



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Obras Civiles

ESTUDIO ANALÍTICO DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE EN PLANTAS ELEVADORAS DE AGUA CON BAJA INERCIA

Memoria de Título presentada por

Manuel Ignacio Aguilera Vera

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Vivian Aranda Núñez

noviembre de 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: "Estudio Analítico del Fenómeno de Golpe de Ariete en Plantas Elevadoras de Agua con Baja Inercia"

Nombre del candidato(a): Manuel Ignacio Aguilera Vera

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: Casa Central Valparaiso; Departamento: Ingeniería Civil

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Vivian Clarisa Aranda Núñez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12/08/2025 ; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12/08/2025 ; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

TITULO DE LA TESIS:

**ESTUDIO ANALÍTICO DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE EN
PLANTAS ELEVADORAS DE AGUA CON BAJA INERCIA**

AUTOR:

MANUEL IGNACIO AGUILERA VERA

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Vivian Aranda Núñez

Pedro Kamann Chacana

Valparaíso, Chile, noviembre de 2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

Glosario	8
Resumen	10
1 Introducción.....	10
2 Objetivos	11
2.1 Objetivo Principal.....	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 Metodología.....	11
3.1 Actividades del Objetivo Específico I.....	11
3.2 Actividades del Objetivo Específico II.....	12
3.3 Actividades del Objetivo Específico III	12
3.4 Actividades del Objetivo Específico IV	12
3.5 Plan de Trabajo.....	12
4 Estudio del Fenómeno de Transiente Hidráulico	13
4.1 Principio de Conservación de Energía	13
4.1.1 Propiedades de Tuberías de PVC	14
4.1.2 Propiedades de Tuberías de Acero	14
4.1.3 Propiedades de Tuberías de HDPE.....	15
4.2 Pérdidas de Carga.....	15
4.2.1 Pérdidas por Fricción.....	15
4.2.2 Pérdidas Singulares	15
4.3 Presiones por Golpe de Ariete.....	16
4.3.1 Ecuación Propuesta del fenómeno físico.....	17
4.4 Análisis para el Caso con Tramos de Distintos Materiales	17
4.4.1 Pérdidas de Carga en Tramos con Distintos Materiales	17
4.4.2 Velocidad de Propagación de Onda para cada Tramo.....	18
4.5 Análisis para el Caso de Bomba(s) Sumergida(s)	19
4.5.1 Corrección de Variación del Largo de Desarrollo.....	19
4.5.2 Corrección de Subpresión por Efecto de la Gravedad.....	19
5 Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA)	20
5.1 Ecuación(es) del MRUA	20
6 Resultados y Análisis	21
6.1 Impulsión con un Único Material.....	21
6.1.1 Escenario Base para el Análisis.....	23
6.1.2 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función del Diámetro de Tubería.....	24
6.1.3 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función de la Velocidad del Fluido...	25

6.1.4	Sensibilidad de las supresiones en función del Diámetro de Tubería y Velocidad del Fluido	26
6.1.5	Análisis General de Impulsión con un Único Material	27
6.1.6	Análisis con Diferentes Pendiente.....	29
6.2	Impulsión con Dos Materiales.....	30
6.2.1	Escenario Base para el Análisis.....	31
6.2.2	Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función del Largo Inicial de Acero	32
6.2.3	Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función de la Velocidad del Fluido	34
6.2.1	Sensibilidad de las subpresiones en función del Largo Inicial de Acero y Velocidad del Fluido	35
6.2.2	Análisis General de Impulsión con Dos Materiales	36
6.3	Impulsión con Bomba(s) Sumergida(s).....	39
6.3.1	Escenario Base para el Análisis.....	40
6.3.2	Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función del Diámetro de Tubería.....	41
6.3.3	Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función de la Velocidad del Fluido...	42
6.3.4	Sensibilidad de las subpresiones función del Diámetro de Tubería y Velocidad del Fluido	43
6.3.5	Análisis General de Impulsión con Bomba(s) Sumergida(s)	45
7	Conclusiones y Recomendaciones	47
7.1	Conclusiones	47
7.2	Recomendaciones	48
8	Referencias	49
9	Anexo	50
9.1	Cálculo del Resultado y Análisis.....	50
9.1.1	Tubería de Acero D=140 mm, $C_{HW}=130$ [-].....	50
9.1.2	Tubería de Acero D=140 [mm], $C_{HW}=130$ [-] L=5 m y Tubería de PVC 148,4 [mm], $C_{HW}=150$ [-].....	56
9.1.3	Tubería de Acero D=140 mm, $C_{HW}=130$ [-] con bomba sumergida	65
9.2	Tabla Resumen Variación del Largo.....	74
9.2.1	Variación del Largo de diferentes materiales	75
9.2.2	Variación del Largo de 2 materiales diferentes de la tubería	81
9.2.3	Variaciones del Largo de la bomba sumergida	86
9.3	Tabla Resumen Subpresión de 0,5 km	92
9.3.1	Subpresiones de diferentes materiales.....	92
9.3.2	Subpresiones de 2 materiales diferentes de tubería.....	96
9.3.3	Subpresiones de la bomba sumergida.....	103
9.4	Resultados Subpresión Allievi	107
9.5	Velocidad de Propagación y Subpresiones.....	110

9.5.1	Datos.....	110
9.5.2	Velocidad de Propagación.....	110
9.5.3	Subpresiones.....	117
9.6	Velocidad de Propagación y Subpresiones propuestas.....	126
9.6.1	Caso diferentes perfiles de velocidad del Acero-PVC D1=72 [mm] y D2=69,4 [mm]	126
9.6.2	Caso diferentes perfiles de velocidad del Acero-PVC D1=249 [mm] y D2=232 [mm] ...	137
9.6.3	Caso diferentes perfiles de velocidad del Acero-PVC D1=552 [mm] y D2=584 [mm] ...	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de diferentes diámetros de tuberías de PVC. (Fuente: Catálogo Técnico de Tuberías de PVC JORVEX ISO 9001.).....	14
Tabla 2: Valores de diferentes diámetros de tuberías de acero. (Fuente: Catálogo Técnico.....)	14
Tabla 3: Valores de diferentes diámetros de tuberías de HDPE. (Fuente: Catálogo Técnico Tuberías Lisas HDPE CIDELSA.).....	15
Tabla 4: Coeficientes de Hazen Williams de diferentes materiales. Fuente: Elaboración Propia.....	15
Tabla 5: Valores de Módulo de elasticidad del polietileno frente a diferentes materiales. Fuente: (Johana León Castellanos, 2012).....	18
Tabla 6: Resumen de las características de la tubería de Acero D=140 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	23
Tabla 7: Resumen de variación del largo, tiempo y subpresión con diferente velocidad, material y diámetro, L=0.5 [km], n=100 [-]. Fuente: Elaboración Propia.....	29
Tabla 8: Resumen de las características de la tubería de PVC D=148.4 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	32
Tabla 9: Resumen de las características de la tubería de Acero D=140 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	32
Tabla 10: Resumen de las características de la tubería de Acero D=140 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	40

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil de Velocidad a lo largo de la impulsión de Acero, D=140 [mm]; v=1.5 [m/s]; n=100. Fuente: Elaboración Propia.....	24
Gráfico 2: Variación del largo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería, n=100 [-], v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	25
Gráfico 3: Variación del tiempo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería comercial, n=100 [-], v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	25
Gráfico 4: Variación del largo en diferentes velocidades iniciales de diferentes materiales, n=100 [-], DN= {140; 141; 148.4} [mm]. Fuente: Elaboración Propia.....	26
Gráfico 5: Variación del tiempo en diferentes velocidades iniciales de diferentes materiales, n=100 [-], DN= {140; 141; 148.4} [mm]. Fuente: Elaboración Propia.....	26

Gráfico 6: Máximos valores de subpresiones en diferentes diámetros de la tubería en diferentes materiales, $L= 0.5$ [km], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	27
Gráfico 7: Máximos valores de subpresiones en diferentes diámetros de la tubería en diferentes materiales, $L=0.5$ [km], $n=100$ [-], $DN= \{ 140; 141; 148.4 \}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.	27
Gráfico 8: Comportamiento de la Subpresión según la aceleración del sistema v/s perfiles de velocidades del acero, $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	29
Gráfico 9: Perfil de Velocidad a lo largo de la impulsión de PVC-Acero, $v=1.5$ [m/s]; $n=100$. Fuente: Elaboración Propia.....	32
Gráfico 10: Variación del largo en diferentes largos efectivos del Material 1 en diferentes combinaciones, $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	33
Gráfico 11: Variación del tiempo final en diferentes largos efectivos del Material 1 en diferentes combinaciones, $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.	33
Gráfico 12: Variación del Largo en diferentes velocidades iniciales con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5$ [m], $n= 100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.	34
Gráfico 13: Variación del tiempo en diferentes velocidades iniciales con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5$ [m], $n= 100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.	35
Gráfico 14: Máximos valores de subpresiones en diferentes variaciones del largo con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5$ [m], $n= 100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.	36
Gráfico 15: Máximos valores de subpresiones en diferentes velocidades con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5$ [m], $n= 100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.	36
Gráfico 16: Comportamiento de la Subpresión según la aceleración del sistema v/s perfiles de velocidades del acero, $L=0.5$ [km], $L_{m1}= 5$ [m], $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	37
Gráfico 17: Perfil de velocidad de propagación v/s variación del largo. Fuente: Elaboración Propia.....	38
Gráfico 18: Subpresiones Allievi con los valores de velocidad de propagación v/s la variación del largo. Fuente: Elaboración Propia.	38
Gráfico 19: Perfil de Velocidad a lo largo de la impulsión de Acero, $L_s= 50$ [m], $D= 140$ [mm]; $v= 1.5$ [m/s]; $n= 100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.....	41
Gráfico 20: Variación del largo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería, $L_s=50$ [m], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	41
Gráfico 21: Variación del tiempo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería, $L_s= 50$ [m], $n= 100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.	42
Gráfico 22: Variación del Largo de diferentes velocidades iniciales con diferentes materiales, $L_s= 50$ [m], $n= 100$ [-], $DN= \{ 140; 141; 148.4 \}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.	42
Gráfico 23: Variación del tiempo de diferentes velocidades iniciales con diferentes materiales, $L_s= 50$ [m], $n= 100$ [-], $DN= \{ 140; 141; 148.4 \}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.	43
Gráfico 24: Máximas subpresiones de diferentes diámetros de tubería con diferentes materiales, $L_s=50$ [m], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Gráfico 25: Máximas subpresiones de diferentes velocidades iniciales con diferentes materiales, $L_s= 50$ [m], $n= 100$ [-], $DN= \{ 140; 141; 148.4 \}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Gráfico 26: Comportamiento de la Subpresión según la aceleración del sistema v/s perfiles de velocidades del acero, $L_s= 50$ [m], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.	45
Gráfico 27: Balance de fuerzas del movimiento del agua (azul) v/s el peso de la columna de agua (rojo) por medio de la variación del largo, $L_s=50$ [m], $D= 140$ [mm], $n= 100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.	46
Gráfico 28: Balance de fuerzas del movimiento del agua (azul) v/s el peso de la columna de agua (rojo) por medio de la variación del tiempo, $L_s=50$ [m], $D= 140$ [mm], $n= 100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.	46
Gráfico 29: Velocidad de propagación Acero-PVC $D1=72$ [mm] y $D2=69,4$ [mm] en variación de largo y perfil de velocidad. Fuente: Elaboración Propia.	126
Gráfico 30: Subpresiones de Allievi con las velocidades de propagación propuesta Acero-PVC $D1=72$ [mm] y $D2=69,4$ [mm] en diferentes parámetros. Fuente: Elaboración Propia.	127

Gráfico 31: Velocidad de propagación Acero-PVC D1=249 [mm] y D2=232 [mm] en variación de largo y perfil de velocidad. Fuente: Elaboración Propia.	137
Gráfico 32: Subpresiones de Allievi con las velocidades de propagación propuesta Acero-PVC D1=249 [mm] y D2=232 [mm] en diferentes parámetros. Fuente: Elaboración Propia.	138
Gráfico 33: Velocidad de propagación Acero-PVC D1=552 [mm] y D2=584 [mm] en variación de largo y perfil de velocidad. Fuente: Elaboración Propia.	148
Gráfico 34: Subpresiones de Allievi con las velocidades de propagación propuesta Acero-PVC D1=552 [mm] y D2=584 [mm] en diferentes parámetros. Fuente: Elaboración Propia.	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de análisis con pendiente. Fuente: Elaboración Propia.	22
Figura 2: Diagrama del análisis con diferentes materiales. Fuente: Elaboración Propia.	31
Figura 3: Propuesta de los casos para experimentar los casos analizados. Fuente: Elaboración Propia....	48

Glosario

A	Área interior de la tubería en [m ²].
a	Velocidad de propagación de la onda por la tubería en [m/s].
\vec{a}	Aceleración entre dos puntos de análisis en [m/s ²].
$a_{m_{1,2}}$	Velocidad de propagación de onda correspondiente al material 1 y 2 del elemento en [m/s].
a_T	Velocidad de propagación de onda equivalente del elemento analizado en [m/s].
C_{HW}	Coficiente de pérdidas de Hazen-Williams en unidades adimensionales [1].
C_{HW,m_1}	Coficiente de pérdidas de Hazen-Williams del material 1 o el material que se ubica cerca de la bomba (mostrado en la Figura 1) en unidad adimensional [1].
C_{HW,m_2}	Coficiente de pérdidas de Hazen-Williams del material 2 o el material de la impulsión (mostrado en la Figura 1) en unidad adimensional [1].
D	Diámetro de la tubería de impulsión en [m].
D_e	Diámetro exterior de la tubería en [m].
D_i	Diámetro interior de la tubería en [m].
D_{m_1}	Diámetro interior de la conducción del material 1 o el material que se ubica cerca de la bomba (mostrado en la Figura 1) en [m].
D_{m_2}	Diámetro interior de la conducción del material 2 o el material de la impulsión (mostrado en la Figura 1) en unidad adimensional [1].
E	Módulo elasticidad de la tubería en [kg/cm ²].
e	Espesor de la tubería en [m].
F	Fuerza producida por la subpresión del fenómeno en [N].
F_A	Fuerza del movimiento del agua, causado por el golpe ariete en [N].
F_{TH}	Fuerza de la fuerza del transiente hidráulico en [N].
g	Aceleración de gravedad en [m/s ²].
γ	Peso específico del agua en [kg/m ³].
h_f	Pérdidas por fricción en [m].
h_s	Pérdidas singulares en [m].
h_{f+1}	Pérdida por fricción entre el tramo j y $j + 1$ en [m].
h_{s+1}	Pérdida singular entre el tramo j y $j + 1$ en [m].
H	Altura desde el punto de captación hasta el depósito del agua en [m].
ΔH	Presión del transiente hidráulico en [m.c.a].
ΔH_f	Subpresión del golpe ariete propuesta en [m].
ΔH_{fi}	Subpresión del golpe ariete propuesta con pendiente (i) en [m].
ΔH_{fs}	Subpresión del golpe ariete en bomba sumergida propuesta en [m].
i	Pendiente de la tubería entre el largo de la tubería y la variación de altura de los puntos de interés en unidad adimensional [1].
j	Valores de iteraciones entre 1 y n en unidad adimensional [1].

K	Módulo de elasticidad del agua en $[\text{kg}/\text{cm}^2]$.
K_s	Coefficiente de pérdidas singulares según la característica de la impulsión en unidad adimensional [1].
L	Longitud de la tubería en [m].
L'	Largo efectivo de la tubería, que corresponde la diferencia entre el largo de la tubería (L) y la variación del largo entre los puntos de análisis (ΔL) en [m].
L_c	Longitud crítica en [m].
L_H	Longitud horizontal del caso con pendiente en [m].
L_{ij}	Longitud de la tubería de la pendiente del tramo j en [m].
L_s	Longitud vertical de una bomba sumergida en [m].
L_{m1}	Largo del material 1, mostrado en la Figura 1 en [m].
ΔL	Variación del largo entre los dos puntos de análisis en [m].
$\Delta L_{j,j+1}$	Variación del largo del desarrollo del instante j y $j + 1$ en [m].
$\Delta L_{m_{1,2}}$	Variación del largo de desarrollo correspondiente al material 1 o 2, indicado en la Figura 1 del elemento en [m].
ΔL_T	Largo total del elemento analizado en [m].
ΔL_t	Variación del largo de desarrollo total del elemento analizado en [m].
m	Masa total del agua dentro de la tubería en [kg].
n	Número de total de la muestra de los puntos de iteraciones en unidad adimensional [1].
$n\%$	Porcentaje con respecto a la pérdida por fricción en [%] (normalmente 5%).
P	Presión dentro de la tubería en $[\text{N}/\text{m}^2]$.
ρ	Densidad del agua en $[\text{kg}/\text{m}^3]$.
Q	Caudal promedio de la impulsión entre los puntos del tramo analizado en $[\text{m}^3/\text{s}]$.
Q_j	Caudal de impulsión del instante j en $[\text{m}^3/\text{s}]$.
s_n	El razonamiento entre la Fuerza del movimiento del agua (F_A) y la fuerza del transiente hidráulico (F_{TH}) en unidades adimensionales [1].
T	Tiempo de parada o cierre de válvula en [s].
t	Intervalo del tiempo estudiado en [s].
Δt	Variación del tiempo entre los dos puntos de análisis en [s].
V	Volumen interior de la tubería en $[\text{m}^3]$.
v	Velocidad del agua en la tubería en [m/s].
v_f	Velocidad del cuerpo en el instante final en [m/s].
$v_{j,j+1}$	Velocidad del punto de análisis j y $j + 1$ en [m/s].
v_o	Velocidad del cuerpo en el instante inicial $j=0$ en [m/s].
Δv	Variación de velocidad entre los dos puntos de análisis en [m/s].
x	Posición del cuerpo en el instante deseado en [m].
x_0	Posición del cuerpo en el instante inicial en [m].
$z_{j,j+1}$	Cota de la tubería del tramo j y $j + 1$ en [m].

ESTUDIO ANALÍTICO DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE EN PLANTAS ELEVADORAS DE AGUA CON BAJA INERCIA

Manuel Ignacio Aguilera Vera, Vivian Aranda Núñez, Pedro Kamann Chacana

Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

Producto de la deficiente gestión de los recursos hídricos en el país y la crisis climática que ha tenido lugar durante los últimos años, surge la necesidad de optimizar el transporte de agua, ya sea cruda, potable o servida. Frente a este escenario, y con el objetivo de asegurar la conducción del agua, es necesario analizar las impulsiones desde las fuentes de agua hasta estanques de acumulación, cuyo diseño debe considerar el caso más desfavorable desde el punto de vista de las presiones máximas y mínimas, es decir, el escenario de golpe de ariete o transiente hidráulico. Respecto a las bombas utilizadas, el caso más preocupante corresponde a bombas de baja potencia (≤ 30 [kW]) de baja a nula inercia, en particular aquellas de eje vertical o centrifugas, donde el método de las características presenta problemas de aplicación, siendo este el método más utilizado para el análisis del fenómeno de golpe de ariete.

La metodología existente se basa fundamentalmente en un equilibrio entre las fuerzas iniciales y la cantidad de movimiento del fluido, hay parámetros que no son considerados debidamente, tales como la variación del largo de desarrollo del golpe de ariete y la aceleración de gravedad. Dado que este tipo de parámetros no son cuantificados ni evaluados de manera satisfactoria, surge la necesidad de contrastar la metodología existente en base a la teoría de conservación de energía y generar las bases para un posible modelo experimental que permita refinar y corroborar a futuro los valores obtenidos de este análisis teórico.

Por todo lo anterior, nace este estudio analítico del fenómeno de golpe ariete en plantas elevadoras de agua con baja a nula inercia empleando un método físico alternativo.

Palabras claves: Golpe de Ariete, Transiente Hidráulico, Impulsión, Inercia.

1 Introducción

Es innegable la importancia que tiene el transporte de recursos hídricos desde un punto a otro, ya sea agua cruda, potable o servida, para diversas finalidades y usos, tanto domiciliarios, como agrícolas o industriales. En el caso de sistemas con planta elevadora, se considera importante un diseño óptimo para la impulsión que va desde la fuente de agua hasta el punto de descarga, y cuya función es vencer el desnivel topográfico y las pérdidas de carga mediante el uso de un sistema de bombas. Utilizar este tipo de sistemas puede generar situaciones desfavorables desde el punto de vista del fenómeno de golpe de ariete, razón por la cual, es crítico conocer su respuesta dinámica, para prevenir que la variación de presiones frente a este evento pueda llegar a exceder la capacidad de diseño del material y provocar el colapso de la impulsión.

En la actualidad, existen diferentes métodos para analizar este tipo de comportamiento, en particular aquellos que se basan en la aplicación de la Primera Ley de Newton y el supuesto de que el cambio de velocidad en el largo discretizado de análisis, en un tiempo corto, corresponde a la velocidad de propagación del material (Allievi, "Teoría del Golpe D'ariete", 1913). Algunos autores han decidido cuestionar ciertas ecuaciones o expresiones basadas en estos supuestos, generando su propia versión de la dinámica del fenómeno, como es el caso de las expresiones de Mendiluce (J.M. Abreu, 1995).

Por otro lado, uno de los casos más críticos desde el punto de vista del estudio del fenómeno de transiente hidráulico son los sistemas de agua potable en las zonas rurales del país, en donde las plantas

elevadoras atienden a grupos de viviendas y servicios que son administrados por comités o cooperativas de agua potable rural, y en donde los equipos de bombas presentan motores de baja a nula inercia, asociados a una parada rápida en el caso de la caída del sistema eléctrico. Cabe mencionar que las zonas urbanas del país se encuentran dentro del ámbito de concesiones sanitarias y sus equipos de bombeo poseen inercias y potencias altas, por lo cual no son materia del presente estudio.

Por todo lo anterior, nace este estudio analítico del fenómeno de golpe ariete en plantas elevadoras de agua con baja a nula inercia empleando un método físico alternativo.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Principal

El objetivo principal consiste en realizar un análisis teórico acerca del fenómeno de transiente hidráulico en impulsiones de pozos profundos con bombas de inercia baja, para las cuales ocurre el evento de parada o cierre de válvula instantáneo. Mediante el estudio del primer instante en el que ocurre el golpe de ariete, se desea obtener una comprensión más completa acerca del fenómeno, utilizando ecuaciones de energía para definir adecuadamente los parámetros que participan en cada caso particular y comparando las ecuaciones obtenidas con otros métodos analíticos para evaluar su precisión y rango de aplicación.

2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo de título son los siguientes:

- **Objetivo Específico I:** Definir una expresión para la variación del largo de desarrollo del fenómeno, en base a la información recopilada y el desarrollo de ecuaciones dinámicas, para diferentes parámetros (velocidad, diámetro de la tubería, entre otros), considerando el mismo material para toda la tubería.
- **Objetivo Específico II:** Comparar las variaciones de presiones obtenidas mediante diferentes métodos con la variación de presión calculada en base a las expresiones desarrolladas.
- **Objetivo Específico III:** Comparar el valor de la velocidad de propagación, la presión del transiente hidráulico ΔH y variación de largo entre 2 puntos de análisis ΔL para dos materiales distintos, con la expresión anteriormente desarrollada.
- **Objetivo Específico IV:** Definir la expresión de la variación de largo entre 2 puntos de análisis ΔL y la presión del transiente hidráulico ΔH considerando una bomba de eje vertical (pozo).

