.68	3,241.68
J-8	J-9	PVC-O C500	16.77	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.17	-2.32	8.53	3,250.54
J-28	R-3	PVC-O C500	19.67	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.20	-1.58	0.00	3,238.98
J-14	J-15	PVC-O C500	19.91	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.21	-3.67	3.29	3,246.30
J-23	J-24	PVC-O C500	31.90	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.33	-2.03	1.04	3,242.01
J-4	J-5	PVC-O C500	34.57	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.36	3.79	32.68	3,252.45
J-21	J-22	PVC-O C500	43.33	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.45	-2.85	1.39	3,243.34
J-15	J-16	PVC-O C500	43.93	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.45	-3.80	3.09	3,246.09
J-7	J-8	PVC-O C500	47.97	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.49	-2.31	9.07	3,251.04
J-13	J-14	PVC-O C500	48.46	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.50	-3.66	4.79	3,246.80
J-12	J-13	PVC-O C500	50.05	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.52	-2.62	5.30	3,247.31
J-20	J-21	PVC-O C500	53.04	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.55	-3.10	1.63	3,243.89
J-3	J-4	PVC-O C500	58.87	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.61	20.10	34.06	3,253.05
J-19	J-20	PVC-O C500	69.20	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.71	-3.79	1.63	3,244.60
J-25	J-26	PVC-O C500	81.67	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.84	-1.94	0.68	3,241.53
J-22	J-23	PVC-O C500	85.65	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.88	-2.48	1.34	3,242.90
J-18	J-19	PVC-O C500	86.81	191.2	150.0	293.90	46	1.59	0.89	-3.87	2.34	3,245.49
J-5	J-6	PVC-O C500	99.95	191.2	150.0	293.90	46	1.59	1.03	-2.24	16.03	3,252.09
J-10	J-11	PVC-O C500	135.76	191.2	150.0	293.90	46	1.59	1.40	-2.44	8.27	3,250.29
J-11	J-12	PVC-O C500	152.80	191.2	150.0	293.90	46	1.59	1.57	-2.58	6.87	3,248.89
J-26	J-27	PVC-O C500	163.85	191.2	150.0	293.90	46	1.59	1.69	-1.12	0.68	3,240.68
R-1	PMP-1	PVC-O C500	6.75	191.2	150.0	293.90	34	1.18	0.04	-1.55	0.00	3,217.91
PMP-1	J-1	PVC-O C500	8.38	191.2	150.0	293.90	34	1.18	0.05	20.87	34.25	3,253.32
J-1	HT-1	PVC-O C500	8.07	191.2	150.0	293.90	-12	0.41	0.01	20.87	34.21	3,253.28

Reporte De Juntion – Con Elementos De Protección

**HIERRRO DUCTIL – DN 200MM**

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,253.28	3,241.18	34.22	22.13	34.21	34.21
J-2	3,219.00	3,253.21	3,241.17	34.14	22.12	34.14	34.14
J-3	3,218.93	3,253.07	3,241.14	34.07	22.17	34.06	34.06
J-4	3,219.70	3,252.46	3,241.04	32.69	21.29	32.68	32.68
J-5	3,236.03	3,252.10	3,240.98	16.05	4.94	16.04	16.04
J-6	3,241.98	3,251.08	3,240.80	9.08	-1.18	9.07	9.07
J-7	3,241.95	3,251.05	3,240.79	9.08	-1.16	9.07	9.07
J-8	3,242.00	3,250.55	3,240.71	8.54	-1.29	8.53	8.53
J-9	3,242.00	3,250.38	3,240.68	8.36	-1.32	8.36	8.36
J-10	3,242.00	3,250.30	3,240.67	8.28	-1.33	8.27	8.27
J-11	3,242.00	3,248.90	3,240.43	6.88	-1.57	6.88	6.88
J-12	3,242.00	3,247.32	3,240.16	5.31	-1.83	5.30	5.30
J-13	3,242.00	3,246.81	3,240.08	4.80	-1.91	4.79	4.79
J-14	3,243.00	3,246.31	3,239.99	3.30	-3.00	3.29	3.29
J-15	3,243.00	3,246.10	3,239.96	3.10	-3.03	3.09	3.09
J-16	3,243.09	3,245.65	3,239.89	2.55	-3.20	2.54	2.54
J-17	3,243.13	3,245.57	3,239.87	2.43	-3.26	2.43	2.43
J-18	3,243.15	3,245.50	3,239.86	2.35	-3.28	2.34	2.34
J-20	3,242.25	3,243.89	3,239.58	1.64	-2.67	1.63	1.63
J-19	3,243.00	3,244.61	3,239.71	1.60	-3.29	1.60	1.60
J-21	3,241.95	3,243.35	3,239.49	1.40	-2.46	1.39	1.39
J-22	3,241.55	3,242.90	3,239.41	1.35	-2.13	1.34	1.34
J-23	3,240.97	3,242.02	3,239.27	1.04	-1.70	1.04	1.04
J-24	3,241.00	3,241.69	3,239.20	0.69	-1.79	0.68	0.68
J-26	3,240.01	3,240.69	3,239.04	0.68	-0.97	0.68	0.68
J-25	3,240.89	3,241.53	3,239.17	0.64	-1.71	0.63	0.63
J-27	3,239.00	3,239.15	3,238.66	0.15	-0.34	-0.01	-0.01
J-28	3,240.00	3,239.05	3,238.59	-0.95	-1.41	-1.08	-1.08