3 Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos, se debe realizar una revisión bibliográfica constante a lo largo de toda la investigación, por lo que al inicio de cada capítulo se indican las referencias, supuestos y expresiones utilizadas de base según corresponda.

La metodología del presente estudio se compone de las siguientes actividades, organizadas según el objetivo específico al que corresponden:

3.1 Actividades del Objetivo Específico I

Para empezar, se realiza un análisis e iteración de las ecuaciones de energía, variando el punto de evaluación de las expresiones, desde el inicio de la impulsión (bomba) hasta una variación del largo (ΔL), con el fin de obtener el valor más adecuado para la variación del largo entre dos puntos de análisis (ΔL_j) e implementarlo posteriormente en otros métodos analíticos, como Allievi y Horacio Mery.

Adicionalmente, se busca encontrar el punto de análisis que sea más conveniente, iterando en base a la constante de energía en los diferentes puntos de la impulsión hasta llegar al instante en donde la velocidad del fluido llega a cero.

Seguidamente, se evalúan las expresiones hasta el punto de descarga de la impulsión, para visualizar lo que ocurre con el fenómeno en el tiempo, hasta llegar al punto en donde la inercia del fluido deja de influir en la impulsión.

Para ambos casos se planea un análisis de sensibilidad, variando diferentes parámetros para conocer aquellos que incluyen mayormente en la variación del largo de desarrollo del fenómeno.

3.2 Actividades del Objetivo Específico II

Continuando con los resultados obtenidos en Objetivo Específico I, se analiza el impacto de la variación del largo de desarrollo en el cálculo de las subpresiones obtenidas en base a diferentes métodos.

El primer análisis consiste en utilizar expresiones conocidas para calcular las subpresiones en la impulsión y comparar los resultados obtenidos, junto con un gráfico de la línea piezométrica.

El segundo análisis consiste en aplicar las expresiones desarrolladas a partir de la Primera Ley de Newton, sabiendo que la presión se puede definir como la fuerza sobre un área determinada, que este caso es función del diámetro de la tubería, bajo la finalidad de incorporar las características de la tubería al análisis. Finalmente se realiza un gráfico de la línea piezométrica para analizar las diferencias con los otros métodos.

Para ambos casos se considera un análisis de sensibilidad, variando las propiedades de la impulsión para conocer a fondo los parámetros más influyentes en los resultados de cada método.

3.3 Actividades del Objetivo Específico III

Se incorporan dos materiales diferentes en la impulsión, el primer tramo relativamente corto al inicio del trazado (que simula las interconexiones y el tramo inicial en una planta elevadora de aguas) y un segundo tramo más largo hasta la llegada a la descarga de la impulsión (que simula el material principal de la tubería).

El objetivo principal de este análisis es analizar el efecto de asumir la velocidad de propagación total como una ponderación de las velocidades de propagación de cada tramo, reconociendo que la variación del largo se produce en el primer instante del fenómeno, mencionado en Objetivo Específico I, y analizando el impacto del valor de la velocidad de propagación en el régimen transitorio.

Seguidamente, en base a las expresiones determinadas en el Objetivo Específico I y II se introducen las modificaciones pertinentes para considerar el caso de dos materiales.

3.4 Actividades del Objetivo Específico IV

En base a los resultados del Objetivo Específico II y III, se analiza la incidencia de la variación del largo de desarrollo, para la condición de bomba de eje vertical sumergida, adaptando las expresiones obtenidas anteriormente.

Se verificará la ocurrencia del fenómeno de transiente hidráulico en una tubería vertical, aplicando las ecuaciones de cantidad de movimiento del agua. Se compara la aceleración del fluido en el tramo de análisis con la aceleración de gravedad, con el objetivo de confirmar si la aceleración de gravedad es un factor que se debe tomar en consideración para estos casos. Por otra parte, se realiza un balance de fuerzas en la columna de agua, a fin de conocer su comportamiento para el caso de golpe de ariete y así poder realizar un adecuado análisis de los resultados.

3.5 Plan de Trabajo

El plan de trabajo se encuentra dividido en los siguientes puntos:

1. Recopilar, organizar y procesar la información bibliográfica respecto al fenómeno de transiente hidráulico o golpe de ariete.

2. Identificar las variables relevantes, acorde al fenómeno del transiente hidráulico en impulsiones desde una fuente hacia un estanque, para proponer la(s) expresión(es) adecuadas para diferentes parámetros de cálculo, tales como la variación del largo ΔL , la variación de la velocidad Δv , la velocidad de propagación de onda a , el caudal de la impulsión Q y las características físicas de la impulsión.
3. Definir la(s) expresión(es) anteriormente mencionadas de manera teórica.
4. Tomar de referencia diferentes proyectos, catálogos y normas para ingresar valores realistas a las ecuaciones y obtener un análisis teórico más completo de los puntos anteriores.
5. Estimar la variación del largo entre dos puntos de análisis ΔL definido en el punto 3, variando las características de la impulsión.
6. Estimar la variación del largo en diferentes instantes $\Delta L_{j,j+1}$ en base a las expresiones teóricas y ecuaciones conocidas.
7. Determinar la diferencia entre las velocidades de propagación de onda a del caso original y una impulsión con dos materiales diferentes (uno tramo corto de acero y el resto del tramo en HDPE o PVC), en base al impacto de esta variable en los resultados obtenidos.
8. Estimar la presión del transiente hidráulico ΔH considerando diferentes velocidades de propagación de onda mediante las ecuaciones de Allievi y Horacio Mery.
9. Estimar la variación del largo del desarrollo del golpe de ariete entre dos puntos de análisis ΔL con una bomba sumergida, variando las características de la impulsión.
10. Comparar los valores del largo total del elemento analizado ΔL_T con la bomba sumergida y la expresión del punto 5.
11. Comentar con respecto de los resultados obtenidos del análisis.
12. Plantear conclusiones generales con respecto al análisis realizado y recomendaciones al respecto.

4 Estudio del Fenómeno de Transiente Hidráulico

4.1 Principio de Conservación de Energía

Para obtener expresiones generales que definan de manera analítica el fenómeno de golpe de ariete, se aplica la ecuación de conservación de energía entre diferentes puntos de la impulsión, en particular, el punto en donde la velocidad del fluido se vuelve nula. Dado lo anterior, la Ecuación 1 es similar a la ecuación de Bernoulli, con las pérdidas de carga determinadas como la suma entre las pérdidas por fricción según Hazen Williams y las pérdidas singulares del tramo analizado:

$$\frac{v_j^2}{2g} + z_j = h_f + h_s + \frac{v_{j+1}^2}{2g} + z_{j+1} \quad (1)$$

Donde, h_f es la pérdida por fricción en [m], h_s es la pérdida singular en [m], $z_{j,j+1}$ son las cotas de la tubería del tramo j y $j + 1$ en [m], $v_{j,j+1}$ son las velocidades del punto de análisis j y $j + 1$ en [m/s] y g es la aceleración de gravedad en [m/s²].

La Ecuación 1 se debe evaluar en puntos con condiciones iniciales conocidas y bajo los supuestos necesarios para obtener resultados tangibles:

- **Punto inicial:** Se considera para la condición inicial, es decir, para $j=0$ donde $t_j=0$ y el valor de velocidad es igual a la velocidad entregada inicialmente por la bomba, la cual se encuentra entre los rangos de 0.5 [m/s] a 3.0 [m/s], discretizados cada 0.1 [m/s].
- **Punto final:** Se evalúa para distintos casos, $j = \{10, 50, 100, 500\}$, donde la variación del tiempo (Δt) es el máximo valor del punto y el valor de la velocidad es de 0 [m/s].
- Caso 1: Se consideran valores de diámetros menores a 1000 [mm].
- Caso 2: Se consideran valores de diámetros mayores o iguales a 1000 [mm].
- Se evalúan distintas pendientes para los tramos de impulsión (hasta 2 tramos diferentes), las cuales se encuentran en el rango de 0.01 a 0.05.

Para los perfiles de velocidad, se implementa la Ecuación 2, que impone los valores de velocidad para los diferentes puntos de iteración:

$$v_j = v_0 \left(1 - \frac{j}{n}\right) \quad (2)$$

Donde v_j es la velocidad del punto de análisis j , v_0 es la velocidad del cuerpo en el instante inicial $j = 0$ en [m/s], n es el número total de la muestra de los puntos de iteraciones en unidad adimensional en [1] y j son los valores de iteraciones entre 1 y n en unidad adimensional [1].

Los valores de la variación del largo del desarrollo ΔL_j se conocen al realizar las iteraciones correspondientes entre valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 [-], utilizando los perfiles de velocidad indicados por la Ecuación 2 para obtener los valores finales de la variación del largo ΔL entre diferentes materiales y comparar los valores obtenidos para definir los parámetros que influyen en el desarrollo del transiente hidráulico.

Al tener definidos los valores de perfil de velocidad y el valor de la variación del largo por medio de la Ecuación 1, se procede a utilizar la expresión de la velocidad media para calcular el tiempo transcurrido entre los perfiles de velocidad inicial y el punto evaluado. La incógnita en este caso es el tiempo transcurrido, el cual será de utilidad para el cálculo de las subpresiones con la tubería en el eje vertical.

La Ecuación 3 presenta la expresión utilizada para calcular la incógnita del tiempo.

$$\Delta v = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (3)$$

Donde Δv es la variación de velocidad entre los dos puntos de análisis en [m/s], ΔL es la variación del largo entre los dos puntos de análisis en [m] y Δt es la variación del tiempo entre los dos puntos de análisis en [s].

Para la elección de las propiedades de la tubería, se utilizan catálogos comerciales usados normalmente en proyectos de impulsión desde una planta elevadora.

4.1.1 Propiedades de Tuberías de PVC

En base al catálogo técnico JORVEX, se utiliza para el análisis tubería C-10/S-10 (10 bares), cuyos diámetros y espesores comerciales se indican en la Tabla 1:

Tabla 1: Valores de diferentes diámetros de tuberías de PVC. (Fuente: Catálogo Técnico de Tuberías de PVC JORVEX ISO 9001.)

Descripción	Valores [mm]						
D	75	110	160	250	355	500	630
e	2.8	4	5.8	9.1	12.9	18.1	22.8
D _i	69.4	102.0	148.4	231.8	329.2	463.8	584.4

4.1.2 Propiedades de Tuberías de Acero

En base al catálogo técnico TUBEXA, se define utilizar una tubería de acero ASTM A-53, cuyos diámetros y espesores comerciales se indican en la Tabla 2:

Tabla 2: Valores de diferentes diámetros de tuberías de acero. (Fuente: Catálogo Técnico TUBERÍA DUCASSE.)

Descripción	Valores [mm]							
D	75	102	152	261	355.6	470	572	711

e	2	4	6	6	6	10	10	10
D _i	72.0	94.0	140.0	249.0	343.6	450.0	552.0	691.0

4.1.3 Propiedades de Tuberías de HDPE

En base al catálogo técnico CIDELSA, se considera tubería de HDPE PE-100 SDR-17 (S8), cuyos diámetros y espesores comerciales se indican en la Tabla 3:

Tabla 3: Valores de diferentes diámetros de tuberías de HDPE. (Fuente: Catálogo Técnico Tuberías Lisas HDPE CIDELSA.)

Descripción	Valores [mm]							
D	75	110	160	250	355	500	630	800
e	4.5	6.6	9.5	14,8	21.1	29.7	37.4	47.4
D _i	66.0	96.8	141.0	220.4	312.8	440.6	555.2	705.2

4.2 Pérdidas de Carga

4.2.1 Pérdidas por Fricción

Una de las ecuaciones más utilizadas para la determinación de pérdidas por fricción es la ecuación de Hazen-Williams (GS Williams, 1905), expresada en la Ecuación 4:

$$h_f = 10.67 * \frac{Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852} * D_i^{4.78}} * L \quad (4)$$

Donde Q es el caudal promedio de la impulsión entre los puntos del tramo analizado en [m³/s], L es la longitud de la tubería en [m], C_{HW} es el coeficiente de pérdidas de Hazen-Williams en unidades adimensionales [1] y D_i es el diámetro interior de la tubería en [m].

Los valores del coeficiente de Hazen Williams dependen del material utilizado y de su vida útil. Esto se debe a que el valor del coeficiente baja a medida que pasa el tiempo debido al flujo de agua en el interior.

Los valores adoptados en el presente estudio se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Coeficientes de Hazen Williams de diferentes materiales. Fuente: Elaboración Propia.

Coeficiente HW	
PVC	150
HDPE	140
Acero	
Nuevo	130
10 años	110
20 años	90

4.2.2 Pérdidas Singulares

Para las pérdidas singulares se utiliza la Ecuación 5, aplicable cuando se tiene conocimiento de cada pieza(s) especial(es) utilizadas en el trayecto de la tubería:

$$h_s = K_s * \frac{v^2}{2 * g} \quad (5)$$

Donde K_s es el coeficiente de pérdidas singulares según la característica de la impulsión en unidad adimensional [1], v es la velocidad del agua en la tubería en [m/s].

Para casos generales, donde no se conocen las piezas especiales que componen la conducción, se suele asumir un porcentaje de pérdida singular entre 2 y 5 [%] de las pérdidas por fricción, según se indica en la Ecuación 6.

$$h_s = n_{\%} * h_f \quad (6)$$

Donde $n_{\%}$ es el porcentaje con respecto a la pérdida por fricción en [%], que en este trabajo se considera $n_{\%} = 5$ [%].

Cabe destacar que la aproximación de la Ecuación 6, se utiliza únicamente para tener en cuenta el impacto de las pérdidas singulares en el sistema. Este porcentaje de pérdida es representativo para casos simples, ya que, al tener un sistema más complejo, las pérdidas singulares toman una mayor importancia, por lo que se recomienda considerar la Ecuación 5 como la mejor representación de las pérdidas singulares.

4.3 Presiones por Golpe de Ariete

Para caracterizar las presiones producidas por el golpe ariete se utiliza la Ecuación 7, que representa la presión de Joukowsky, la cual sigue siendo de las más utilizadas en la actualidad en diseños hidráulicos de impulsión (Joukowski, 1898):

$$\Delta H = \pm \frac{a * \Delta v}{g} \quad (7)$$

Donde Δv es la variación de velocidad entre los dos puntos de análisis, siendo en este caso el inicial y el final, en [m/s], a es la velocidad de propagación de la onda por la tubería en [m/s] y ΔH es la presión del transiente hidráulico en [m.c.a].

Por otro lado, Michaud define la expresión de la presión en base al impulso que experimenta el agua en el interior de la conducción, lo cual se representa en la Ecuación 8:

$$\Delta H = \pm \frac{2 * L * v}{g * T} \quad (8)$$

Donde T es el tiempo de parada o cierre de válvula en [s], v es la velocidad del agua en la tubería en [m/s] y L es la longitud de la tubería en [m].

Cada una de estas expresiones consideran diferentes parámetros de las tuberías. La expresión de Joukowsky considera el efecto de la velocidad de onda del material de la impulsión y la variación de velocidad del fluido, desarrollando un análisis de un transiente hidráulico en un tiempo corto.

La expresión de Michaud depende de una mayor cantidad de las propiedades físicas de la impulsión que la expresión de Joukowsky, considerando parámetros como el tiempo de parada y la longitud de la impulsión. Esta expresión considera que el fenómeno transcurre en un tiempo de cierre más lento.

La expresión para determinar el largo crítico se basa en la relación entre el tiempo de cierre y la velocidad de propagación, que se muestra en la Ecuación 9.

$$L_c = \frac{a * T}{2} \quad (9)$$

Donde L_c es la longitud crítica en [m], T es el tiempo de parada o cierre de válvula en [s] y a es la velocidad de propagación de la onda por la tubería en [m/s].

Adicionalmente, una manera para reconocer si la impulsión se define como una impulsión corta o larga desde el punto de vista del fenómeno de golpe de ariete se utiliza la Ecuación 10, la cual es ampliamente referenciada en la literatura:

$$T = \frac{2 * L}{a} \quad (10)$$

4.3.1 Ecuación Propuesta del fenómeno físico

En base a la Ecuación 8 y la Primera Ley de Newton, se plantea la expresión de la subpresión a utilizar, considerando las mismas bases de las ecuaciones de Joukowsky y Michaud, las cuales consideran el equilibrio entre las fuerzas o impulsos que experimenta el agua dentro de la conducción y la variación de la cantidad de movimiento que ocurre en el largo de la tubería.

$$F = m * \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (11)$$

$$\Delta H_f * \rho * g = P = \frac{F}{A} \quad (12)$$

$$m = \rho * V = \rho * A * (L - \Delta L) = \rho * A * L' \quad (13)$$

$$\Delta H_f = \frac{L' * \Delta v}{g * \Delta t} \quad (14)$$

Donde F es la fuerza producida por la subpresión del fenómeno en [N], m es la masa total del agua dentro de la tubería en [kg], ΔH_f es la subpresión del golpe ariete propuesta en [m], P es la presión dentro de la tubería en [N/m²], A es el área interior de la tubería, ρ es la densidad del agua en [kg/m³], V es el volumen interior de la tubería en [m³], L' es el largo efectivo de la tubería, que corresponde la diferencia entre el largo de la tubería, L es la longitud de la tubería en [m], ΔL es la variación del largo entre los dos puntos de análisis en [m], Δv es la variación de velocidad entre los dos puntos de análisis en [m/s] y Δt es la variación del tiempo entre los dos puntos de análisis en [s].

El largo efectivo L' será uno de los componentes que nos ayuda a obtener el perfil de subpresiones físicas que ocurren dentro del tramo de tubería, ya que ese largo efectivo es la diferencia entre el largo total de la tubería con la variación del largo de desarrollo, siendo éste un valor variable según el número de iteraciones realizadas.

El otro componente importante será la variación del tiempo por ser obtenido de la Ecuación 24, siendo un valor que se estima utilizando el movimiento rectilíneo uniforme acelerado (MRUA).

4.4 Análisis para el Caso con Tramos de Distintos Materiales

Para analizar el efecto en la velocidad de propagación de onda, debido a diferentes largos y materiales a lo largo de la impulsión, se definen ciertas condiciones para su análisis:

- Para las pérdidas de carga se consideran dos materiales diferentes, los cuales siempre serán una combinación entre acero y PVC o HDPE.
- Se analizan los diferentes largos utilizados desde el punto inicial hasta un largo dado, para encontrar el equilibrio entre la variación del largo y la velocidad de propagación.
- Se define el rango del largo de desarrollo para los diferentes materiales como {5,10,15,20} [m]. En el caso de obtenerse valores mayores a los esperados, se ajustan el rango hasta lograr el equilibrio.
- Adicionalmente, se contempla considerar tuberías de diámetros diferentes para saber si este tipo de transición ayuda a obtener un valor más conservador para la subpresión.

Al tener dos tramos de diferentes materiales, se modifica la ecuación de pérdidas de carga según se indica en el acápite siguiente.

4.4.1 Pérdidas de Carga en Tramos con Distintos Materiales

La modificación a la ecuación de Hazen-Williams (GS Williams, 1905) se hace en base al criterio de varios tramos de tubería, con largos y materiales diferentes, siendo esta expresión la definida en la Ecuación 15:

$$h_f = \begin{cases} 10.67 * \frac{Q_j^{1.852}}{C_{HW,m_1}^{1.852} * D_{m_1}^{4.78}} * \Delta L_j & \text{Si: } \sum \Delta L_j \leq L_{m_1} \\ 10.67 * \frac{Q_j^{1.852}}{C_{HW,m_2}^{1.852} * D_{m_2}^{4.78}} * \Delta L_j & \text{Si: } \sum \Delta L_j > L_{m_1} \end{cases} \quad (15)$$

Donde C_{HW,m_1} es el coeficiente de pérdidas de Hazen-Williams del material 1 o el material que se ubica cerca de la bomba (mostrado en la Figura 1) en unidad adimensional [1], C_{HW,m_2} es el coeficiente de pérdidas de Hazen-Williams del material 2 o el material de la impulsión (mostrado en la Figura 1) en unidad adimensional [1], Q_j es el caudal de impulsión del instante j en $[m^3/s]$, ΔL_j es la variación del largo del desarrollo del instante j [m], L_{m_1} es el largo del material 1, mostrado en la Figura 1 en [m], D_{m_1} es el diámetro interior de la conducción del material 1 o el material que se ubica cerca de la bomba (mostrado en la Figura 1) en [m] y D_{m_2} es el diámetro interior de la conducción del material 2 o el material de la impulsión (mostrado en la Figura 1) en unidad adimensional [1].

Para simplificar la formulación del problema propuesto, se propone que los valores de las pérdidas singulares sean de un 5 [%] de las pérdidas por fricción, para simular un mismo sistema de tuberías para el análisis teórico de cada caso.

4.4.2 Velocidad de Propagación de Onda para cada Tramo

La velocidad de propagación de onda corresponde a la alteración de la velocidad del flujo de la tubería que genera las subpresiones mencionadas anteriormente (Rahul Kumar Garg, 2021). Para obtener los valores de la velocidad de propagación de onda, acorde a las características del material, se utiliza la Ecuación 16, donde se asume que el agua a transportar será agua cruda.

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{E * e} \right)}} \quad (16)$$

Donde ρ es la densidad del agua en $[kg/m^3]$, K es el módulo de elasticidad del agua en $[kg/cm^2]$, D es el diámetro de la tubería de impulsión en [m], e es el espesor de la tubería en [m] y E es el módulo de elasticidad de la tubería en $[kg/cm^2]$.

Para evaluar la velocidad de propagación de onda en los diferentes materiales se utilizan los valores de la Tabla 5:

Tabla 5: Valores de Módulo de elasticidad del polietileno frente a diferentes materiales. Fuente: (Johana León Castellanos, 2012)

		Módulo de elasticidad [N/mm ²]	
		Corto Plazo	Largo Plazo
Material	PE	[800 ; 1.100]	[130 ; 160]
	PVC	3.000	1.750
	PP	[1.200 ; 1.800]	[450 ; 460]
	PRFV	$3,9 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$
	Hormigón	[$2,0 \times 10^4$; $4,0 \times 10^4$]	
	Fundición	$1,7 \times 10^5$	
	Acero	$2,1 \times 10^5$	

Conociendo las características de los tramos de impulsión y materiales, se define la velocidad de propagación de onda equivalente de la impulsión en función de la velocidad de propagación de los diferentes materiales dispuestos en serie, según la Ecuación 17.

$$\frac{\Delta L_T}{a_T} = \frac{\Delta L_{m_1}}{a_{m_1}} + \frac{\Delta L_{m_2}}{a_{m_2}} \quad (17)$$

Donde ΔL_T es el largo total del elemento analizado en [m], a_T es la velocidad de propagación de onda equivalente del elemento analizado en [m/s], $a_{m_{1,2}}$ es la velocidad de propagación de onda correspondiente al material 1 y 2 del elemento en [m/s] y $\Delta L_{m_{1,2}}$ es la variación del largo de desarrollo correspondiente al material 1 o 2, indicado en la Figura 1 del elemento en [m].

La Ecuación 17 será de suma importancia para conocer los valores de la velocidad de propagación de onda considerando la variación del largo dada por la Ecuación 1, para el desarrollo del fenómeno a lo largo de toda la tubería.

4.5 Análisis para el Caso de Bomba(s) Sumergida(s)

En general, en la literatura el caso de bombas sumergidas con columna de aspiración vertical se aborda sin presentar ningún tipo de consideración adicional al modelo, por lo que se utilizan las mismas expresiones descritas en capítulos anteriores, sin considerar otras variables que puedan afectar el desarrollo del fenómeno de transiente hidráulico, como la aceleración de gravedad en el tramo vertical y la elevación de la columna de agua.

Para resolver lo anterior y considerar el caso más desfavorable para esta situación, es decir, el caso de una bomba de poca inercia (cierre rápido), se modifican las expresiones de variación del largo de desarrollo y subpresión descritas en las Ecuaciones 1 y 12, respectivamente. Las ecuaciones modificadas se presentan en los acápites siguientes.

4.5.1 Corrección de Variación del Largo de Desarrollo

Se utiliza la ecuación de conservación de energía de Bernoulli con una modificación en el término de altura topográfica, en donde se incluye la variación del largo, es decir, la incógnita que se desea calcular, quedando esta expresión de la siguiente manera:

$$\frac{v_j^2}{2g} + (z_j \cong \Delta L_j) = h_{f+1} + h_{s+1} + \frac{v_{j+1}^2}{2g} + (z_{j+1} \cong \Delta L_{j+1}) \quad (18)$$

Donde, $\Delta L_{j,j+1}$ es la variación del largo de desarrollo del instante j y $j + 1$ en [m], considerando que se añade a la fórmula como cota al ser el análisis de manera vertical.

La corrección es correlacionada que el eje de análisis es vertical, siendo imperativo considerar que la variación del largo sea la altura que se desplaza el agua en los diferentes puntos de iteración. Este efecto da a entender que los valores obtenidos para el análisis habrá cambios significativos al comparar con la Ecuación 1.

4.5.2 Corrección de Subpresión por Efecto de la Gravedad

Adicionalmente, a la expresión de subpresión se le añade la aceleración de gravedad actuando en sentido contrario al movimiento del agua en la vertical:

$$F = m * \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} - g \right) \quad (19)$$

$$\Delta H_{fs} * \rho * g = P = \frac{F}{A} \quad (20)$$

$$m = \rho * V = \rho * A * (L_s - \Delta L) = \rho * A * L' \quad (21)$$

$$\Delta H_{fs} = \frac{L' * \Delta v}{g * \Delta t} - L' \quad (22)$$

Donde ΔH_{fs} es la subpresión del golpe ariete en bomba sumergida propuesta en [m] y L_s es la longitud vertical de una bomba sumergida en [m].

La Ecuación 14 y 22 quedan similares en la composición, con la diferencia de que el largo efectivo L' se presenta en un mayor peso en la Ecuación 22 considerando el efecto de la gravedad, teniendo como objetivo reconocer si el efecto de la gravedad.

En base a la Ecuación 18, se tiene una condición adicional, la cual consiste en que el movimiento del agua debe superar la acción de la fuerza de gravedad para que ocurra el fenómeno, siendo esta condición representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} > g \quad (23)$$

De acuerdo con ecuación anterior, se calcula la variación del tiempo en función de la velocidad del sistema y en base a los resultados se define si se realiza un cambio en el movimiento del agua en cada instante.

5 Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA)

5.1 Ecuación(es) del MRUA

En cinemática, las ecuaciones del Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA) describen el movimiento de un sistema de 1 grado de libertad, el cual consiste en una masa que se desplaza por un tramo recto, la cual presenta una aceleración constante a lo largo de todo el trayecto.

Bajo esta premisa, para aplicar la ecuación del MRUA a una masa de agua al interior de la tubería que va decreciendo su velocidad en base a la fuerza roce hasta detenerse, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se itera en base a los resultados de la variación del largo de desarrollo, que se obtienen al desarrollar tanto la Ecuación 1 como la Ecuación 18, según corresponda al caso analizado
- En base al punto anterior, se utiliza la Ecuación 26

A continuación, se presentan la Ecuación 24 y Ecuación 25, las cuales describen la cinemática del sistema:

$$x = x_0 + v_0 * t + \frac{\vec{a} * t^2}{2} \quad (24)$$

$$v = v_0 + \vec{a} * t \quad (25)$$

$$\vec{a} = \frac{\sqrt{v_f^2 - v_0^2}}{2 * x} \quad (26)$$

Donde x es la posición del cuerpo en el instante inicial $j=0$ en [m/s], x_0 es la posición del cuerpo en el instante inicial en [m/s], t es el intervalo del tiempo estudiado en [s], v_0 es la velocidad del cuerpo en el instante inicial $j=0$ en [m/s], v_f es la velocidad del cuerpo en el instante final en [m/s] y \vec{a} es la aceleración entre dos puntos de análisis en [m/s²].

Con los resultados obtenidos de la Ecuación 24 o Ecuación 25, se pueden obtener las subpresiones de los casos a analizar, utilizando la Ecuación 14 y Ecuación 22, con la finalidad de analizar el comportamiento de la subpresión suponiendo que el movimiento del agua por la inercia de la bomba

se le puede atribuir la aplicación del MRUA.

6 Resultados y Análisis

6.1 Impulsión con un Único Material

Los resultados obtenidos se aplican el Estudio del Fenómeno de Transiente Hidráulico para los valores de variación del tiempo y largo, y el Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA) para los valores de subpresión con los materiales indicados, con los diámetros de los catálogos correspondientes.

Para resolver y obtener los valores correspondientes con el único material con toda la impulsión horizontal, se resuelve según indican los siguientes pasos:

- Utilizar los datos conocidos, como el perfil de velocidad (según se indica en la Ecuación 2), las características físicas de la tubería y el número de iteraciones realizadas. En el caso de los números de iteraciones se muestran los resultados de $n=100$ [-]
- Aplicar la Ecuación 1 para obtener el valor de la variación del largo (ΔL) de la tubería de cada iteración hasta llegar al punto donde la velocidad es 0 [m/s]. Para el valor de las cotas se considera la siguiente expresión

$$z_j = z_{j+1} = 0 \quad (27)$$

Donde $z_{j,j+1}$ es la cota de tubería del tramo j y $j + 1$ en [m].

- Utilizar la Ecuación 26 para obtener la aceleración física (a) del fluido del transiente hidráulico, considerando que la ecuación es posible interpretarla con los siguientes supuestos:

$$v_o \text{ y } v_f = \begin{cases} \text{Caso I:} & v_o = v_{j=0} ; \quad v_f = v_j \text{ Si } j \neq 0 \\ \text{Caso II:} & v_o = v_j ; \quad v_f = v_{j+1} \end{cases} \quad (28)$$

- Utilizando las 2 posibles aceleraciones obtenidas con los supuestos de la Ecuación 28, se calcula la variación del tiempo (Δt) mediante la Ecuación 24.
- Se analiza el caso que representa mejor la interpretación de las Ecuaciones, la cual se decide por el Caso I, para calcular el perfil de subpresiones propuestas (ΔH_f) utilizando la Ecuación 14, considerando la subpresión final como la diferencia entre los mayores y menores valores.
- Con los valores obtenidos en las etapas anteriores, se grafican los resultados con las variables que son de importancia para el análisis, como los diámetros ocupados, el material utilizado, la velocidad inicial y los valores obtenidos. Para tener un punto de comparación de los valores obtenidos se presenta las características de una tubería, la cual se presenta las características en la Tabla 6.

Seguidamente se estudia el caso similar al anterior, pero aplicando diferentes pendientes de elevación de la tubería con la visualización de lo indicado en la Figura 1. Por lo tanto, se evidencia las instrucciones de las acciones realizadas:

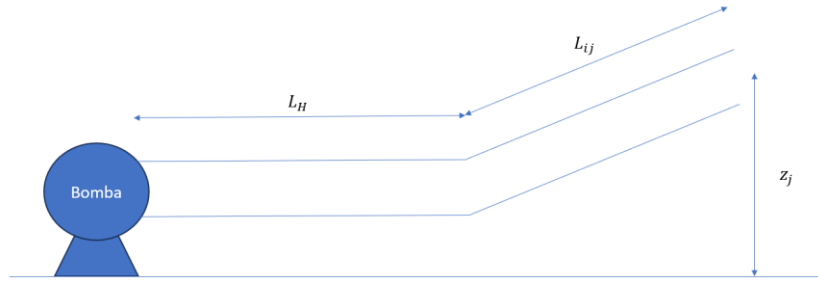


Figura 1: Diagrama de análisis con pendiente. Fuente: Elaboración Propia.

Donde L_H es la longitud horizontal del caso con pendiente en [m], L_{ij} es la longitud de la tubería de la pendiente del tramo j en [m] y z_j es la cota de la tubería del tramo j en [m].

- Utilizar los datos conocidos, como el perfil de velocidad (según se indica en la Ecuación 2), las características físicas de la tubería y el número de iteraciones realizadas. En el caso de los números de iteraciones se muestran los resultados de $n=100$ [-].
- Análogamente, se define el $L_H = 0$ [m] con la finalidad de apreciar el impacto completo de la pendiente desde el punto inicial.
- Aplicar la Ecuación 1 para obtener el valor de la variación del largo (ΔL) de la tubería de cada iteración hasta llegar al punto donde la velocidad es 0 [m/s]. Para el valor de las cotas se considera la siguiente expresión

$$z_{j,j+1} = \begin{cases} Si \sum \Delta L_{j,j+1} \leq L_H ; & z_{j,j+1} = 0 \\ Si \sum \Delta L_{j,j+1} > L_H ; & z_{j,j+1} = i * L_{j,j+1} \end{cases} \quad (29)$$

$$i = \frac{H}{L} \quad (30)$$

Donde i es la pendiente de la tubería entre el largo de la tubería y la variación de altura de los puntos de interés en unidad adimensional [1], H es la altura desde el punto de captación hasta el depósito del agua en [m], L es la longitud de la tubería en [m], $z_{j,j+1}$ es la cota de la tubería del tramo j y $j + 1$ en [m], $L_{j,j+1}$ es la variación del largo del desarrollo del instante j y $j + 1$ [m] y L_H es la longitud horizontal del caso con pendiente en [m].

- Utilizar la Ecuación 26 para obtener la aceleración física (\bar{a}) del fluido del transiente hidráulico, considerando que la ecuación es posible interpretarla con los siguientes supuestos:
- Utilizando las 2 posibles aceleraciones obtenidas con los supuestos de la Ecuación 28, se calcula la variación del tiempo (Δt) mediante la Ecuación 24.
- Se analiza el caso que representa mejor la interpretación de las Ecuaciones, la cual se decide por el Caso I, para calcular el perfil de subpresiones propuestas (ΔH_{fi}), considerando la subpresión final como la diferencia entre los mayores y menores valores. En este caso, se utiliza una variación de la Ecuación 14, expresado de esta manera:

$$F = m * \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} - g * i \right) \quad (31)$$

$$\Delta H_{fs} * \gamma = P = \frac{F}{A} \quad (32)$$

$$m = \rho * V = \rho * A * (L - \Delta L) = \frac{\gamma}{g} * A * L' \quad (33)$$

$$\Delta H_{fi} = \frac{L' * \Delta v}{g * \Delta t} - i * L' \quad (34)$$

Donde F es la fuerza producida por la subpresión del fenómeno en [N], m es la masa total del agua dentro de la tubería en [kg], ΔH_f es la subpresión del golpe ariete propuesta en [m], P es la presión dentro de la tubería en [N/m²], A es el área interior de la tubería, ρ es la densidad del agua en [kg/m³], V es el volumen interior de la tubería en [m³], L' es el largo efectivo de la tubería, que corresponde la diferencia entre el largo de la tubería (L) y la variación del largo entre los puntos de análisis (ΔL) en [m], ΔL es la variación del largo entre los dos puntos de análisis en [m], Δv es la variación de velocidad entre los dos puntos de análisis en [m/s], Δt es la variación del tiempo entre los dos puntos de análisis en [s] y i es la pendiente de la tubería entre el largo de la tubería y la variación de altura de los puntos de interés en unidad adimensional [1].

- Con los valores obtenidos en las etapas anteriores junto con la Ecuación 34 reemplazado la Ecuación 14, se realiza un análisis resumido en variar los valores obtenidos de las características de la Tabla 6, variando los valores de la velocidad, el material y el diámetro en 4 casos de diferentes pendientes, expresado en la Tabla 7.

Finalmente, para el Análisis General de Impulsión con un Único Material se adiciona los puntos de velocidad entre 1 y 2 [m/s] con la finalidad de añadir la perspectiva de los valores con mayor envergadura de un proyecto hidráulico. Es más, los valores límite de velocidad 0.5 y 3.0 [m/s] son referencia de las normas chilenas (INN, Nch 1105: Ingeniería sanitaria-Alcantarillado de aguas residuales-Diseño y cálculo de redes, 2019) y (INN, Nch 691: Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño, 2015) y referencia en libros de hidráulica (MOP, Criterios de Diseño de Agua Potable Rural, 2023) y (MOP, Criterios de Diseño de Saneamiento Rural, 2023).

6.1.1 Escenario Base para el Análisis

Para comprender la incidencia de las expresiones propuestas, se presenta en la Tabla 6 un caso evaluado, que servirá de ejemplo para comparar los valores obtenidos para los distintos casos con diferentes materiales y diámetros, para así poder evaluar el impacto de cada variable en la respuesta.

Tabla 6: Resumen de las características de la tubería de Acero D=140 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Simbología	K	n%	C _{HW}	ΔL	Δt	n	D _e	e	v
Unidad	-	%	-	m	s	-	mm	mm	m/s
Datos	0	5	130	53.279	71.04	100	152	6	1.5

El Gráfico 1 representa el perfil de velocidad de una tubería de diámetro D=140 [mm] de acero con coeficiente de Hazen-Williams de C_{HW}=130 [-], el cual muestra el descenso del caudal portado a lo largo de la tubería.

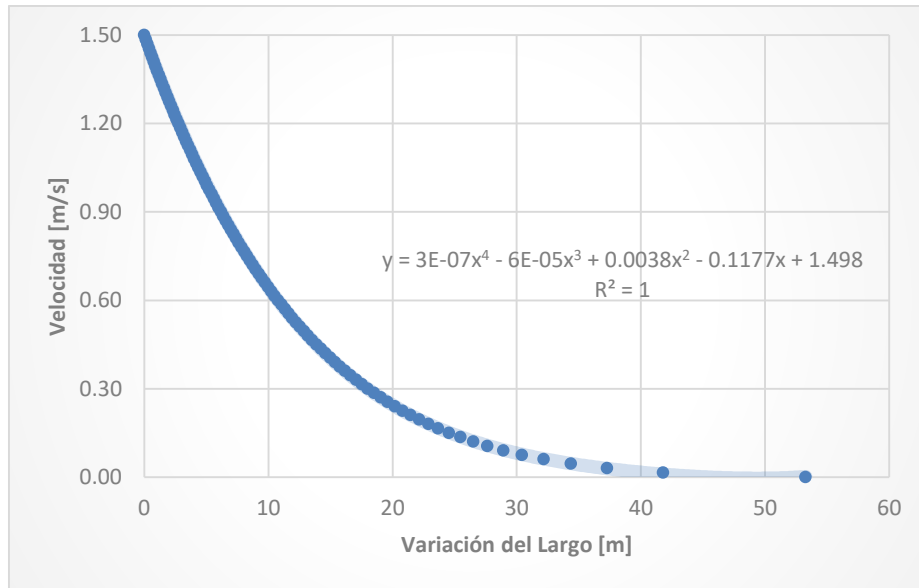


Gráfico 1: Perfil de Velocidad a lo largo de la impulsión de Acero, D=140 [mm]; v=1.5 [m/s]; n=100. Fuente: Elaboración Propia.

Se destaca que el valor de variación del largo final es 53.28 [m], siendo este un valor de referencia para conocer la divergencia de resultados entre este y los demás casos modelados.

6.1.2 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función del Diámetro de Tubería

En el Gráfico 2 y Gráfico 3 se representan los valores finales de las variaciones del largo y el tiempo de detención del movimiento del agua, para distintos diámetros, y utilizando los materiales descritos en la Tabla 4.

Según estos gráficos, es posible reconocer que tanto la variación del tiempo del fenómeno como la variación del largo crecen a valores bastante mayores, de manera tal que el largo máximo del Gráfico 2 es de 401.99 [m] y el tiempo máximo del Gráfico 3 es de 222.01 [s], para un mismo material (HDPE) y que coincide con la tubería de mayor diámetro comercial (menores pérdidas).

Comparando los valores obtenidos para el HDPE y el PVC en el Gráfico 2 y Gráfico 3, es posible inferir que para el PVC se obtienen mayores variaciones de largo y tiempo, al compararlo con diámetros similares al del HDPE (mayor al disponible en los catálogos comerciales).

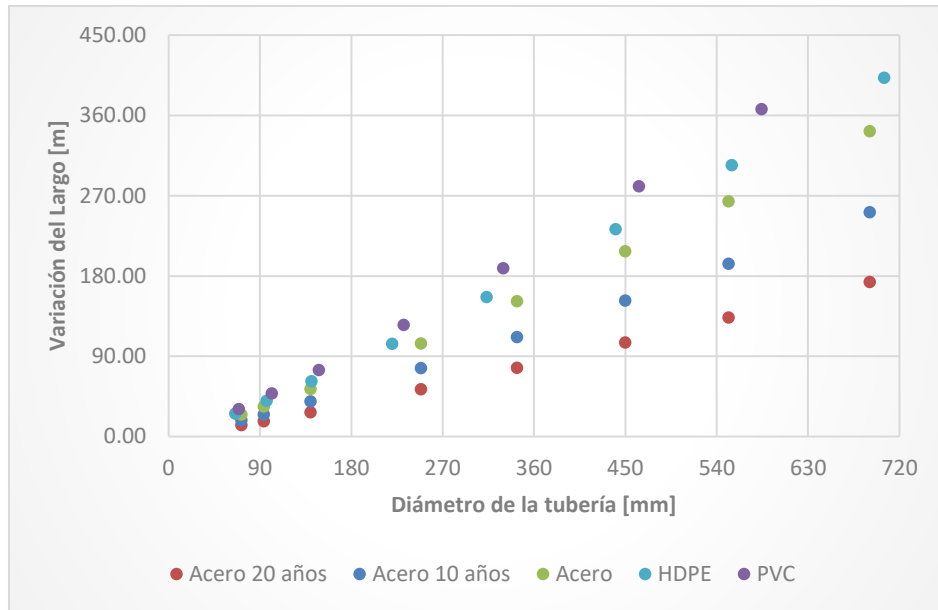


Gráfico 2: Variación del largo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería, $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

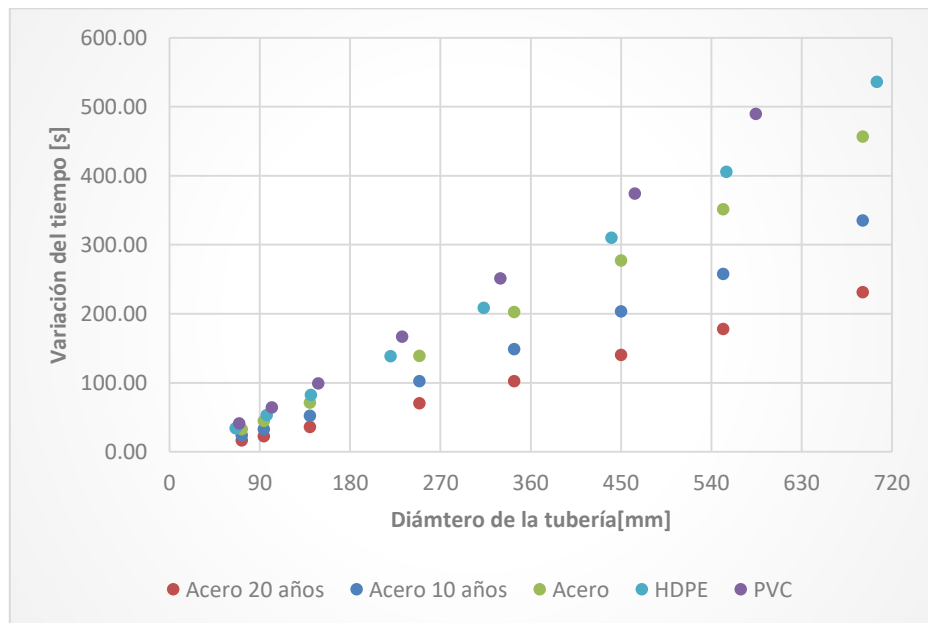


Gráfico 3: Variación del tiempo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería comercial, $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

6.1.3 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función de la Velocidad del Fluido

El Gráfico 4 y el Gráfico 5 muestran los valores máximos o finales de las variaciones del largo y tiempo para distintas velocidades, según los materiales descritos en la Tabla 6, para diámetros relativamente similares (entre 140 y 148.4 [mm]) y velocidades iniciales en el rango de 0.5 y 3.0 [m/s].

En base a los resultados del Gráfico 4, se obtiene que la variación del largo máxima es de 82.36 [m] para una tubería de PVC con velocidad inicial del fluido de 3 [m/s], y con un crecimiento relativamente proporcional al aumento de la velocidad.

Sin embargo, respecto a la variación del tiempo indicada en el Gráfico 5, se aprecia que a medida que aumenta la velocidad inicial del fluido, el tiempo disminuye de una manera inversamente proporcional con respecto a la velocidad, teniendo el máximo para una velocidad de 0.5 [m/s], con un valor de 104.67 [s], y disminuyendo hasta llegar a un valor de 22.74 [s] en 3.0 [m/s] para una tubería de PVC.

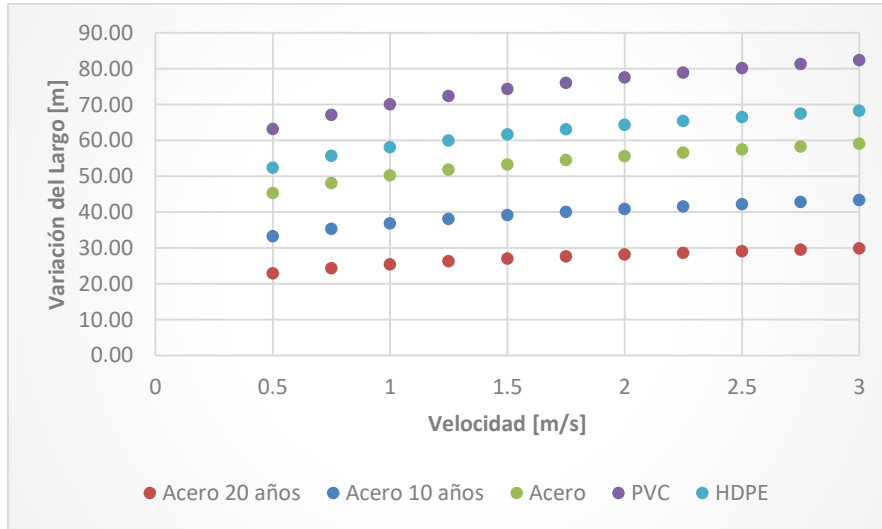


Gráfico 4: Variación del largo en diferentes velocidades iniciales de diferentes materiales, n=100 [-], DN= {140; 141; 148.4} [mm]. Fuente: Elaboración Propia.