PVC- U – DN 200MM

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,253.28	3,240.51	34.21	21.47	34.21	34.21
J-2	3,219.00	3,253.20	3,240.50	34.13	21.46	34.13	34.13
J-3	3,218.93	3,253.06	3,240.48	34.06	21.51	34.06	34.06
J-4	3,219.70	3,252.45	3,240.41	32.68	20.66	32.68	32.68
J-5	3,236.03	3,252.09	3,240.36	16.04	4.32	16.03	16.03
J-7	3,241.95	3,251.04	3,240.23	9.07	-1.72	9.07	9.07
J-6	3,241.98	3,251.06	3,240.23	9.07	-1.74	9.07	9.07
J-8	3,242.00	3,250.54	3,240.17	8.53	-1.82	8.53	8.53
J-9	3,242.00	3,250.37	3,240.15	8.35	-1.85	8.35	8.35
J-10	3,242.00	3,250.29	3,240.14	8.27	-1.86	8.27	8.27
J-11	3,242.00	3,248.89	3,239.97	6.87	-2.03	6.87	6.87
J-12	3,242.00	3,247.32	3,239.77	5.31	-2.22	5.30	5.30
J-13	3,242.00	3,246.80	3,239.71	4.79	-2.29	4.79	4.79
J-14	3,243.00	3,246.30	3,239.65	3.29	-3.35	3.29	3.29
J-15	3,243.00	3,246.09	3,239.62	3.09	-3.37	3.09	3.09
J-16	3,243.09	3,245.65	3,239.57	2.55	-3.52	2.54	2.54
J-17	3,243.13	3,245.63	3,239.56	2.49	-3.57	2.42	2.42
J-18	3,243.15	3,245.54	3,239.55	2.39	-3.59	2.34	2.34
J-20	3,242.25	3,243.94	3,239.35	1.68	-2.90	1.63	1.63
J-19	3,243.00	3,244.67	3,239.44	1.67	-3.55	1.60	1.60
J-21	3,241.95	3,243.44	3,239.28	1.49	-2.66	1.39	1.39
J-22	3,241.55	3,242.99	3,239.22	1.44	-2.32	1.34	1.34
J-23	3,240.97	3,242.11	3,239.12	1.14	-1.85	1.04	1.04
J-24	3,241.00	3,241.80	3,239.08	0.80	-1.92	0.68	0.68
J-26	3,240.01	3,240.80	3,238.95	0.79	-1.05	0.67	0.67
J-25	3,240.89	3,241.64	3,239.06	0.75	-1.83	0.63	0.63
J-27	3,239.00	3,239.13	3,238.74	0.13	-0.26	-0.01	-0.01
J-28	3,240.00	3,239.07	3,238.69	-0.93	-1.31	-1.08	-1.08