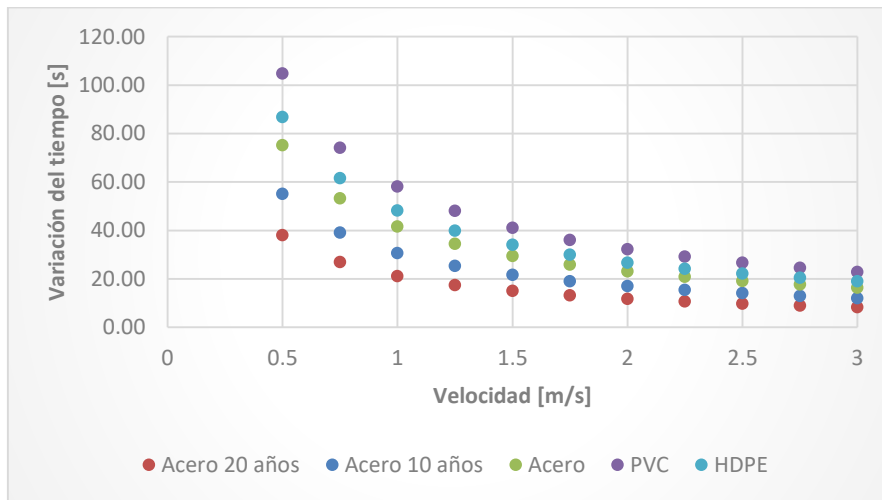


Gráfico 5: Variación del tiempo en diferentes velocidades iniciales de diferentes materiales, n=100 [-], DN= {140; 141; 148.4} [mm]. Fuente: Elaboración Propia.

6.1.4 Sensibilidad de las supresiones en función del Diámetro de Tubería y Velocidad del Fluido

En el Gráfico 6 y Gráfico 7 se presentan las subpresiones máximas para diferentes materiales, con una misma velocidad inicial de 1.5 [m/s] para el caso del Gráfico 6 y con diámetros de tuberías similares para el caso del Gráfico 7, ambos para la iteración número 100 [-] y con una impulsión de largo 0.5 [km].

En base a los resultados del Gráfico 6, se desprende que las subpresiones decrecen de manera inversamente proporcional con respecto al diámetro, presentando valores máximos y mínimos de -34.23 [m] y -1.17 [m], respectivamente. Estos valores corresponden al material Acero con 20 años de uso y el HDPE, respectivamente.

Por otro lado, los valores del Gráfico 7 indican que la subpresión aumenta prácticamente de manera lineal a medida que la velocidad inicial aumenta. El material Acero de 20 años de uso es el que presenta el valor máximo de -57.21 [m] para una velocidad de 3.0 [m/s].

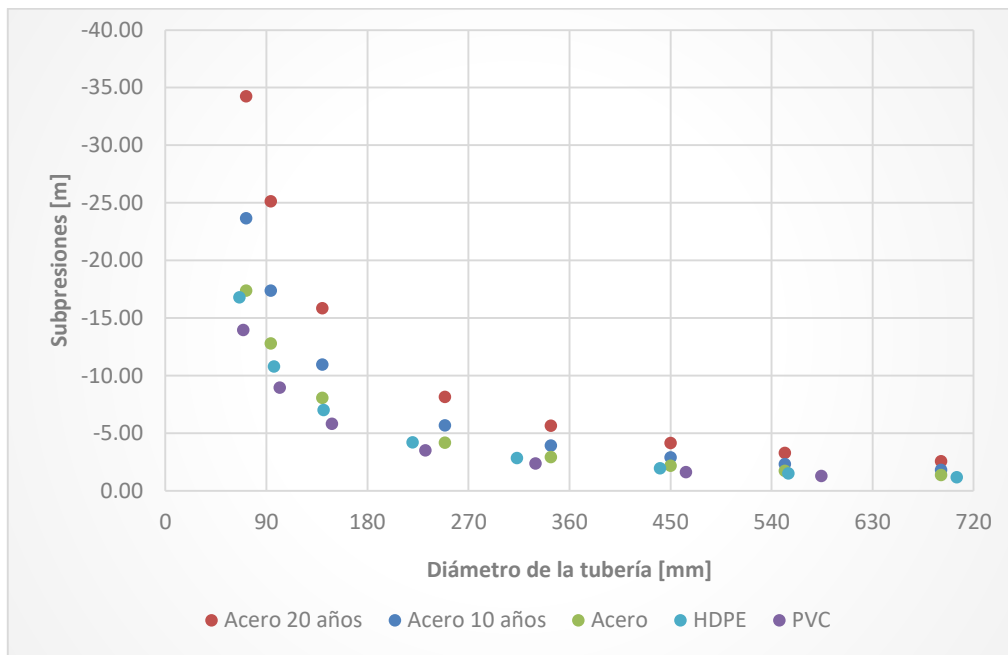


Gráfico 6: Máximos valores de subpresiones en diferentes diámetros de la tubería en diferentes materiales, $L=0.5$ [km], $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

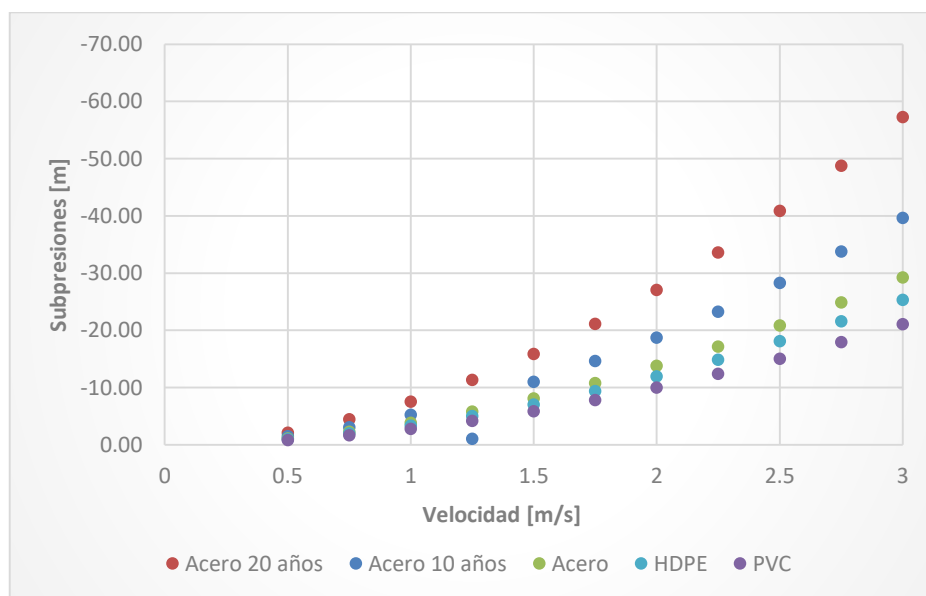


Gráfico 7: Máximos valores de subpresiones en diferentes diámetros de la tubería en diferentes materiales, $L=0.5$ [km], $n=100$ [-], $DN= \{140; 141; 148.4\}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.

6.1.5 Análisis General de Impulsión con un Único Material

En cuanto al análisis de sensibilidad del largo de desarrollo, se observa en el Gráfico 4 que para velocidades iniciales en el rango usual de 1.0 y 2.0 [m/s], el impacto de esta variable en la magnitud

del largo de desarrollo es relativamente bajo. Se obtienen valores de entre 25.39 y 70 [m] para velocidades de 1 [m/s] y valores de entre 28.14 y 77.56 [m] para velocidades de 2 [m/s], para distintos materiales con diámetros en torno a los 140 [mm]. Como se observa en los resultados, si bien el largo de desarrollo aumenta con la velocidad inicial, este aumento es del orden del 10% para el rango usual, es decir, poco significativo. Por otro lado, si se compara los valores mencionados con los obtenidos en el Gráfico 2, para diámetros más grandes, se puede notar un aumento importante en el largo de desarrollo, el cual adopta valores de entre 173.20 y 401.99 [m] para diámetros de orden de 700 [mm]. Es posible concluir que utilizar diámetros más grandes aumenta de manera lineal el valor del largo de desarrollo del transiente hidráulico, dándole así especial relevancia al cálculo preciso del diámetro óptimo en proyectos de impulsión.

En cuanto al análisis de sensibilidad del tiempo de desarrollo, este presenta un comportamiento inversamente proporcional con respecto a la velocidad inicial, según se aprecia en el Gráfico 5, registrándose el mayor valor de 104.67 [s] para una velocidad baja del orden de 0,5 [m/s]. En cuanto a la sensibilidad del tiempo de desarrollo frente al cambio de diámetro indicado en el Gráfico 3, este presenta un comportamiento bastante similar al del largo de desarrollo, con valores que aumentan de manera lineal hasta un máximo del orden de 222.01 [s].

Con respecto al análisis de sensibilidad de las subpresiones, se observa en el Gráfico 7 que la subpresión aumenta exponencialmente con la velocidad inicial, llegando a presentar valores máximos de -7.47 y -26.99 [m] para velocidades usuales de 1.0 y 2.0 [m/s], respectivamente, siendo el Acero el material que registra los mayores valores y el PVC el que registra los menores valores. Para la velocidad máxima de 3.0 [m/s] la tubería de acero registra una subpresión de -57.21[m]. Respecto al Gráfico 6, se observa que la subpresión es inversamente proporcional al diámetro de la tubería, siendo el valor máximo de -34.23 [m] para diámetros pequeños del orden de los 75 [mm]. Esto indica que mientras mayor sea el diámetro o área de la tubería, menores son las subpresiones, llegando a ser un problema secundario para diámetros grandes en impulsiones horizontales de longitud 500 [m] o superior. En general, las subpresiones aumentan para velocidades altas y diámetro pequeños, llegando a tener un impacto considerable si no se diseña teniendo las debidas precauciones.

Con respecto a un análisis sobre el comportamiento inversamente esperado del Gráfico 5, se interpreta que, si la velocidad del fluido dentro de la tubería sea menor, la pérdida por fricción dentro de la tubería es menor, causando que el tiempo que se detiene el fluido sea mayor al tener menor energía cinética. Esta interpretación se demuestra, al analizar el material PVC con los resultados de la velocidad 0.5 y 1.5 [m/s] que se reflejan los resultados de la variación del tiempo total de 104.67 y 41.05 [s] respectivamente.

En cuanto al Gráfico 6, al analizar las variables utilizadas para la Ecuación 14, se puede concluir que tiene el mismo interpretamiento del punto anterior, tenemos que mientras menor sea el diámetro, mayor es la subpresión dentro de la tubería. Estos resultados especulan que tiene más impacto la presión dentro de la tubería cuando la masa de agua analizada es menor, al concluir que al haber menos masa del fluido dentro de las tuberías el efecto de la subpresión es más brusco que la fricción dentro de una tubería con mayor diámetro. Al observar el resultado del PVC, que con diámetro interno de 72 [mm] tiene una presión de -34.23 [m] es mayor que las mismas condiciones, pero con un diámetro interno de 140 [mm] con una presión de 15.84 [m].

En el Gráfico 8 se representa el comportamiento de las subpresiones según la aceleración y velocidad calculadas, en función de la variación del largo del transiente hidráulico. Es posible hacer notar, que la curva asociada a la disminución de la aceleración indica que hay un decrecimiento mayor de la subpresión en el tiempo en comparación a la curva de disminución de la velocidad, presentando diferencias notables desde el primer instante. Este gráfico implica que la velocidad es un factor de mayor relevancia en el movimiento del sistema que la aceleración, para un comportamiento descrito por las ecuaciones de MRUA.

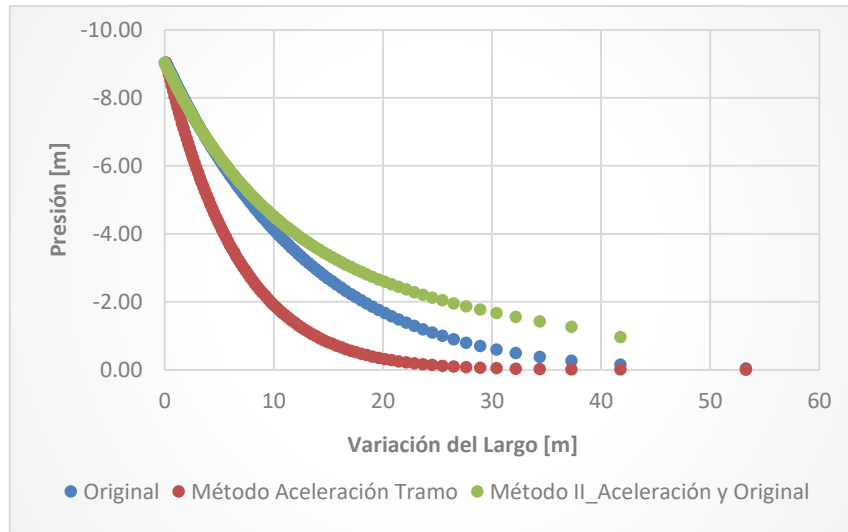


Gráfico 8: Comportamiento de la Subpresión según la aceleración del sistema v/s perfiles de velocidades del acero, $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

6.1.6 Análisis con Diferentes Pendiente

En cuanto al análisis de variación del largo de desarrollo de la Tabla 7 en comparación del valor las características de la Tabla 6, se puede apreciar que el valor decrece de 53.28 [m] a 6.39, 1.94, 1.05 y 0.44 [m] para una altura de 5, 25, 50 y 125 [m], respectivamente. Esta diferencia nos indica que el desnivel de la impulsión puede llegar a ser un factor importante, al tener en la ecuación el efecto de la gravedad en la tubería para evitar un movimiento prolongado del agua.

En cuanto al análisis de variación del tiempo de desarrollo en base a los valores de las características de la Tabla 6 hay un decrecimiento con mayor diferencia que la variación del largo, con valores de 8.51, 2.59, 1.40 y 0.59 [s] para una altura de 5, 25, 50 y 125 [m] en comparación con 71.04 [s]. Estos valores nos dicen que el transcurso del transiente hidráulico de velocidad inicial a final es completamente diferente si es que tiene algún desnivel de por lo menos un 88% con una pendiente de 0.01 [-], el cual equivale a 5 [m] en una impulsión de 500 [m].

Finalmente, para los valores de subpresiones pueden variar entre -19.03 a -42.60 [m] para la pendiente de 0.01 [-] como -251.82 a -282.60 [m] con pendiente de 0.25 [-]. Si estos valores los comparamos con las subpresiones de Allievi ± 196.94 [m] y 49.15 [m] del acero y el PVC respectivamente para velocidad de 1.5 [m/s], tenemos que con un desnivel suficiente puede llegar a superar un valor conservativo. Por otro lado, hay que tener en cuenta que, si hay desnivel, el movimiento del agua en el instante inicial debe superar parcialmente la aceleración de gravedad, es decir, el movimiento del agua debe superar el peso del agua.

Tabla 7: Resumen de variación del largo, tiempo y subpresión con diferente velocidad, material y diámetro, $L=0.5$ [km], $n=100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.

Simbología	Δt	ΔL	ΔH_{fi}	v	i
Unidad	s	m	m	m/s	[-]
Acero $D_e=140$ [mm]	8,51	6,385	-19,03	1.5	0.01
	2,59	1,943	-59,03	1.5	0.05
	1,40	1,050	-109,03	1.5	0.1
	0,59	0,442	-259,03	1.5	0.25
Acero $D_e=140$ [mm]	8,98	13,468	-42,60	3.0	0.01
	3,83	5,752	-82,60	3.0	0.05

	2,33	3,849	-132,60	3.0	0.1
	1,08	1,621	-282,60	3.0	0.25
PVC $D_e=148,4$ [mm]	9,61	7,207	-16,47	1.5	0.01
	2,7	2,028	-56,47	1.5	0.05
	1,43	1,075	-106,47	1.5	0.1
	0,60	0,447	-256,47	1.5	0.25
Acero $D_e=552$ [mm]	12,93	9,701	-11,82	1.5	0.01
	2,95	2,210	-51,82	1.5	0.05
	1,50	1,125	-101,82	1.5	0.1
	0,61	0,455	-251,82	1.5	0.25

6.2 Impulsión con Dos Materiales

Los resultados obtenidos se aplican el Estudio del Fenómeno de Transiente Hidráulico para los valores de variación del tiempo y largo, y el Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA) para los valores de subpresión con los materiales indicados, con los diámetros de los catálogos correspondientes.

Para resolver y obtener los valores correspondientes con dos materiales diferentes, considerando la impulsión completamente horizontal, se resuelve según indican los siguientes pasos:

- Utilizar los datos conocidos, como el perfil de velocidad (según se indica en la Ecuación 2), las características físicas de la tubería y el número de iteraciones realizadas. En el caso de los números de iteraciones se muestran los resultados de $n=100$ [-]
- Aplicar la Ecuación 1 para obtener el valor de la variación del largo (ΔL) de la tubería de cada iteración hasta llegar al punto donde la velocidad es 0 [m/s]. Para el valor de las cotas se considera la siguiente expresión

$$z_j = z_{j+1} = 0 \quad (35)$$

Donde $z_{j,j+1}$ es la cota de tubería del tramo j y $j + 1$ en [m].

- Adicionalmente, para utilizar las pérdidas por fricción, en vez de aplicar la Ecuación 4 se utiliza la Ecuación 15 para la iteración
- Utilizar la Ecuación 26 para obtener la aceleración física (a) del fluido del transiente hidráulico, considerando que la ecuación es posible interpretarla con los siguientes supuestos:

$$v_o \text{ y } v_f = \begin{cases} \text{Caso I:} & v_o = v_{j=0} ; & v_f = v_j \text{ Si } j \neq 0 \\ \text{Caso II:} & v_o = v_j ; & v_f = v_{j+1} \end{cases} \quad (36)$$

- Utilizando las 2 posibles aceleraciones obtenidas con los supuestos de la Ecuación 36, se calcula la variación del tiempo (Δt) mediante la Ecuación 24.
- Se analiza el caso que representa mejor la interpretación de las Ecuaciones, la cual se decide por el Caso I, para calcular el perfil de subpresiones propuestas ΔH_f utilizando la Ecuación 14, considerando la subpresión final como la diferencia entre los mayores y menores valores.
- Con los valores obtenidos en las etapas anteriores, se grafican los resultados con las variables que son de importancia para el análisis, como los diámetros ocupados, el material utilizado, la velocidad inicial y los valores obtenidos. Para tener un punto de comparación de los valores obtenidos se presenta las características de una tubería, la cual se presenta las características en la Tabla 8.

Adicionalmente se integra el análisis de la velocidad de propagación con el enfoque propuesto para comparar con la interpretación original, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Utilizar los datos conocidos, como el perfil de velocidad (según se indica en la Ecuación 2), las características físicas de la tubería y el número de iteraciones realizadas. En el caso de los números de iteraciones se muestran los resultados de $n=100$ [-].
- Asimismo, se calcula la velocidad de propagación de los materiales propuestos mediante las propiedades físicas exhibida en la Tabla 5 con la Ecuación 16.
- Por consiguiente, se calcula la velocidad de propagación total empleando la Ecuación 17, teniendo en cuenta los siguientes casos:

$$a = \begin{cases} \text{Caso I:} & \Delta L_T = L ; \quad \Delta L_{m2} = L - \Delta L_{m1} \\ \text{Caso II:} & \Delta L_T = \Delta L_t ; \quad \Delta L_{m2} = \Delta L_t - \Delta L_{m1} \end{cases} \quad (37)$$

Donde a es la velocidad de propagación de la onda por la tubería en [m/s], $\Delta L_{m_{1,2}}$ es la variación del largo de desarrollo correspondiente al material 1 o 2, indicado en la Figura 1 del elemento en [m], ΔL_T es el largo total del elemento analizado en [m] y ΔL_t es la variación del largo de desarrollo total del elemento analizado en [m].

- Con la finalidad de comparar ambos casos, se evalúan las subpresiones propuestas (ΔH_f) según la Ecuación 14, considerando la subpresión final como la diferencia entre los mayores y menores valores para el Caso II.
- Con los valores obtenidos en las etapas anteriores, se grafican los resultados con las variables que son de importancia para el análisis, como los diámetros ocupados, el material utilizado, la velocidad inicial y los valores obtenidos. Para tener un punto de comparación de los valores obtenidos se presenta las características de una tubería, la cual se presenta las características en la Tabla 8.

Finalmente, para el Análisis General de Impulsión con dos Materiales se adiciona los puntos de velocidad entre 1 y 2 [m/s] con la finalidad de añadir la perspectiva de los valores con mayor envergadura de un proyecto hidráulico. Es más, los valores límite de velocidad 0.5 y 3.0 [m/s] son referencia de las normas chilenas (INN, Nch 1105: Ingeniería sanitaria-Alcantarillado de aguas residuales-Diseño y cálculo de redes, 2019) y (INN, Nch 691: Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño, 2015) y referencia en libros de hidráulica (MOP, Criterios de Diseño de Agua Potable Rural, 2023) y (MOP, Criterios de Diseño de Saneamiento Rural, 2023).

6.2.1 Escenario Base para el Análisis

La Figura 2 muestra la configuración de análisis de una impulsión con dos tramos de distinto material. Siguiendo el diseño típico de una impulsión en zona rural, se tiene que el Material 1 representa un tramo en acero, el cual posee la característica de poder tolerar subpresiones negativas considerables, junto con presentar una velocidad de propagación de onda por lo menos 3 veces mayor que la del PVC o HDPE. Por otro lado, se considera como Material 2 un tramo de PVC, para así analizar el impacto que tiene el uso de dos materiales en comparación al caso de una impulsión de un único material (Capítulo 6.1).

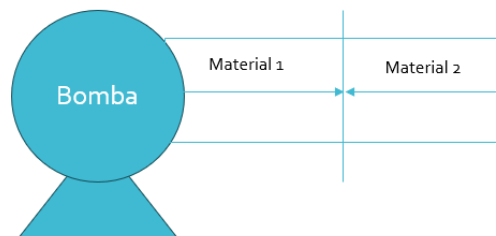


Figura 2: Diagrama del análisis con diferentes materiales. Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 8 y Tabla 9 se presentan los valores de los materiales de la impulsión Acero-PVC, teniendo una diferencia entre los diámetros de 8.4 [mm], y considerando 5 [m] de longitud de acero al inicio de la impulsión.

Tabla 8: Resumen de las características de la tubería de PVC D=148.4 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Simbología	K	n%	C _{HW}	ΔL	Δt	n	D _e	e	v
Unidad	-	%	-	m	s	-	mm	mm	m/s
Datos	0	5	150	72.421	96.56	100	160	5.8	1.5

Tabla 9: Resumen de las características de la tubería de Acero D=140 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Material Acero		
C _{HW}	130	-
L	5	m
D _e	152	mm
e	6	mm

En el Gráfico 9 se presenta el descenso del caudal portado en el transcurso de la tubería, siendo evidente el cambio de caudal entre los 2 materiales, junto con el cambio de curvatura asociado. Con esta anomalía se puede notar que el cambio de material tiene un impacto significativo a medida que el largo del tramo de acero aumenta.

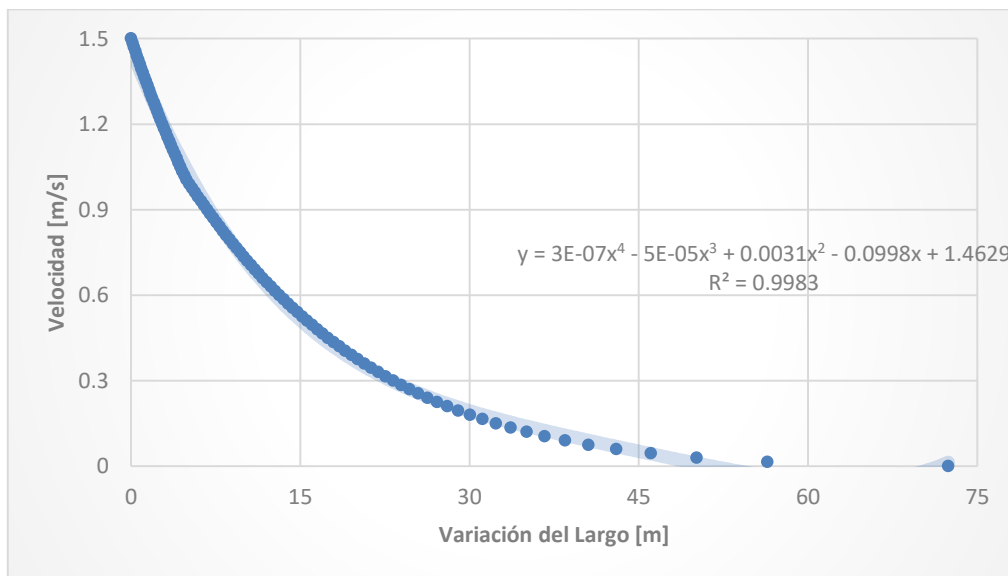


Gráfico 9: Perfil de Velocidad a lo largo de la impulsión de PVC-Acero, v=1.5 [m/s]; n=100. Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función del Largo Inicial de Acero

En el Gráfico 10 y Gráfico 11 se presentan las variaciones del largo y tiempo de desarrollo, respectivamente, para distintas combinaciones de diámetros y Materiales 1 y 2, en función del largo del tramo inicial de Material 1 (Acero).

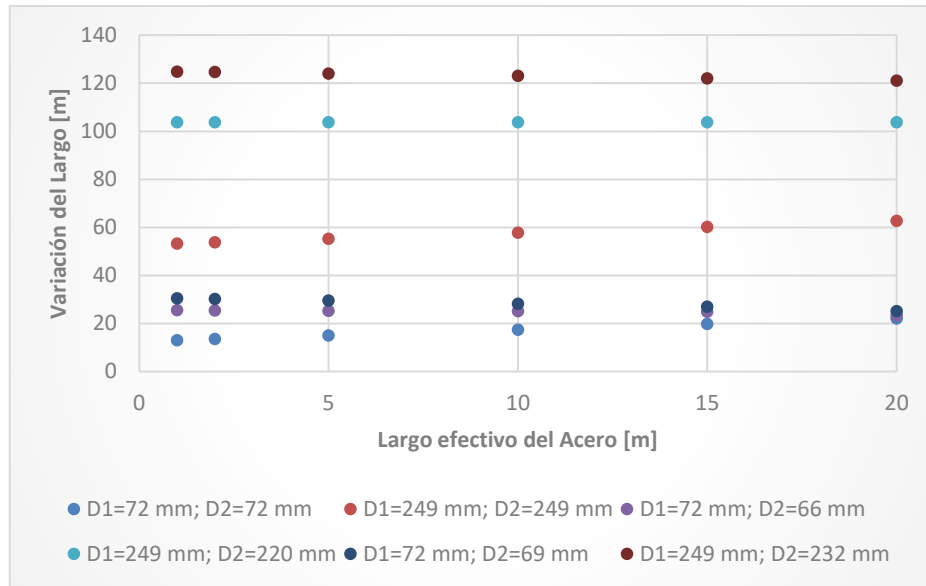


Gráfico 10: Variación del largo en diferentes largos efectivos del Material 1 en diferentes combinaciones, n=100 [-], v= 1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

En base de los resultados del Gráfico 10, se obtiene que las máximas variaciones del largo de desarrollo son de 62.62, 103.671 [m] y 124.77 [m] para las combinaciones de D1= 249 [mm] y D2= 249 [mm] (Acero-Acero 20 años), D1= 249 [mm] y D2= 220 [mm] (Acero-HDPE) y D1= 249 [mm] y D2= 232 [mm] (Acero- PVC), respectivamente. La diferencia entre las tendencias de las tres combinaciones es que la combinación Acero-Acero 20 años es creciente con respecto al largo efectivo del tramo inicial, la combinación Acero-HDPE mantiene los valores en un rango relativamente constante y la combinación Acero-PVC es decreciente.

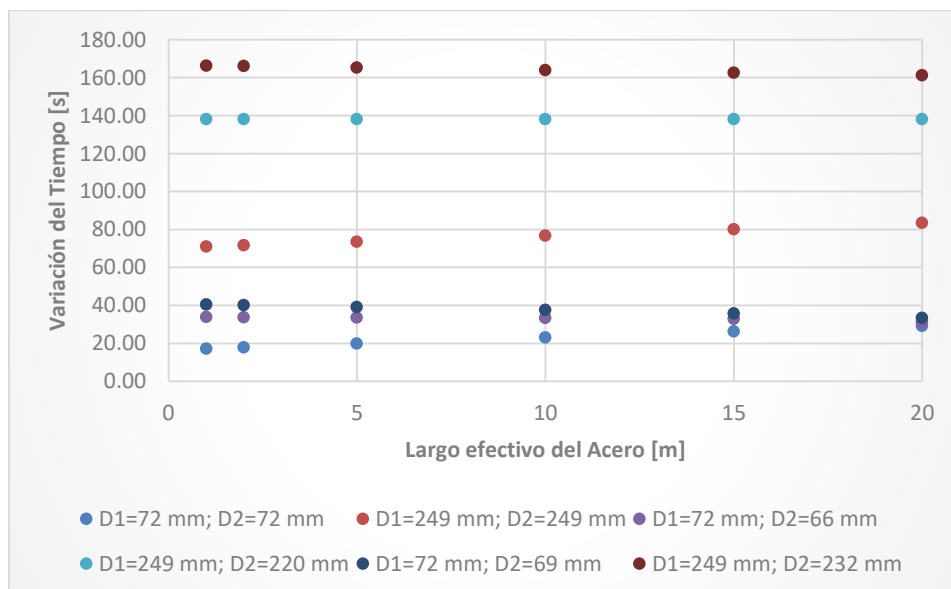


Gráfico 11: Variación del tiempo final en diferentes largos efectivos del Material 1 en diferentes combinaciones, n=100 [-], v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados del Gráfico 11 son similares en comportamiento con respecto al Gráfico 10. Los valores máximos de la variación del tiempo de desarrollo son 34.58, 57.26 y 68.91 [s] para las combinaciones

de D1= 249 [mm] y D2= 249 [mm] (Acero-Acero 20 años), D1= 249 [mm] y D2= 220 [mm] (Acero-HDPE) y D1= 249 [mm] y D2= 232 [mm] (Acero-PVC), respectivamente.

6.2.3 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función de la Velocidad del Fluido

En los Gráfico 12 y Gráfico 13 se representa la variación del largo y del tiempo de desarrollo para distintas combinaciones de diámetro y Materiales 1 y 2, en función de la velocidad del fluido, con un largo efectivo del acero fijo de 5 [m], para la iteración 100 [-].

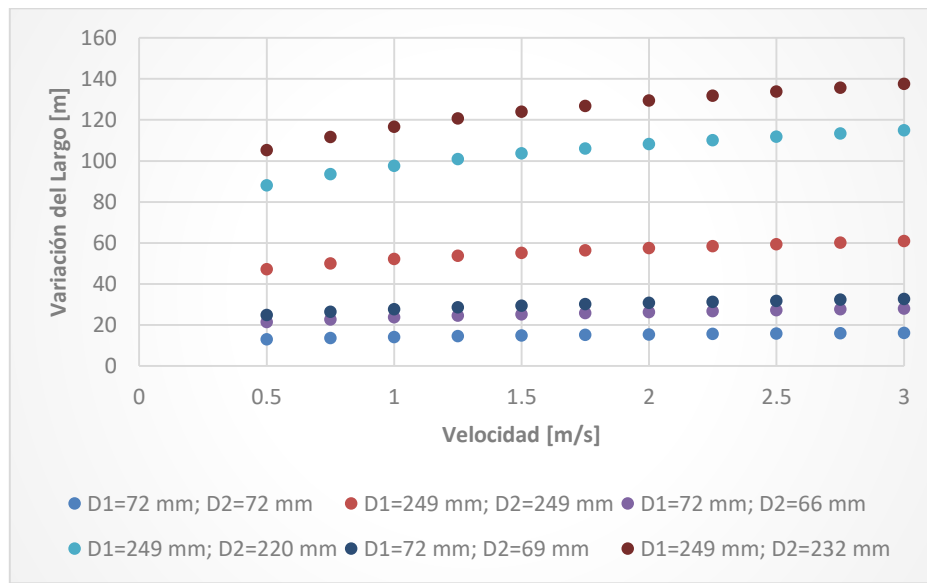


Gráfico 12: Variación del Largo en diferentes velocidades iniciales con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5[m]$, $n= 100 [-]$. Fuente: Elaboración Propia.

En base a los resultados del Gráfico 12, los valores máximos obtenidos de la variación del largo son 60.91, 114.84 y 137.48 [m] para las combinaciones de D1= 249 [mm] y D2= 249 [mm] (Acero-Acero 20 años), D1= 249 [mm] y D2= 220 [mm] (Acero-HDPE) y D1= 249 [mm] y D2= 232 [mm] (Acero-PVC), respectivamente, todas para una velocidad de 3 [m/s]. Los valores de óptimos de diseño (MOP, Criterios de Diseño de Agua Potable Rural, 2023) de la variación del largo (entre 1.0 y 2.0 [m/s]) varían entre 52.14 y 57.5 [m], 97.63 y 108.16 [m], 116.68 y 129.41 [m] para las combinaciones anteriormente mencionadas, respectivamente.

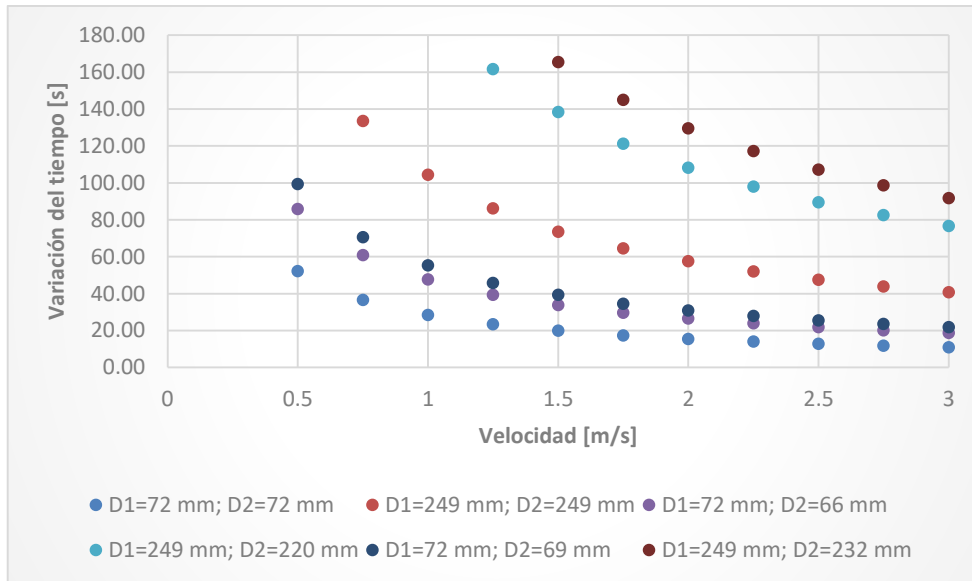


Gráfico 13: Variación del tiempo en diferentes velocidades iniciales con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5[m]$, $n= 100 [-]$. Fuente: Elaboración Propia.

Para el Gráfico 13 se aprecia que la variación del tiempo de desarrollo decrece de manera inversamente proporcional con respecto a la velocidad. Los valores máximos obtenidos son 78.23, 145.98 y 174.32 [s] para las combinaciones de $D1= 249 [mm]$ y $D2= 249 [mm]$ (Acero-Acero 20 años), $D1= 249 [mm]$ y $D2= 220 [mm]$ (Acero-HDPE) y $D1= 249 [mm]$ y $D2= 232 [mm]$ (Acero-PVC), respectivamente. Para la combinación Acero-Acero 20 años, los valores de las velocidades óptimas de diseño son 96.66 y 23.82 [s], para 1.0 y 2.0 [m/s] respectivamente.

6.2.1 Sensibilidad de las subpresiones en función del Largo Inicial de Acero y Velocidad del Fluido

En los Gráfico 14 y Gráfico 15 se presentan las máximas subpresiones obtenidas para dos combinaciones de materiales, siendo estas Acero-Acero 20 años y Acero-HDPE, para una velocidad del fluido de 1.5 [m/s], iteración 100 [-], con un largo de la impulsión 0.5 [km] y con 5 [m] de acero iniciales. En el Gráfico 14 se varía el largo efectivo del acero, mientras que el Gráfico 15 se varía la velocidad inicial.

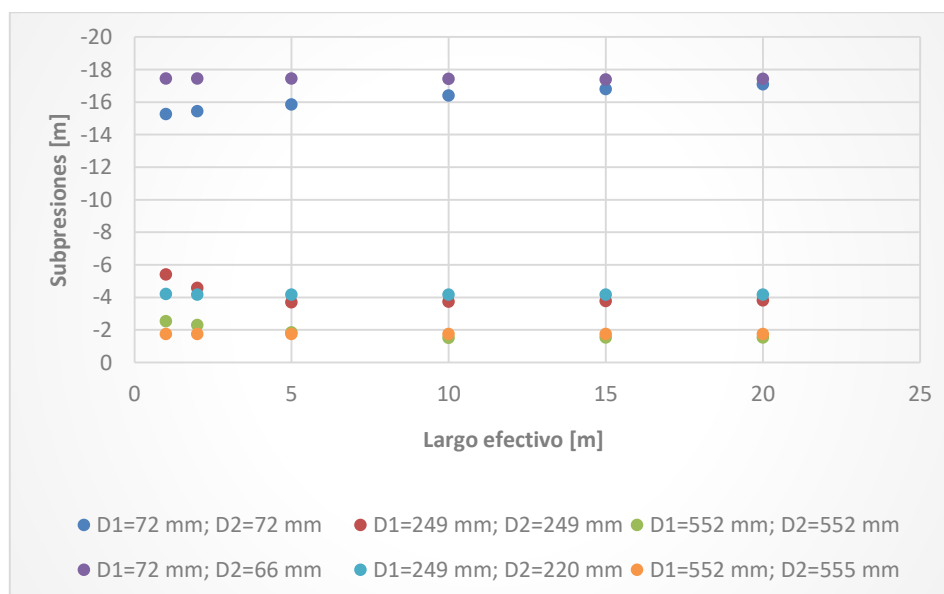


Gráfico 14: Máximos valores de subpresiones en diferentes variaciones del largo con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5[m]$, $n= 100 [-]$. Fuente: Elaboración Propia.

En base a los resultados del Gráfico 14, los valores máximos de subpresiones son -17,10 y -17,46 [m] para las combinaciones $D1= 72 [mm]$ y $D2= 72 [mm]$ (Acero-Acero 20 años), $D1= 72 [mm]$ y $D2= 66 [mm]$ (Acero-HDPE). Los valores obtenidos en cada caso tienden estabilizarse en valores fijos a medida que aumenta el largo efectivo del material inicial, siendo de 20 [m] para los diámetros menores a 75 [mm], y 5 [m] para los diámetros mayores a 200 [mm].

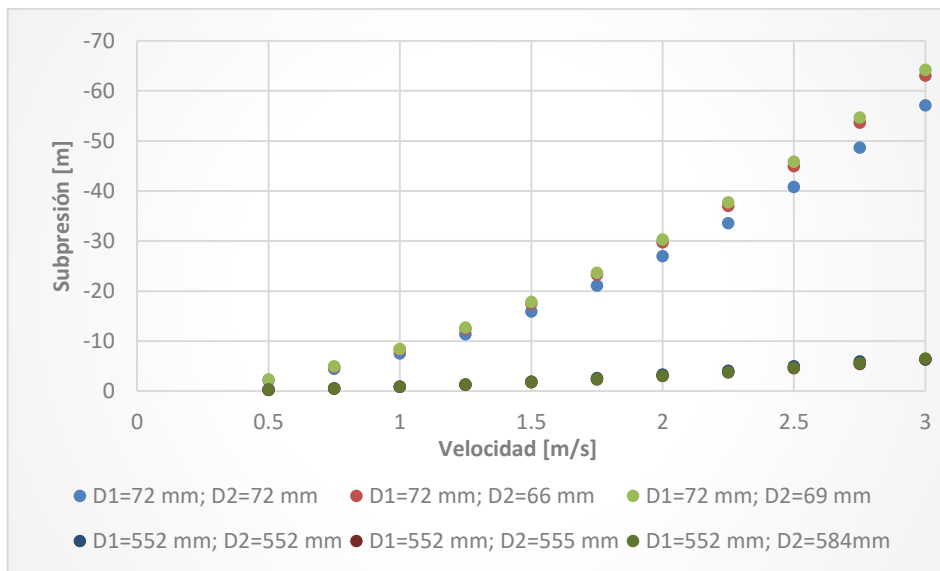


Gráfico 15: Máximos valores de subpresiones en diferentes velocidades con diferentes combinaciones, $L_{m1}= 5[m]$, $n= 100 [-]$. Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico 15, el valor máximo de subpresión llega a -64,21 [m] para la combinación $D1= 72 [mm]$ y $D2= 69 [mm]$ (Acero-PVC). Adicionalmente, el comportamiento del gráfico indica que los valores de subpresión van aumentando de manera proporcional con respecto al tiempo. Si queremos observar valores óptimos a diseño de subpresión se dan para velocidades de entre 1 y 2 [m/s] con la combinación $D1= 72 [mm]$ y $D2= 69 [mm]$ (Acero-PVC), siendo los resultados -8,38 y -30,28 [m], respectivamente.

6.2.2 Análisis General de Impulsión con Dos Materiales

Comparando los valores obtenidos para la variación del largo de desarrollo en los casos de una impulsión con la Impulsión con un Único Material, se puede apreciar que los valores de la variación del largo de desarrollo son de 53.379, 72.421 y 74.33 [m] para los materiales de Acero, Acero-PVC y PVC, respectivamente. Se puede concluir que la inclusión de un tramo inicial de 5 [m] de Acero produce una diferencia de 1.91 [m] en el largo de desarrollo del fenómeno, la cual puede ser considerada como despreciable.

Por otro lado, para la variación del tiempo de desarrollo los valores obtenidos son de 29.43, 40 y 41.05 [s] para los materiales de Acero, Acero-PVC y PVC, respectivamente. Según estos, se obtiene una diferencia entre el PVC y la combinación Acero-PVC de 1.05 [s] producida por los 5 [m] de Acero iniciales, la cual puede ser considerada como despreciable.

Finalmente, la subpresión máxima obtenida para las impulsiones de Acero, Acero-PVC y PVC son de -8.07, -8.35 y -5.82 [m], respectivamente. Este caso es interesante, dado que revela que para las impulsiones con tramo inicial de acero se obtienen resultados mayores que los valores del material por separado. Este comportamiento permite concluir que el material añadido al comienzo de la impulsión

influye directamente en la magnitud de las subpresiones. Se debe tener en consideración entonces que, si bien el acero posee una resistencia considerable a las subpresiones, este mismo puede generar que dichas subpresiones aumenten considerablemente al encontrarse ubicado al inicio del tramo de impulsión, donde se genera el pulso inicial del transiente hidráulico.

En el Gráfico 16 se representa el comportamiento de las subpresiones según la aceleración y velocidad calculadas, en función de la variación del largo del transiente hidráulico. Es posible notar que, la curva asociada a la disminución de la aceleración indica que hay un decrecimiento mayor de la subpresión en el tiempo en comparación a la curva de disminución de la velocidad, presentando diferencias notables desde el primer instante. Se puede apreciar que la curva asociada a la velocidad posee un cambio de pendiente en el punto donde termina el tramo de acero de 5 [m]. Este cambio se explica debido a que hay un cambio en el caudal porteadado del sistema, debido al cambio de diámetro y material de la tubería.

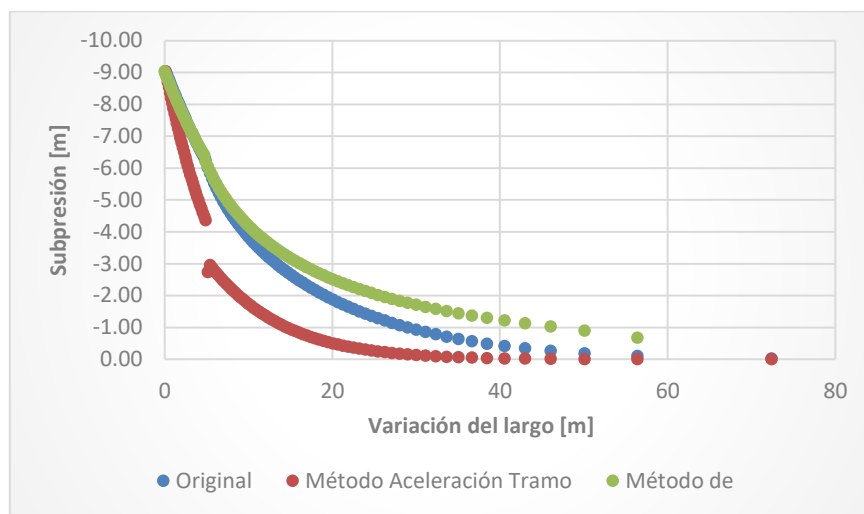


Gráfico 16: Comportamiento de la Subpresión según la aceleración del sistema v/s perfiles de velocidades del acero, $L=0.5$ [km], $L_{m1}= 5$ [m], $n=100$ [-], $v=1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico 17 presenta la aplicación de la Ecuación 17 de la velocidad de propagación varía desde que termina de desplazarse por el material de acero, hasta llegar a un valor convergente de 339.02 [m/s], mientras que el valor de la velocidad de propagación utilizando todo el largo de la tubería de 500 [m] sería de 322.56 [m/s]. Este cambio de valor es significativo teniendo en cuenta donde se desarrolla el transiente hidráulico y que el valor de propagación de onda ronda mayormente entre los 400 [m/s] dando una importancia la manera de interpretar y comprender el fenómeno.

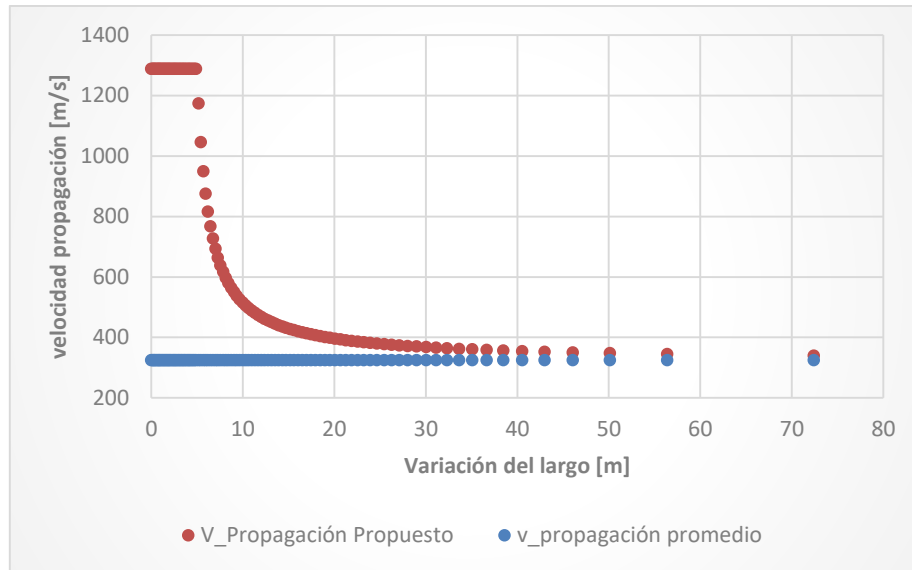


Gráfico 17: Perfil de velocidad de propagación v/s variación del largo. Fuente: Elaboración Propia.