HDPE – DN 200MM

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,253.26	3,239.83	34.19	20.78	34.19	34.19
J-2	3,219.00	3,253.18	3,239.82	34.11	20.78	34.11	34.11
J-3	3,218.93	3,253.04	3,239.81	34.04	20.84	34.04	34.04
J-4	3,219.70	3,252.43	3,239.77	32.66	20.02	32.66	32.66
J-5	3,236.03	3,252.08	3,239.74	16.02	3.71	16.02	16.02
J-7	3,241.95	3,251.02	3,239.66	9.05	-2.28	9.05	9.05
J-6	3,241.98	3,251.05	3,239.66	9.05	-2.31	9.05	9.05
J-8	3,242.00	3,250.53	3,239.62	8.51	-2.37	8.51	8.51
J-9	3,242.00	3,250.36	3,239.61	8.34	-2.39	8.34	8.34
J-10	3,242.00	3,250.27	3,239.60	8.25	-2.40	8.25	8.25
J-11	3,242.00	3,248.88	3,239.49	6.86	-2.51	6.86	6.86
J-12	3,242.00	3,247.30	3,239.37	5.29	-2.63	5.29	5.29
J-13	3,242.00	3,246.79	3,239.33	4.78	-2.67	4.78	4.78
J-14	3,243.00	3,246.29	3,239.29	3.28	-3.70	3.28	3.28
J-15	3,243.00	3,246.08	3,239.28	3.08	-3.71	3.08	3.08
J-16	3,243.09	3,245.63	3,239.24	2.54	-3.84	2.53	2.53
J-17	3,243.13	3,245.55	3,239.24	2.42	-3.88	2.42	2.42
J-18	3,243.15	3,245.48	3,239.24	2.33	-3.90	2.33	2.33
J-20	3,242.25	3,243.88	3,239.11	1.63	-3.13	1.62	1.62
J-19	3,243.00	3,244.59	3,239.17	1.59	-3.83	1.59	1.59
J-21	3,241.95	3,243.34	3,239.07	1.38	-2.87	1.38	1.38
J-22	3,241.55	3,242.89	3,239.04	1.34	-2.51	1.33	1.33
J-23	3,240.97	3,242.01	3,238.97	1.04	-2.00	1.03	1.03
J-24	3,241.00	3,241.68	3,238.94	0.68	-2.05	0.68	0.68
J-26	3,240.01	3,240.68	3,238.86	0.67	-1.14	0.67	0.67
J-25	3,240.89	3,241.52	3,238.93	0.63	-1.96	0.63	0.63
J-27	3,239.00	3,239.00	3,238.54	-0.01	-0.45	-0.01	-0.01
J-28	3,240.00	3,238.94	3,238.47	-1.06	-1.52	-1.08	-1.08

PVC- O – DN 200MM

**FlexTable: Junction Table**

Label	Elevation (m)	Head (Maximum, Transient) (m)	Head (Minimum, Transient) (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
J-1	3,219.00	3,253.27	3,239.91	34.21	20.87	34.20	34.20
J-2	3,219.00	3,253.20	3,239.91	34.13	20.87	34.13	34.13
J-3	3,218.93	3,253.05	3,239.90	34.06	20.93	34.06	34.06
J-4	3,219.70	3,252.45	3,239.84	32.68	20.10	32.68	32.68
J-5	3,236.03	3,252.09	3,239.82	16.03	3.79	16.03	16.03
J-7	3,241.95	3,251.04	3,239.73	9.07	-2.22	9.07	9.07
J-6	3,241.98	3,251.06	3,239.73	9.07	-2.24	9.07	9.07
J-8	3,242.00	3,250.54	3,239.69	8.53	-2.31	8.52	8.52
J-9	3,242.00	3,250.37	3,239.67	8.35	-2.32	8.35	8.35
J-10	3,242.00	3,250.29	3,239.67	8.27	-2.33	8.27	8.27
J-11	3,242.00	3,248.89	3,239.55	6.87	-2.44	6.87	6.87
J-12	3,242.00	3,247.31	3,239.42	5.30	-2.58	5.30	5.30
J-13	3,242.00	3,246.80	3,239.38	4.79	-2.62	4.79	4.79
J-14	3,243.00	3,246.30	3,239.34	3.29	-3.66	3.29	3.29
J-15	3,243.00	3,246.09	3,239.32	3.09	-3.67	3.08	3.08
J-16	3,243.09	3,245.64	3,239.28	2.54	-3.80	2.54	2.54
J-17	3,243.13	3,245.56	3,239.28	2.43	-3.84	2.42	2.42
J-18	3,243.15	3,245.49	3,239.27	2.34	-3.87	2.34	2.34
J-20	3,242.25	3,243.89	3,239.14	1.63	-3.10	1.63	1.63
J-19	3,243.00	3,244.60	3,239.20	1.60	-3.79	1.59	1.59
J-21	3,241.95	3,243.34	3,239.10	1.39	-2.85	1.39	1.39
J-22	3,241.55	3,242.90	3,239.06	1.34	-2.48	1.34	1.34
J-23	3,240.97	3,242.01	3,238.99	1.04	-1.98	1.04	1.04
J-24	3,241.00	3,241.68	3,238.96	0.68	-2.03	0.68	0.68
J-26	3,240.01	3,240.68	3,238.88	0.68	-1.12	0.67	0.67
J-25	3,240.89	3,241.53	3,238.95	0.63	-1.94	0.63	0.63
J-27	3,239.00	3,239.04	3,238.49	0.04	-0.51	-0.01	-0.01
J-28	3,240.00	3,238.98	3,238.42	-1.02	-1.58	-1.08	-1.08

# Anexo 10. Plano de proyecto de estudio