Seguidamente, el Gráfico 18 representa las subpresiones con la Ecuación de Allievi con los perfiles de velocidad de propagación, mostrando valores muy dispares cerca del rango {0-10} [m] de variación del largo. Más allá de los 10 [m], los valores son completamente menores al previsto utilizando la media de toda la tubería, siendo un punto importante para destacar al analizar cuál valor de la velocidad de propagación media es importante considerar para un diseño, considerando que el tiempo total de este movimiento es 96.56 [s].

Este comportamiento del Gráfico 17 y Gráfico 18 refleja que si se cambia la perspectiva de análisis sobre el transiente hidráulico mediante la velocidad de propagación hay una diferencia notoria en los valores tanto de la velocidad de propagación como la subpresión. Si bien es cierto que a medida se detiene el fenómeno de manera física, llegando al instante que el movimiento sea nulo convergen los valores tanto para la velocidad de propagación con el perfil de subpresión.

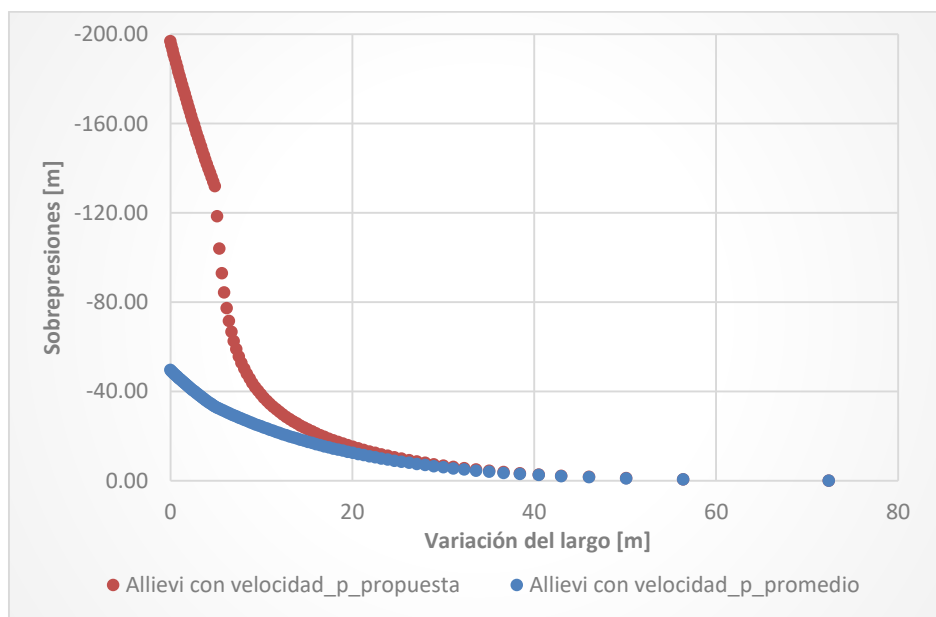


Gráfico 18: Subpresiones Allievi con los valores de velocidad de propagación v/s la variación del largo. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se puede concluir que los valores entregados de las subpresiones con las ecuaciones propuestas dependen de la magnitud según el largo de la impulsión, al tener que con 0.5 [km] no se aprecia el efecto de éste, mientras que si se aumenta a 5 [km] el valor da -82.53 [m], siendo aproximadamente 10 veces mayor que el valor original y poniendo en cuestionamiento acerca de la integración del largo impulsado.

6.3 Impulsión con Bomba(s) Sumergida(s)

Los resultados obtenidos se aplican el Estudio del Fenómeno de Transiente Hidráulico para los valores de variación del tiempo y largo, y el Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA) para los valores de subpresión con los materiales indicados, con los diámetros de los catálogos correspondientes.

Para resolver y obtener los valores correspondientes con dos materiales diferentes, considerando la impulsión completamente horizontal, se resuelve según indican los siguientes pasos:

- Utilizar los datos conocidos, como el perfil de velocidad (según se indica en la Ecuación 2), las características físicas de la tubería y el número de iteraciones realizadas. En el caso de los números de iteraciones se muestran los resultados de $n=100$ [-]
- Aplicar la Ecuación 18 para obtener el valor de la variación del largo (ΔL) de la tubería de cada iteración hasta llegar al punto donde la velocidad es 0 [m/s]. Para el valor de las cotas se considera la siguiente expresión
- Adicionalmente, para utilizar las pérdidas por fricción, en vez de aplicar la Ecuación 4 se utiliza la Ecuación 15 para la iteración
- Utilizar la Ecuación 26 para obtener la aceleración física (\vec{a}) del fluido del transiente hidráulico, considerando que la ecuación es posible interpretarla con los siguientes supuestos:

$$v_o \text{ y } v_f = \begin{cases} \text{Caso I:} & v_o = v_{j=0} ; \quad v_f = v_j \text{ Si } j \neq 0 \\ \text{Caso II:} & v_o = v_j ; \quad v_f = v_{j+1} \end{cases} \quad (38)$$

- Utilizando las 2 posibles aceleraciones obtenidas con los supuestos de la Ecuación 38, se calcula la variación del tiempo (Δt) mediante la Ecuación 24.
- Se analiza el caso que representa mejor la interpretación de las Ecuaciones, la cual se decide por el Caso I, para calcular el perfil de subpresiones propuestas de la bomba sumergida (ΔH_{fs}) utilizando la Ecuación 22, considerando la subpresión final como la diferencia entre los mayores y menores valores.
- Con los valores obtenidos en las etapas anteriores, se grafican los resultados con las variables que son de importancia para el análisis, como los diámetros ocupados, el material utilizado, la velocidad inicial y los valores obtenidos. Para tener un punto de comparación de los valores obtenidos se presenta las características de una tubería, la cual se presenta las características en la Tabla 10.

Adicionalmente se integra el análisis del balance de la fuerza para conocer si físicamente puede ocurrir el fenómeno del transiente hidráulico en la zona de la bomba sumergida con los siguientes procedimientos:

- Utilizar los datos conocidos, como el perfil de velocidad (según se indica en la Ecuación 2), las características físicas de la tubería y el número de iteraciones realizadas. En el caso de los números de iteraciones se muestran los resultados de $n=100$ [-].
- Asimismo, se calcula las fuerzas del movimiento del agua y la fuerza del transiente hidráulico mediante la Ecuación 31 y Ecuación 32 y les designamos una notación, mostrada en las ecuaciones de a continuación:

$$F_A = m * \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} - g \right) \quad (39)$$

$$F_{TH} = \Delta H_{fs} * \rho * A \quad (40)$$

Donde F_A es la fuerza del movimiento del agua, causado por el golpe ariete en [N], F_{TH} es la fuerza de la fuerza del transiente hidráulico en [N], ΔH_{fs} es la subpresión del golpe ariete en bomba sumergida

propuesta en [m], A es el área interior de la tubería en [m²], m es la masa total del agua dentro de la tubería en [kg] y ρ es la densidad del agua en [kg/m³].

- Se comparan ambos resultados obtenidos por la Ecuación 39 y Ecuación 40 con el objetivo de percatarse la expresión dominante entre el transiente hidráulico o el movimiento del agua y averiguar si el transiente hidráulico es factible en esta condición.

$$s_n = \frac{F_A}{F_{TH}} \quad (41)$$

$$s_n = \begin{cases} \text{Caso A:} & \text{Si } s_n > 1 ; \text{ "Domina agua"} \\ \text{Caso B:} & \text{Si } s_n < 1 ; \text{ "Domina transiente hidráulico"} \end{cases} \quad (42)$$

Donde s_n es el razonamiento entre la Fuerza del movimiento del agua, representada como F_A y la fuerza del transiente hidráulico, representado como F_{TH} , en unidades adimensionales [1].

- Con los valores obtenidos en las etapas anteriores, se grafican los resultados con las variables que son de importancia para el análisis, como la variación de largo de desarrollo y del tiempo.

Finalmente, para el Análisis General de Impulsión con Bomba(s) Sumergida(s) se adiciona los puntos de velocidad entre 1 y 2 [m/s] con la finalidad de añadir la perspectiva de los valores con mayor envergadura de un proyecto hidráulico. Es más, los valores límite de velocidad 0.5 y 3.0 [m/s] son referencia de las normas chilenas (INN, Nch 1105: Ingeniería sanitaria-Alcantarillado de aguas residuales-Diseño y cálculo de redes, 2019) y (INN, Nch 691: Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño, 2015) y referencia en libros de hidráulica (MOP, Criterios de Diseño de Agua Potable Rural, 2023) y (MOP, Criterios de Diseño de Saneamiento Rural, 2023).

6.3.1 Escenario Base para el Análisis

Utilizando las características de la Tabla 10, y aplicando la Ecuación 17 y Ecuación 22 para un tramo de tubería en vertical, el valor obtenido para la variación del largo de desarrollo es de 0.114 [m], con un tiempo de 0.06 [s].

Tabla 10: Resumen de las características de la tubería de Acero D=140 [mm], n=100 y v=1.5 [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Simbología	n%	C _{HW}	ΔL	Δt	ΔH _{fs}	n	D _e	e	v
Unidad	%	-	m	s	m	-	mm	mm	m/s
Datos	5	130	0.114	0.08	- 150.365	100	152	6	1.5

En el Gráfico 19 se puede observar que este presenta una tendencia diferente en comparación al Gráfico 1 para una impulsión horizontal, dado que en el caso actual la fuerza de gravedad actúa en dirección paralela y sentido contrario a la dirección de movimiento del fluido, haciendo que el caudal portado decrezca abruptamente una vez se ha cerrado la válvula.

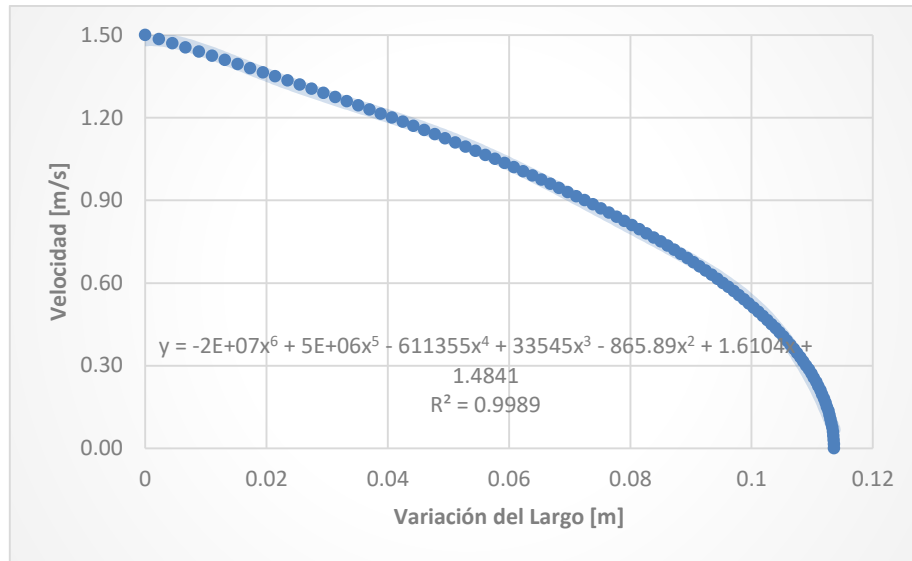


Gráfico 19: Perfil de Velocidad a lo largo de la impulsión de Acero, $L_s= 50$ [m], $D= 140$ [mm]; $v= 1.5$ [m/s]; $n= 100$ [-]. Fuente: Elaboración Propia.

6.3.2 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función del Diámetro de Tubería

En el Gráfico 20 y Gráfico 21 se presentan las variaciones del largo y tiempo de desarrollo en función del diámetro de la tubería, considerando un largo vertical de tubería (profundidad) de 50 [m], una velocidad inicial de 1.5 [m/s] e iteración 100 [-].

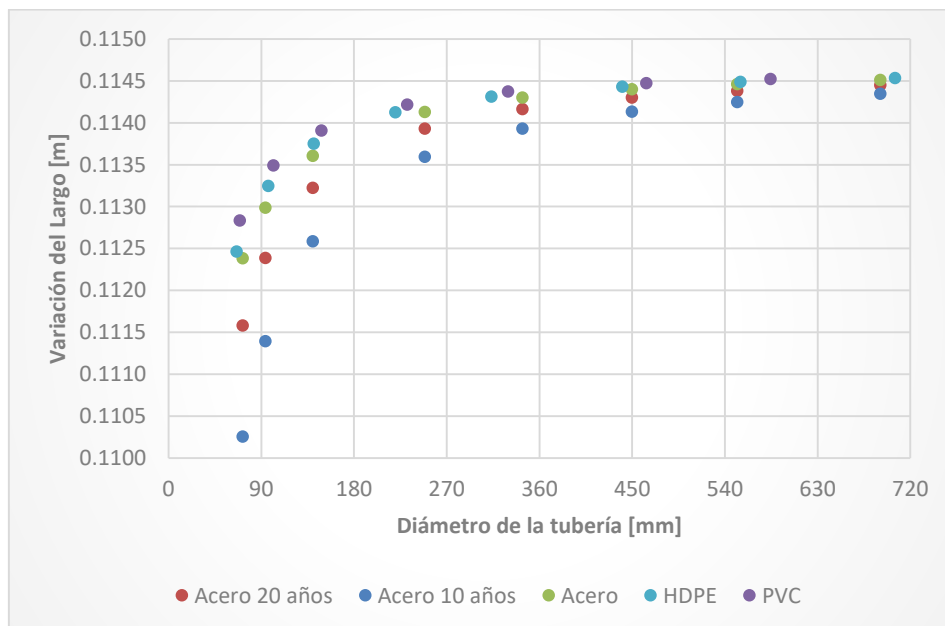


Gráfico 20: Variación del largo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería, $L_s=50$ [m], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Según los valores obtenidos del Gráfico 20, la variación del largo de desarrollo aumenta hasta converger a un valor de 0.1145 [m] para el material HDPE de 705.2 [mm] de diámetro.

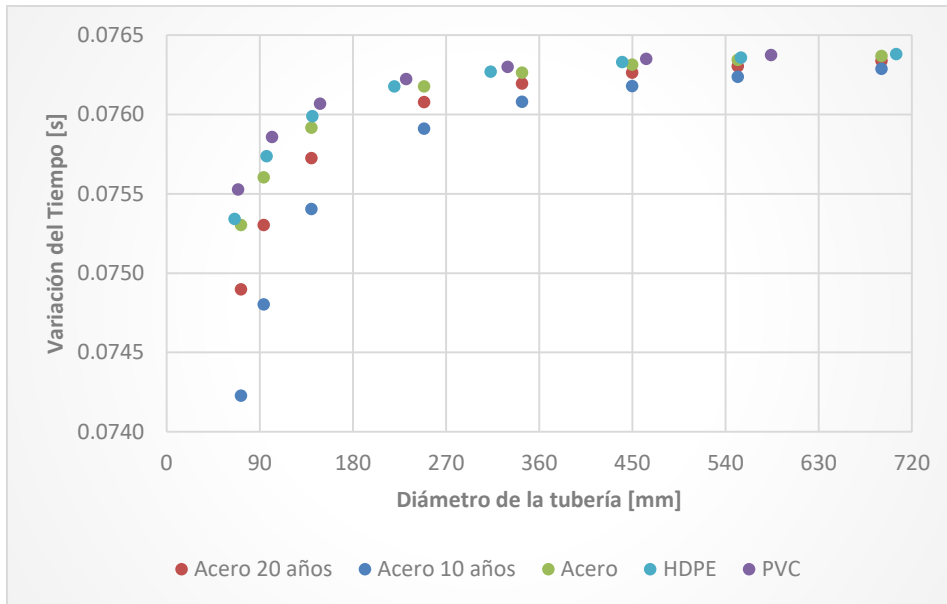


Gráfico 21: Variación del tiempo final en diferentes materiales de diferentes diámetros de tubería, $L_s = 50$ [m], $n = 100$ [-], $v = 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo, el Gráfico 21 presenta una tendencia similar para el tiempo de desarrollo en función del diámetro, con un valor máximo de 0.06326 [s] para el material HDPE con un diámetro de 705.2 [mm].

6.3.3 Sensibilidad del Largo y Tiempo de Desarrollo en función de la Velocidad del Fluido

En los Gráfico 22 y Gráfico 23 se presenta la variación del largo y tiempo de desarrollo del fenómeno en función de la velocidad inicial del fluido, la cual oscila entre 0.5 y 3.0 [m/s], y para diámetros nominales de 140, 141 y 148.4 [mm] en distintos materiales.

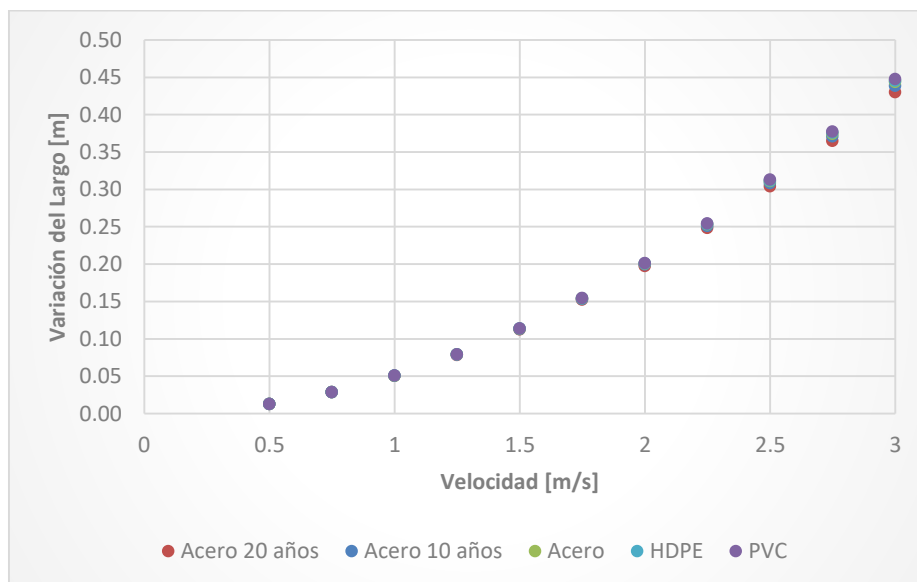


Gráfico 22: Variación del Largo de diferentes velocidades iniciales con diferentes materiales, $L_s = 50$ [m], $n = 100$ [-], $DN = \{140; 141; 148.4\}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.

En base a los resultados del Gráfico 22, se observa un comportamiento creciente con una ligera curvatura para el largo de desarrollo en función de la velocidad inicial del fluido. El valor máximo de

la variación del largo de desarrollo es 0.44782 [m], correspondiente al material PVC. En este caso, la variación entre los valores de los diferentes materiales se puede considerar nula al apreciar que mientras aumenta la velocidad, se manifiesta una holgura entre los valores de los diferentes materiales. En cuanto al rango óptimo de diseño, se tiene que los valores son de 0.05081 y 0.20155 [m] para velocidades de 1.0 y 2.0 [m/s] respectivamente.

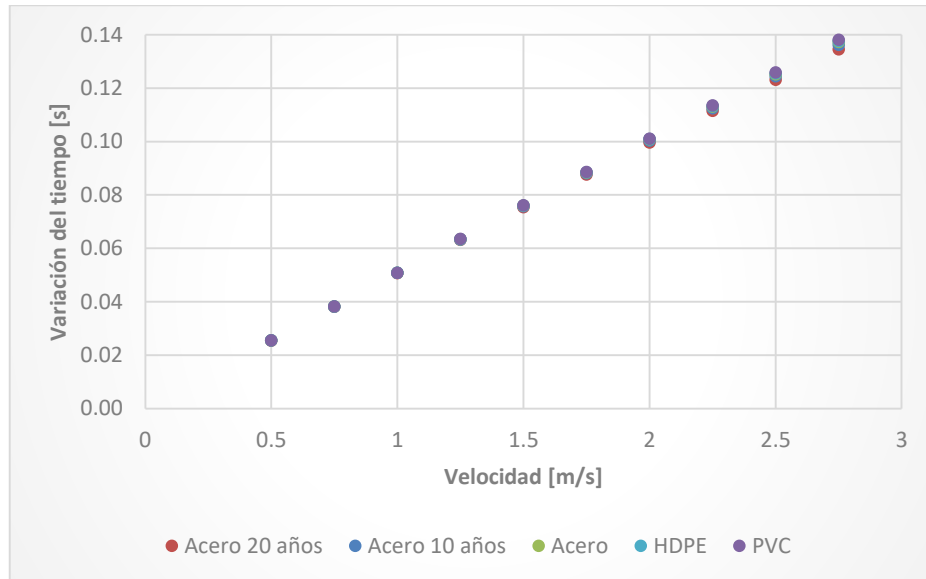


Gráfico 23: Variación del tiempo de diferentes velocidades iniciales con diferentes materiales, $L_s = 50$ [m], $n = 100$ [-], $DN = \{140; 141; 148.4\}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados del Gráfico 23 indican un crecimiento lineal de la variación del tiempo de desarrollo del fenómeno con la velocidad inicial del fluido, mostrando una discrepancia en los resultados de los materiales a medida que la velocidad aumenta.

6.3.4 Sensibilidad de las subpresiones función del Diámetro de Tubería y Velocidad del Fluido

En los Gráfico 24 y Gráfico 25 se presentan las subpresiones máximas de los diferentes materiales, en función de los diámetros de la tubería y velocidad inicial del fluido, respectivamente.

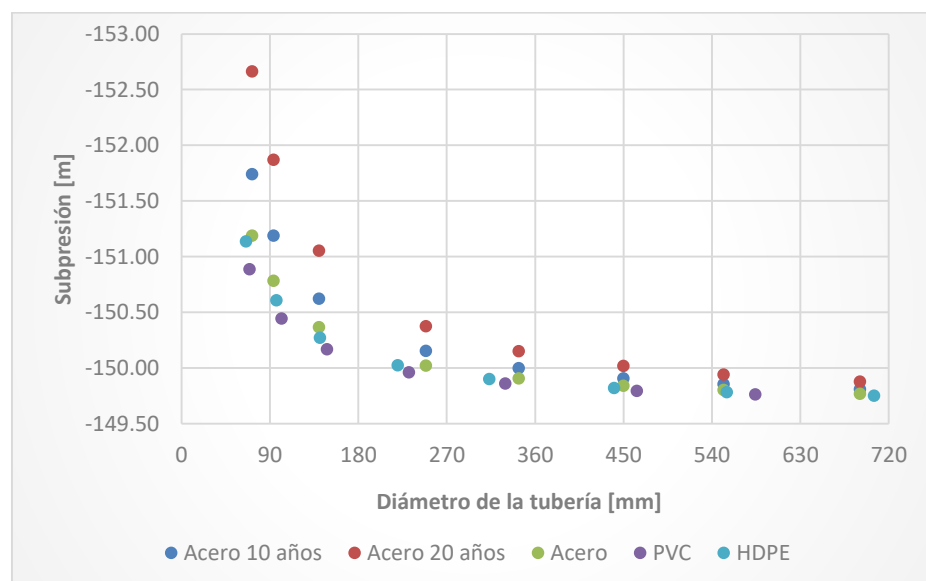


Gráfico 24: Máximas subpresiones de diferentes diámetros de tubería con diferentes materiales, $L_s=50$ [m], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

En base a los resultados del Gráfico 24 se obtiene un comportamiento similar al presentado en el Gráfico 6, donde los valores máximos de subpresión se presentan para los diámetros menores, decreciendo de manera inversamente proporcional. Todos los valores tienden a -153 y -149,5 [m] para diámetros grandes. El máximo valor de subpresión es -152.66 [m], el cual corresponde al material Acero de 20 años, de 72 [mm] de diámetro.

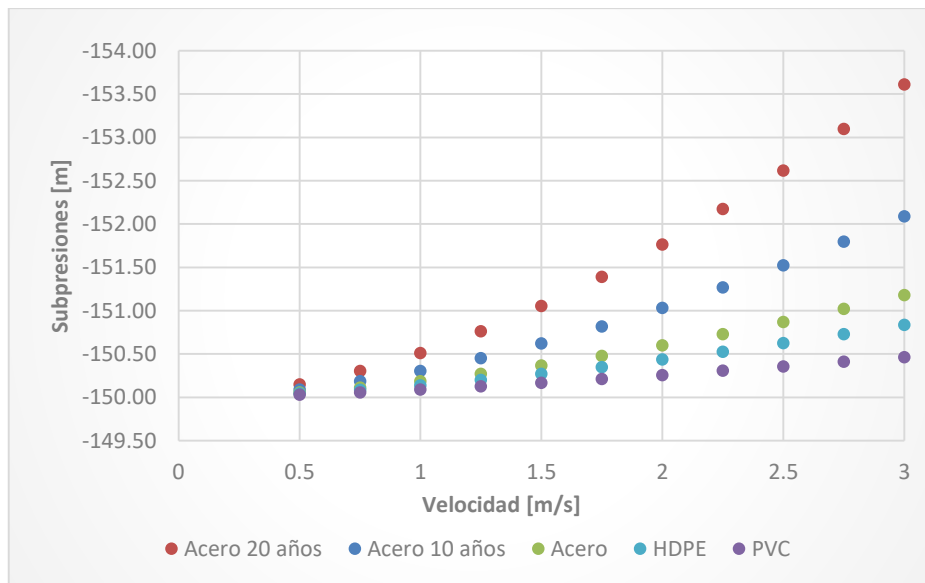


Gráfico 25: Máximas subpresiones de diferentes velocidades iniciales con diferentes materiales, $L_s= 50$ [m], $n= 100$ [-], $DN= \{140; 141; 148.4\}$ [mm]. Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico 25 se presenta un comportamiento similar al Gráfico 7 y Gráfico 15, donde los valores de subpresión tienden a aumentar a medida que la velocidad inicial aumenta. Todos los valores obtenidos para velocidades bajas son del orden de -150 [m], mientras que el máximo absoluto es de -153,61 [m] para el material Acero de 20 años con una velocidad inicial del fluido de 3.0 [m/s].

En el Gráfico 26 se presenta el comportamiento de las subpresiones según la aceleración y velocidad calculadas, en función de la variación del largo del transiente hidráulico.

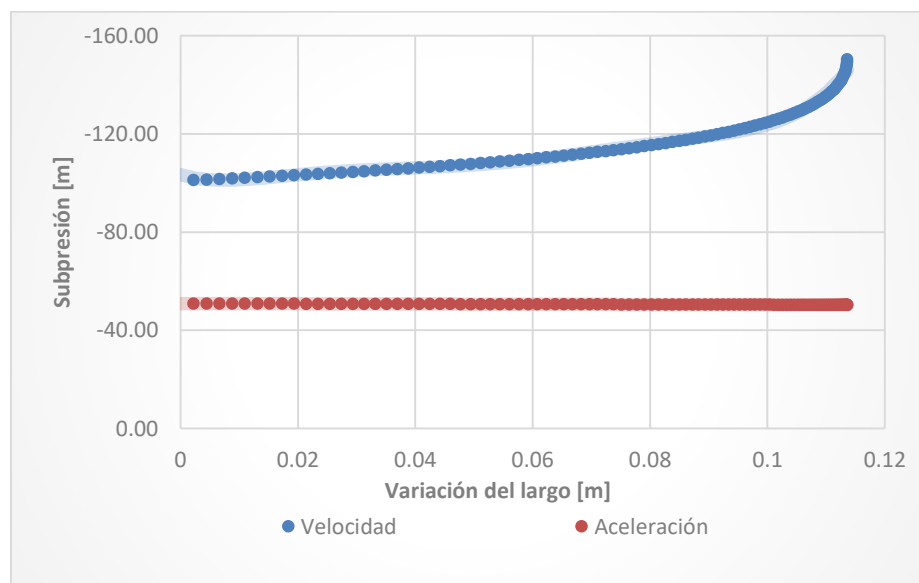


Gráfico 26: Comportamiento de la Subpresión según la aceleración del sistema v/s perfiles de velocidades del acero, $L_s= 50$ [m], $n=100$ [-], $v= 1.5$ [m/s]. Fuente: Elaboración Propia.

El valor máximo de subpresión utilizando la curva asociada a la aceleración es de $-50,9$ [m], mientras que utilizando la curva asociada a la velocidad se tiene un valor de $-150,365$ [m].

6.3.5 Análisis General de Impulsión con Bomba(s) Sumergida(s)

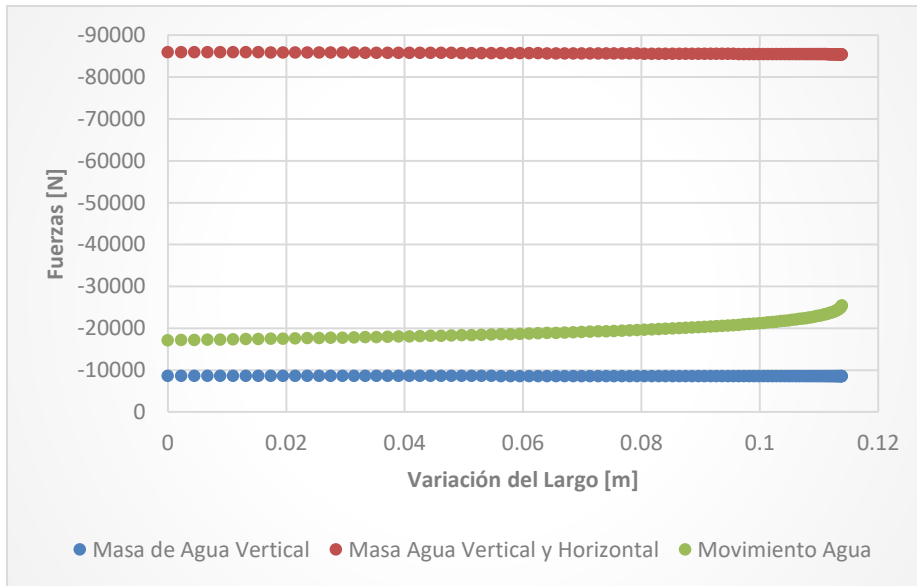
Comparando los valores obtenidos para la bomba sumergida (impulsión en vertical), con los valores de la bomba centrífuga (impulsión en horizontal), es posible notar que estos difieren ampliamente. Respecto, a la variación del largo de desarrollo, se determina que para una impulsión de acero y bomba en seco el valor máximo es de 53.279 [m], mientras que para una bomba sumergida del mismo material se obtiene un valor máximo muy inferior de 0.114 [m]. Estos valores indican que, si la tubería tiene un cierto tipo de inclinación hacia la vertical, la disminución en el largo de desarrollo del fenómeno del golpe ariete puede llegar a ser significativa.

Adicionalmente, los valores de la variación del tiempo de desarrollo son de 29.43 y 0.0627 [s] para la bomba en seco y sumergida, respectivamente. El análisis de estos valores indica una tendencia similar a la de la variación del largo, poniendo especial énfasis en que el tiempo en que transcurre el transiente hidráulico es bastante pequeño, menor a 0.1 [s], acentuando las diferencias entre el fenómeno observado en una tubería horizontal y vertical.

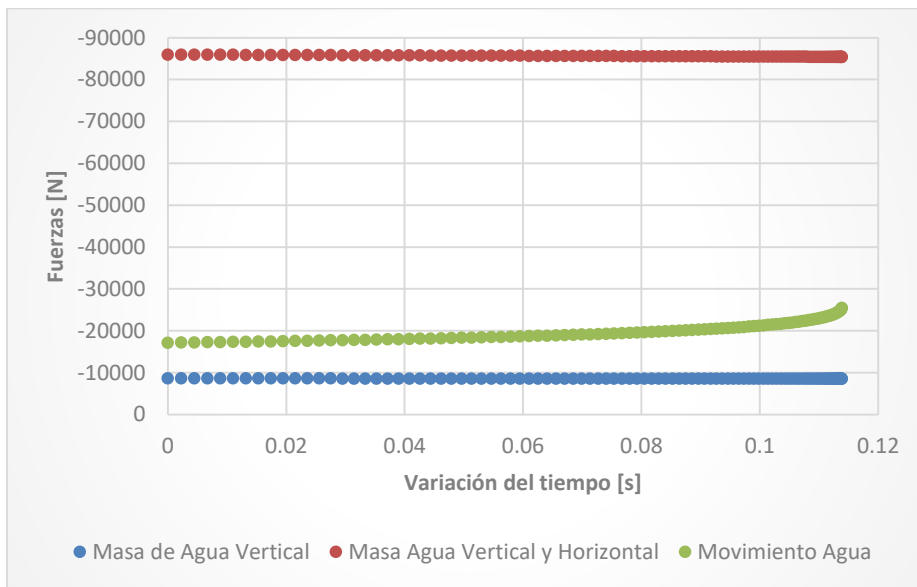
Para los valores de subpresión máxima se da una situación particular. Los valores de subpresión corresponden a -50.9 y $-150,37$ [m], en función de la aceleración y velocidad respectivamente, para una bomba sumergida y $-10,95$ [m] para una bomba centrífuga. Estos valores toman relevancia, considerando que los largos analizados son completamente diferentes. El largo de la columna de impulsión de una bomba sumergida depende de la profundidad del pozo y del nivel dinámico, los cuales no suelen presentar profundidades mayores a los 100 [m] para instalar la bomba.

Teniendo en consideración los resultados, es posible concluir que las subpresiones en impulsiones verticales serán un problema en la medida en que el pozo no sea muy profundo, debiéndose considerar un método de mitigación, independiente del diámetro de tubería o la velocidad inicial del fluido.

En los Gráfico 27 y Gráfico 28 se presenta el balance entre la fuerza de movimiento y el peso del agua, en función de la variación del largo de desarrollo, el cual es el parámetro que interesa determinar para saber si ocurre o no el fenómeno. Tal como se puede apreciar, para que pueda ocurrir el movimiento del agua debe superar a una fuerza entre 85.938 y 85.394 [N] del agua para que pueda ocurrir el fenómeno, siendo así imposible que pueda ocurrir el transiente hidráulico dentro de la tubería de manera vertical. Sin embargo, si sólo tenemos en cuenta las componentes verticales, el movimiento del agua le gana a los 50 [m] de columna de agua, concluyendo que la impulsión total sea el factor principal que el transiente hidráulico sea nulo.



**Gráfico 27: Balance de fuerzas del movimiento del agua (azul) v/s el peso de la columna de agua (rojo) por medio de la variación del largo, $L_s=50$ [m], $D= 140$ [mm], $n= 100$ [-], $v= 1.5$ [m/s].
Fuente: Elaboración Propia.**



**Gráfico 28: Balance de fuerzas del movimiento del agua (azul) v/s el peso de la columna de agua (rojo) por medio de la variación del tiempo, $L_s=50$ [m], $D= 140$ [mm], $n= 100$ [-], $v= 1.5$ [m/s].
Fuente: Elaboración Propia.**

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- La formulación propuesta del fenómeno de transiente hidráulico físico para casos con bombas de poca a nula inercia da como resultados subpresiones con valores significativos si las comparamos con los valores teóricos de Allievi. Estos valores se correlacionan según el largo de la tubería, observando discrepancias con las magnitudes de la subpresión tanto como en 0.5 [km] que 1.0 [km]. Asimismo, la razón entre las subpresiones de diferentes largos tiene un comportamiento diferente con los diámetros, obteniendo mayor magnitud en diámetros más estrechos, observando que aumentar el diámetro es una manera de mitigar el impacto del transiente hidráulico. Adicionalmente, se obtienen diferentes valores según respecta a la rugosidad del material, siendo la tendencia que mientras mayor sea la rugosidad (coeficiente de Hazen-Williams) los valores de las subpresiones, variaciones del largo del desarrollo y tiempo son mayores comparándolos con la velocidad y los diámetros de la tubería.
- No obstante, los valores obtenidos del Gráfico 5 y Gráfico 6 el comportamiento es ajeno a lo que se esperaba. Este tipo de resultados concluyen que las pérdidas por fricción pueden generar un efecto tal que sea completamente opuesto a lo esperado, siendo un factor importante para decidir sobre utilizar tuberías con mayor diámetro con el fin de mitigar las subpresiones generadas.
- Considerando la tubería con diferentes pendientes se alcanzan valores completamente diversos con la tubería completamente horizontal para tanto los valores de las subpresiones como las variables calculadas de las variaciones del largo de desarrollo, tiempo y la aceleración. Esto indica que mientras se presente mayor desnivel en la impulsión, las variables evaluadas poseen valores claramente diferentes al caso horizontal, viéndose reflejado este efecto en la variación del largo. Por lo que se concluye que mientras la pendiente de la tubería sea mayor, exhibe la irrelevancia del efecto del roce de la tubería, al mostrar que los valores tienden a ser semejantes.
- Las combinaciones de diferentes materiales notamos que las variaciones del tiempo y del largo de desarrollo se asemeja al material 1, el cual en este caso es el acero. No obstante, las subpresiones se ven directamente afectadas por el material inicial, siendo mitigado por el efecto de la transición del material de HDPE y PVC. Muy al contrario, con el enfoque en la velocidad de propagación y las subpresiones calculadas con Allievi, exponiendo la diferencia si se estudia la expresión de las velocidades de propagación considerando la perspectiva física del transiente hidráulico.
- Respecto al caso de la bomba sumergida, se concluye que, si comparamos la profundidad del pozo con las subpresiones, tenemos que los valores de subpresión son inquietantes con la magnitud de -150 [m.c.a] con nivel dinámico de 50 [m], independiente del material o diámetro de la tubería. De igual forma, las variaciones del largo de desarrollo o el desplazamiento vertical del fluido no alcanza el metro de altura, asumiendo que gane a la aceleración de gravedad. En estos casos, se deduce que la fuerza del peso del agua tiene una magnitud mayor que la fuerza generada por el transiente hidráulico, derivando que para acontezca el transiente hidráulico debe ser una bomba con mayor potencia del alcance del trabajo.
- Si comparamos los valores de las subpresiones obtenidas con los valores de Allievi, encontrados en el Anexo, en el subcapítulo Resultados Subpresión Allievi, tenemos que para los valores con pendiente o con la bomba sumergida tiene el potencial de sobrepasar valores del acero, siendo este uno de los casos más desfavorables. Se concluye que los casos más alarmantes son para impulsiones con longitudes mayores de 1 [km] con una pendiente mayor de 0.1 [-].
- Los resultados entre la bomba sumergida y con pendiente son homólogos según la magnitud y la tendencia de las variables analizadas, sin mencionar que son los casos más recurrentes en proyectos de Agua Potable Rural (APR). Aunque los resultados de la impulsión horizontal son

de una mayor magnitud, no se puede negar el hecho que no es factible tener una impulsión de longitud extensa sin la necesidad de tener tramos con diferentes pendientes, por lo que se concluye que los casos más importantes bajo esta perspectiva serían de Análisis con Diferentes Pendiente, considerando unos metros de longitud horizontal, sea con un material o 2 diferentes (siendo el material 1 normalmente de Acero) y/o Impulsión con Bomba(s) Sumergida(s).

7.2 Recomendaciones

- ✓ Los resultados obtenidos requieren un análisis experimental, con el enfoque en obtener los valores de las variables importantes para los diferentes casos, mostrado un esquema en la Figura 3. En ese sentido, se resumen los casos de la figura mencionada de esta manera:
 - a. **Caso 1.a:** Es el equivalente a la Impulsión con un material o Impulsión con Dos materiales.
 - b. **Caso 1.b:** Es el equivalente al Análisis con diferente pendiente.
 - c. **Caso 2:** Es el equivalente a la impulsión con bomba(s) sumergida(s).
- ✓ Es factible utilizar diferentes materiales para mitigar el costo de una impulsión con las velocidades bajas para prevenir utilizar equipos de protección para el transiente hidráulico.
- ✓ Análogamente, el golpe de ariete es mitigado considerando diferentes materiales, por lo que es posible modificar el material para unir el sistema de bombas, como un tipo de solución alternativa para ciertos casos así como utilizar unos 5 o 10 [m] de acero para impulsiones de PVC y HDPE.

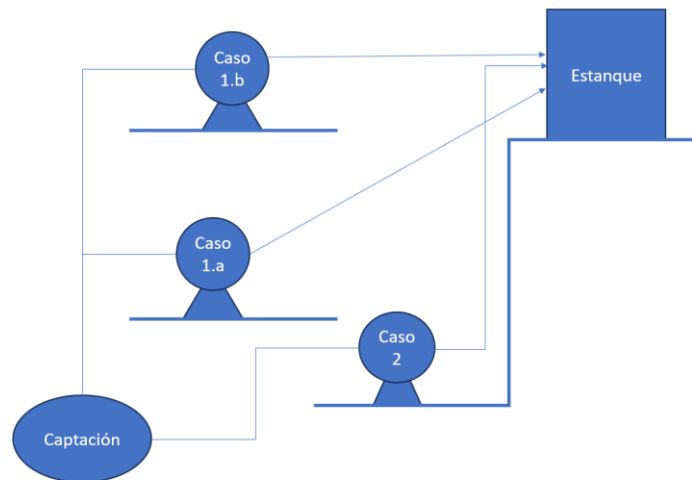


Figura 3: Propuesta de los casos para experimentar los casos analizados. Fuente: Elaboración Propia.

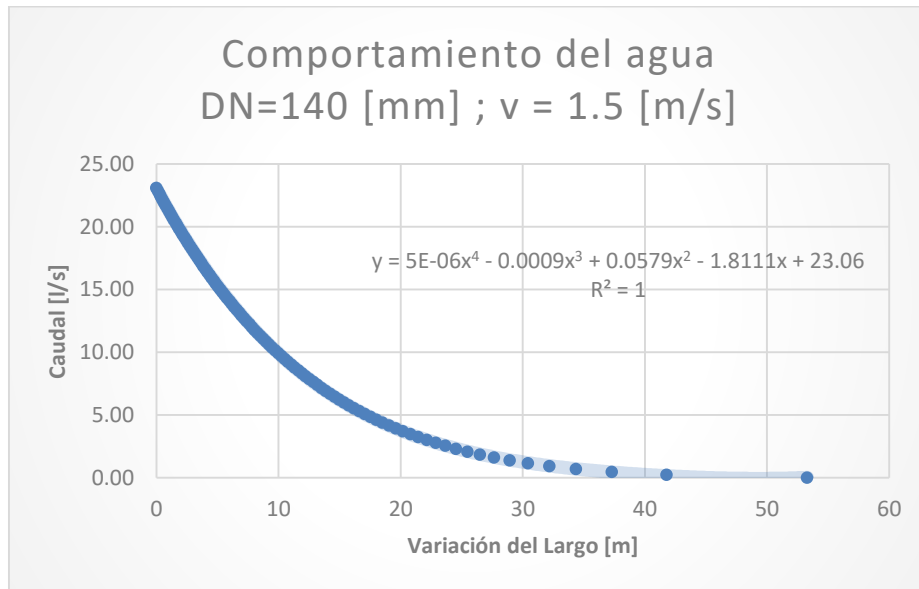
8 Referencias

- Allievi, L. (1903). *Teoria generale del moto perturbato dell'acqua nei tubi in pressione*. Roma.
- Allievi, L. (1913). Teoria del colpo d'ariete. En *Atti del Collegio degli Ingegneri ed Architetti* (págs. 14-49, 336-373, 558-575, 649-667). Milán.
- Evio Alegret Breña, Y. M. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *SciELO Cuba*.
- GS Williams, A. H. (1905). Hydraulic tables: showing the loss of head due to the friction of water flowing in pipes, aqueducts, sewers, etc. and the discharge over weirs. *J. Wiley*.
- INN. (2015). *Nch 691: Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño*. Norma Chilena.
- INN. (2019). *Nch 1105: Ingeniería sanitaria-Alcantarillado de aguas residuales-Diseño y cálculo de redes*. Norma Chilena.
- J.M. Abreu, E. C. (1995). El golpe de ariete en tuberías de impulsión. Comentarios a las expresiones de Mendiluce. *Ingeniería del agua, Volumen 2*, 37-52.
- Johana León Castellanos, L. E. (2012). *ANÁLISIS Y EVALUACION DE RIESGOS EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE TUBERIAS DE POLIETILENO EN REDES DE ACUEDUCTO*. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados.
- Joukowski. (1898). Memoirs of the Imperial Academy Society of St. Petersburg. *Water Works Association*, 341-424.
- M., H. M. (2013). *Hidráulica Aplicada al diseño de obras*. Santiago: Masters RiL.
- Mery, H. (1982). *Sistema de Agua Potable*. Santiago.
- Michaud, G. (1878). Coups de bélier dans les conduites. Etude des moyens employés pour en atténuer les effets. *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*, 4.4, 56-64,65-77.
- Mohamed Ghidaoui, M. Z. (2005). A Review of Water Hammer Theory and Practice. *Applied Mechanics Reviews*, Volume 58, 49-76.
- MOP. (2023). *Criterios de Diseño de Agua Potable Rural*. MANUAL DE PROYECTOS AGUA POTABLE RURAL.
- MOP. (2023). *Criterios de Diseño de Saneamiento Rural* (Primera ed.). MANUAL DE PROYECTOS DE AGUAS SERVIDAS RURAL.
- Rahul Kumar Garg, A. K. (2021). Analysis of wave damping in pipeline having different pipe materials configuration under water hammer conditions. *Research Square*.
- Ruqiong Qin, C. D. (2017). The principle an applications of Bernoulli equation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-6.
- Rural, I. (s.f.). Tema 10. El golpe de ariete. En *Cátedra de Ingeniería Rural* (págs. 1-19). Ciudad Real: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real.
- Tan Wee Choon, L. K. (2012). Investigation of Water Hammer Effect Through Pipeline System. *Advance Science Engineering Information Technology*, 48-53.
- Urbanowicz, K. (2017). Analytical Expressions for effective weighting functions used during simulations of water hammer. *Journal of theoretical and applied mechanics*, 1030-1040.

9 Anexo

9.1 Cálculo del Resultado y Análisis

9.1.1 Tubería de Acero D=140 mm, C_{HW}=130 [-]



DATOS		
γ_{agua}	1000	
K		-
%P Singulares	5	%
C _{HW}	130	-
DI	53,279	m
L	500	m
Δt_{Total}	71,04	s
P	-8,070	m
n	100	-
D _i	152	mm
e	6	mm

v	1,5	m/s
D _{Nominal}	0,140	m
A	0,0154	m ²
Q	23,09	l/s

ΔL_i	Q_i	ΔH	Δt_i	Bernoulli			Balance
				Z_i	$v_i^2/2g$	P_i/γ	E_i
m	l/s	m	s	m			m
0	23,09		0,000	0	0,115	0	0,11467890
0,126	22,86	-9,031	0,085	0	0,112	0,0023	0,11467890
0,254	22,63	-8,944	0,171	0	0,11	0,0045	0,11467890
0,382	22,40	-8,858	0,259	0	0,108	0,0068	0,11467890
0,512	22,17	-8,771	0,348	0	0,106	0,009	0,11467890
0,643	21,94	-8,684	0,440	0	0,103	0,0112	0,11467890
0,775	21,71	-8,597	0,533	0	0,101	0,0133	0,11467890
0,908	21,47	-8,510	0,628	0	0,099	0,0155	0,11467890
1,042	21,24	-8,424	0,725	0	0,097	0,0176	0,11467890
1,178	21,01	-8,337	0,823	0	0,095	0,0197	0,11467890
1,315	20,78	-8,250	0,924	0	0,093	0,0218	0,11467890
1,453	20,55	-8,163	1,027	0	0,091	0,0238	0,11467890
1,593	20,32	-8,076	1,132	0	0,089	0,0259	0,11467890
1,734	20,09	-7,989	1,240	0	0,087	0,0279	0,11467890
1,876	19,86	-7,902	1,349	0	0,085	0,0299	0,11467890
2,020	19,63	-7,815	1,462	0	0,083	0,0318	0,11467890
2,165	19,40	-7,728	1,576	0	0,081	0,0338	0,11467890
2,312	19,17	-7,641	1,693	0	0,079	0,0357	0,11467890
2,460	18,93	-7,553	1,813	0	0,077	0,0376	0,11467890
2,609	18,70	-7,466	1,935	0	0,075	0,0394	0,11467890
2,761	18,47	-7,379	2,061	0	0,073	0,0413	0,11467890
2,914	18,24	-7,292	2,189	0	0,072	0,0431	0,11467890
3,068	18,01	-7,205	2,320	0	0,07	0,0449	0,11467890
3,225	17,78	-7,117	2,455	0	0,068	0,0467	0,11467890
3,383	17,55	-7,030	2,592	0	0,066	0,0484	0,11467890
3,542	17,32	-6,943	2,733	0	0,065	0,0502	0,11467890
3,704	17,09	-6,855	2,878	0	0,063	0,0519	0,11467890
3,867	16,86	-6,768	3,026	0	0,061	0,0536	0,11467890
4,033	16,63	-6,681	3,179	0	0,059	0,0552	0,11467890
4,200	16,39	-6,593	3,335	0	0,058	0,0569	0,11467890
4,370	16,16	-6,506	3,495	0	0,056	0,0585	0,11467890
4,541	15,93	-6,418	3,659	0	0,055	0,0601	0,11467890
4,715	15,70	-6,330	3,828	0	0,053	0,0617	0,11467890
4,891	15,47	-6,243	4,002	0	0,051	0,0632	0,11467890
5,069	15,24	-6,155	4,180	0	0,05	0,0647	0,11467890
5,249	15,01	-6,067	4,364	0	0,048	0,0662	0,11467890
5,432	14,78	-5,980	4,553	0	0,047	0,0677	0,11467890
5,617	14,55	-5,892	4,747	0	0,046	0,0692	0,11467890
5,805	14,32	-5,804	4,948	0	0,044	0,0706	0,11467890
5,995	14,09	-5,716	5,154	0	0,043	0,072	0,11467890
6,188	13,85	-5,628	5,366	0	0,041	0,0734	0,11467890
6,384	13,62	-5,540	5,586	0	0,04	0,0748	0,11467890
6,582	13,39	-5,452	5,812	0	0,039	0,0761	0,11467890

6,784	13,16	-5,364	6,046	0	0,037	0,0774	0,11467890
6,988	12,93	-5,276	6,287	0	0,036	0,0787	0,11467890
7,196	12,70	-5,187	6,537	0	0,035	0,08	0,11467890
7,407	12,47	-5,099	6,795	0	0,033	0,0812	0,11467890
7,621	12,24	-5,011	7,062	0	0,032	0,0825	0,11467890
7,839	12,01	-4,922	7,338	0	0,031	0,0837	0,11467890
8,061	11,78	-4,834	7,625	0	0,03	0,0849	0,11467890
8,286	11,55	-4,745	7,922	0	0,029	0,086	0,11467890
8,515	11,31	-4,657	8,230	0	0,028	0,0871	0,11467890
8,748	11,08	-4,568	8,551	0	0,026	0,0883	0,11467890
8,985	10,85	-4,479	8,884	0	0,025	0,0893	0,11467890
9,226	10,62	-4,390	9,230	0	0,024	0,0904	0,11467890
9,472	10,39	-4,301	9,590	0	0,023	0,0915	0,11467890
9,723	10,16	-4,212	9,966	0	0,022	0,0925	0,11467890
9,979	9,93	-4,123	10,358	0	0,021	0,0935	0,11467890
10,239	9,70	-4,034	10,767	0	0,02	0,0944	0,11467890
10,506	9,47	-3,945	11,194	0	0,019	0,0954	0,11467890
10,777	9,24	-3,855	11,641	0	0,018	0,0963	0,11467890
11,055	9,01	-3,766	12,110	0	0,017	0,0972	0,11467890
11,338	8,77	-3,676	12,601	0	0,017	0,0981	0,11467890
11,628	8,54	-3,587	13,117	0	0,016	0,099	0,11467890
11,925	8,31	-3,497	13,659	0	0,015	0,0998	0,11467890
12,229	8,08	-3,407	14,230	0	0,014	0,1006	0,11467890
12,541	7,85	-3,317	14,831	0	0,013	0,1014	0,11467890
12,860	7,62	-3,227	15,467	0	0,012	0,1022	0,11467890
13,188	7,39	-3,136	16,139	0	0,012	0,1029	0,11467890
13,524	7,16	-3,046	16,851	0	0,011	0,1037	0,11467890
13,870	6,93	-2,955	17,607	0	0,01	0,1044	0,11467890
14,226	6,70	-2,864	18,412	0	0,01	0,105	0,11467890
14,593	6,47	-2,773	19,269	0	0,009	0,1057	0,11467890
14,970	6,23	-2,682	20,185	0	0,008	0,1063	0,11467890
15,360	6,00	-2,591	21,166	0	0,008	0,1069	0,11467890
15,763	5,77	-2,499	22,219	0	0,007	0,1075	0,11467890
16,180	5,54	-2,407	23,354	0	0,007	0,1081	0,11467890
16,612	5,31	-2,315	24,579	0	0,006	0,1086	0,11467890
17,060	5,08	-2,223	25,907	0	0,006	0,1091	0,11467890
17,526	4,85	-2,131	27,352	0	0,005	0,1096	0,11467890
18,012	4,62	-2,038	28,930	0	0,005	0,1101	0,11467890
18,518	4,39	-1,945	30,661	0	0,004	0,1105	0,11467890
19,048	4,16	-1,851	32,570	0	0,004	0,111	0,11467890
19,603	3,93	-1,758	34,685	0	0,003	0,1114	0,11467890
20,187	3,69	-1,664	37,044	0	0,003	0,1117	0,11467890
20,802	3,46	-1,569	39,693	0	0,003	0,1121	0,11467890
21,454	3,23	-1,474	42,690	0	0,002	0,1124	0,11467890
22,147	3,00	-1,379	46,110	0	0,002	0,1127	0,11467890
22,887	2,77	-1,283	50,055	0	0,002	0,113	0,11467890
23,681	2,54	-1,186	54,659	0	0,001	0,1133	0,11467890

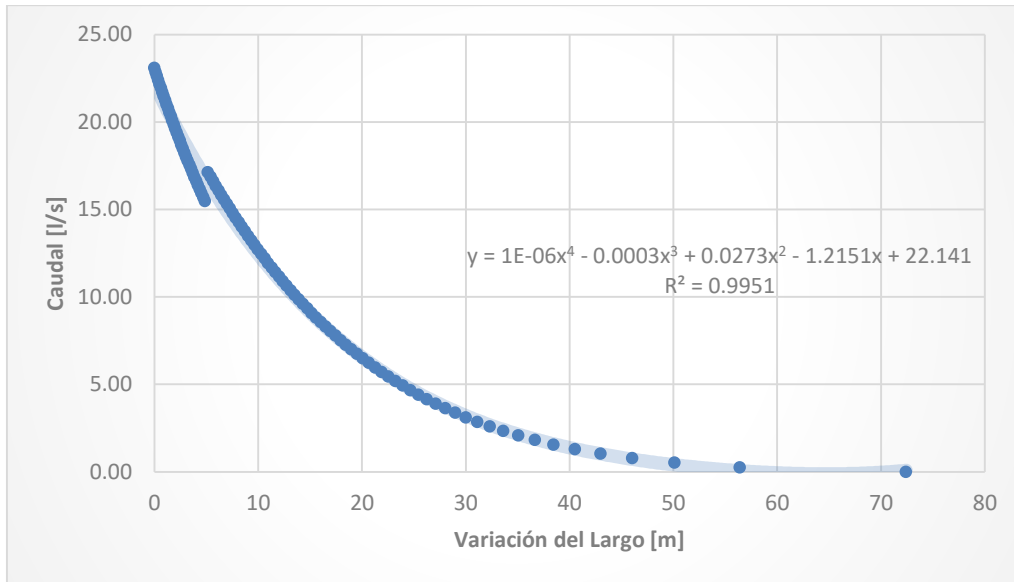
24,539	2,31	-1,089	60,107	0	0,001	0,1135	0,11467890
25,473	2,08	-0,990	66,665	0	9E-04	0,1138	0,11467890
26,501	1,85	-0,891	74,723	0	7E-04	0,1139	0,11467890
27,644	1,62	-0,791	84,883	0	6E-04	0,1141	0,11467890
28,935	1,39	-0,690	98,126	0	4E-04	0,1143	0,11467890
30,424	1,15	-0,587	116,171	0	3E-04	0,1144	0,11467890
32,190	0,92	-0,482	142,337	0	2E-04	0,1145	0,11467890
34,378	0,69	-0,375	184,014	0	1E-04	0,1146	0,11467890
37,292	0,46	-0,265	261,731	0	5E-05	0,1146	0,11467890
41,796	0,23	-0,150	461,894	0	1E-05	0,1147	0,11467890
53,279	0,00	-0,034	1993,019	0	0	0,1147	0,11467890
		-8,997					

ΔL_i	$\Delta total$	TRAMOS		3 M/S => VF		Elegido	
		a	ΔH	a	ΔH	$\Delta total$	ΔH
m	s	m/s ²	m	m/s ²	m	s	m
0	0					0	
0,126	0,085	-0,1772	-9,031	-0,1772	-9,031	0,085	-9,031
0,254	0,171	-0,1740	-8,862	-0,1756	-8,945	0,171	-8,945
0,382	0,259	-0,1707	-8,693	-0,1739	-8,859	0,259	-8,859
0,512	0,348	-0,1675	-8,527	-0,1723	-8,773	0,348	-8,773
0,643	0,440	-0,1643	-8,362	-0,1707	-8,687	0,439	-8,687
0,775	0,533	-0,1611	-8,198	-0,1690	-8,602	0,532	-8,602
0,908	0,628	-0,1580	-8,036	-0,1674	-8,517	0,627	-8,517
1,042	0,725	-0,1548	-7,875	-0,1658	-8,432	0,724	-8,432
1,178	0,823	-0,1518	-7,716	-0,1642	-8,348	0,822	-8,348
1,315	0,924	-0,1487	-7,559	-0,1626	-8,264	0,923	-8,264
1,453	1,027	-0,1457	-7,403	-0,1610	-8,180	1,025	-8,180
1,593	1,132	-0,1427	-7,248	-0,1594	-8,096	1,130	-8,096
1,734	1,240	-0,1397	-7,095	-0,1578	-8,013	1,236	-8,013
1,876	1,349	-0,1368	-6,944	-0,1562	-7,929	1,345	-7,929
2,020	1,462	-0,1338	-6,794	-0,1546	-7,847	1,456	-7,847
2,165	1,576	-0,1310	-6,646	-0,1530	-7,764	1,569	-7,764
2,312	1,693	-0,1281	-6,499	-0,1514	-7,681	1,684	-7,681
2,460	1,813	-0,1253	-6,354	-0,1498	-7,599	1,802	-7,599
2,609	1,935	-0,1225	-6,210	-0,1483	-7,517	1,922	-7,517
2,761	2,061	-0,1197	-6,068	-0,1467	-7,436	2,045	-7,436
2,914	2,189	-0,1170	-5,927	-0,1451	-7,354	2,170	-7,354
3,068	2,320	-0,1143	-5,788	-0,1436	-7,273	2,298	-7,273
3,225	2,455	-0,1116	-5,650	-0,1420	-7,192	2,429	-7,192
3,383	2,592	-0,1089	-5,514	-0,1405	-7,112	2,563	-7,112
3,542	2,733	-0,1063	-5,380	-0,1389	-7,032	2,699	-7,032
3,704	2,878	-0,1037	-5,247	-0,1374	-6,952	2,838	-6,952
3,867	3,026	-0,1011	-5,115	-0,1359	-6,872	2,981	-6,872

4,033	3,179	-0,0986	-4,986	-0,1343	-6,792	3,126	-6,792
4,200	3,335	-0,0961	-4,857	-0,1328	-6,713	3,275	-6,713
4,370	3,495	-0,0936	-4,731	-0,1313	-6,634	3,427	-6,634
4,541	3,659	-0,0912	-4,606	-0,1298	-6,555	3,583	-6,555
4,715	3,828	-0,0888	-4,482	-0,1283	-6,476	3,742	-6,476
4,891	4,002	-0,0864	-4,360	-0,1268	-6,398	3,905	-6,398
5,069	4,180	-0,0840	-4,240	-0,1253	-6,320	4,071	-6,320
5,249	4,364	-0,0817	-4,121	-0,1238	-6,242	4,242	-6,242
5,432	4,553	-0,0794	-4,004	-0,1223	-6,165	4,416	-6,165
5,617	4,747	-0,0771	-3,888	-0,1208	-6,087	4,595	-6,087
5,805	4,948	-0,0749	-3,774	-0,1193	-6,010	4,778	-6,010
5,995	5,154	-0,0727	-3,661	-0,1178	-5,934	4,965	-5,934
6,188	5,366	-0,0705	-3,551	-0,1164	-5,857	5,157	-5,857
6,384	5,586	-0,0684	-3,441	-0,1149	-5,781	5,353	-5,781
6,582	5,812	-0,0663	-3,334	-0,1134	-5,705	5,555	-5,705
6,784	6,046	-0,0642	-3,227	-0,1120	-5,629	5,761	-5,629
6,988	6,287	-0,0621	-3,123	-0,1105	-5,553	5,973	-5,553
7,196	6,537	-0,0601	-3,020	-0,1090	-5,478	6,190	-5,478
7,407	6,795	-0,0581	-2,919	-0,1076	-5,403	6,413	-5,403
7,621	7,062	-0,0562	-2,819	-0,1061	-5,328	6,642	-5,328
7,839	7,338	-0,0542	-2,721	-0,1047	-5,253	6,876	-5,253
8,061	7,625	-0,0523	-2,625	-0,1033	-5,178	7,118	-5,178
8,286	7,922	-0,0505	-2,530	-0,1018	-5,104	7,365	-5,104
8,515	8,230	-0,0486	-2,437	-0,1004	-5,030	7,619	-5,030
8,748	8,551	-0,0468	-2,345	-0,0990	-4,956	7,881	-4,956
8,985	8,884	-0,0451	-2,256	-0,0976	-4,883	8,149	-4,883
9,226	9,230	-0,0433	-2,167	-0,0961	-4,809	8,426	-4,809
9,472	9,590	-0,0416	-2,081	-0,0947	-4,736	8,710	-4,736
9,723	9,966	-0,0399	-1,996	-0,0933	-4,663	9,003	-4,663
9,979	10,358	-0,0383	-1,913	-0,0919	-4,590	9,304	-4,590
10,239	10,767	-0,0367	-1,831	-0,0905	-4,518	9,614	-4,518
10,506	11,194	-0,0351	-1,751	-0,0891	-4,445	9,934	-4,445
10,777	11,641	-0,0335	-1,673	-0,0877	-4,373	10,264	-4,373
11,055	12,110	-0,0320	-1,596	-0,0863	-4,301	10,604	-4,301
11,338	12,601	-0,0305	-1,521	-0,0849	-4,229	10,955	-4,229
11,628	13,117	-0,0291	-1,448	-0,0835	-4,157	11,317	-4,157
11,925	13,659	-0,0277	-1,376	-0,0821	-4,085	11,691	-4,085
12,229	14,230	-0,0263	-1,307	-0,0807	-4,014	12,078	-4,014
12,541	14,831	-0,0249	-1,239	-0,0793	-3,942	12,478	-3,942
12,860	15,467	-0,0236	-1,172	-0,0780	-3,871	12,892	-3,871
13,188	16,139	-0,0223	-1,107	-0,0766	-3,800	13,321	-3,800
13,524	16,851	-0,0211	-1,044	-0,0752	-3,729	13,765	-3,729
13,870	17,607	-0,0198	-0,983	-0,0738	-3,658	14,226	-3,658
14,226	18,412	-0,0187	-0,924	-0,0724	-3,587	14,704	-3,587
14,593	19,269	-0,0175	-0,866	-0,0711	-3,516	15,201	-3,516
14,970	20,185	-0,0164	-0,810	-0,0697	-3,445	15,717	-3,445
15,360	21,166	-0,0153	-0,755	-0,0683	-3,374	16,254	-3,374

15,763	22,219	-0,0142	-0,703	-0,0669	-3,303	16,814	-3,303
16,180	23,354	-0,0132	-0,652	-0,0655	-3,232	17,398	-3,232
16,612	24,579	-0,0122	-0,603	-0,0641	-3,160	18,008	-3,160
17,060	25,907	-0,0113	-0,556	-0,0628	-3,089	18,645	-3,089
17,526	27,352	-0,0104	-0,511	-0,0614	-3,018	19,313	-3,018
18,012	28,930	-0,0095	-0,467	-0,0600	-2,946	20,013	-2,946
18,518	30,661	-0,0087	-0,425	-0,0586	-2,874	20,748	-2,874
19,048	32,570	-0,0079	-0,385	-0,0571	-2,802	21,523	-2,802
19,603	34,685	-0,0071	-0,347	-0,0557	-2,729	22,339	-2,729
20,187	37,044	-0,0064	-0,311	-0,0543	-2,656	23,203	-2,656
20,802	39,693	-0,0057	-0,277	-0,0529	-2,582	24,119	-2,582
21,454	42,690	-0,0050	-0,244	-0,0514	-2,508	25,093	-2,508
22,147	46,110	-0,0044	-0,214	-0,0499	-2,433	26,132	-2,433
22,887	50,055	-0,0038	-0,185	-0,0484	-2,356	27,246	-2,356
23,681	54,659	-0,0033	-0,158	-0,0469	-2,279	28,445	-2,279
24,539	60,107	-0,0028	-0,133	-0,0454	-2,200	29,744	-2,200
25,473	66,665	-0,0023	-0,111	-0,0438	-2,119	31,160	-2,119
26,501	74,723	-0,0019	-0,090	-0,0422	-2,036	32,717	-2,036
27,644	84,883	-0,0015	-0,071	-0,0405	-1,950	34,447	-1,950
28,935	98,126	-0,0011	-0,054	-0,0387	-1,860	36,396	-1,860
30,424	116,171	-0,0008	-0,040	-0,0369	-1,766	38,633	-1,766
32,190	142,337	-0,0006	-0,027	-0,0349	-1,664	41,269	-1,664
34,378	184,014	-0,0004	-0,017	-0,0327	-1,552	44,502	-1,552
37,292	261,731	-0,0002	-0,009	-0,0302	-1,422	48,748	-1,422
41,796	461,894	-0,0001	-0,004	-0,0269	-1,257	55,176	-1,257
53,279	1993,019	0,0000	0,000	-0,0211	-0,962	71,039	-0,962
			-9,031		-8,070		-8,070

9.1.2 Tubería de Acero D=140 [mm], $C_{HW}=130$ [-] L=5 m y Tubería de PVC 148,4 [mm], $C_{HW}=150$ [-]



DATOS		
γ_{agua}	1000	
K		-
%P		
Singulares	5	%
C_{HW}	130	-
DI	72,421	m
L	500	m
Δt_{Total}	96,56	s
P	-8,354	m
n	100	-
D_i	160	mm
e	5,8	mm
a	321,45	m/s

Material N°2		
C_{HW}	130	-
a	1288	m/s
L	5	m

Datos Material N°2		
D_i	152	mm
e	6	mm

CASO 1					
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
$D_{nominal}$	0,14840	m	$D_{nominal}$	0,14000	m
A	0,0173	m ²	A	0,0154	m ²
Q	25,94	l/s	Q	23,09	l/s

ΔL_i	Q_i	ΔH	Δt_i	Bernoulli			Balance
				Z_i	$v_i^2/2g$	P_i/γ	E_i
m	l/s	m	s	m			m
0	23,09		0,000	0,000	0,115	0,000	0,11467890
0,126	22,86	-9,031	0,085	0,000	0,112	0,002	0,11467890
0,254	22,63	-8,944	0,171	0,000	0,110	0,005	0,11467890
0,382	22,40	-8,858	0,259	0,000	0,108	0,007	0,11467890
0,512	22,17	-8,771	0,348	0,000	0,106	0,009	0,11467890
0,643	21,94	-8,684	0,440	0,000	0,103	0,011	0,11467890
0,775	21,71	-8,597	0,533	0,000	0,101	0,013	0,11467890
0,908	21,47	-8,510	0,628	0,000	0,099	0,015	0,11467890
1,042	21,24	-8,424	0,725	0,000	0,097	0,018	0,11467890
1,178	21,01	-8,337	0,823	0,000	0,095	0,020	0,11467890
1,315	20,78	-8,250	0,924	0,000	0,093	0,022	0,11467890
1,453	20,55	-8,163	1,027	0,000	0,091	0,024	0,11467890
1,593	20,32	-8,076	1,132	0,000	0,089	0,026	0,11467890
1,734	20,09	-7,989	1,240	0,000	0,087	0,028	0,11467890
1,876	19,86	-7,902	1,349	0,000	0,085	0,030	0,11467890
2,020	19,63	-7,815	1,462	0,000	0,083	0,032	0,11467890
2,165	19,40	-7,728	1,576	0,000	0,081	0,034	0,11467890
2,312	19,17	-7,641	1,693	0,000	0,079	0,036	0,11467890
2,460	18,93	-7,553	1,813	0,000	0,077	0,038	0,11467890
2,609	18,70	-7,466	1,935	0,000	0,075	0,039	0,11467890
2,761	18,47	-7,379	2,061	0,000	0,073	0,041	0,11467890
2,914	18,24	-7,292	2,189	0,000	0,072	0,043	0,11467890
3,068	18,01	-7,205	2,320	0,000	0,070	0,045	0,11467890
3,225	17,78	-7,117	2,455	0,000	0,068	0,047	0,11467890
3,383	17,55	-7,030	2,592	0,000	0,066	0,048	0,11467890
3,542	17,32	-6,943	2,733	0,000	0,065	0,050	0,11467890
3,704	17,09	-6,855	2,878	0,000	0,063	0,052	0,11467890
3,867	16,86	-6,768	3,026	0,000	0,061	0,054	0,11467890
4,033	16,63	-6,681	3,179	0,000	0,059	0,055	0,11467890
4,200	16,39	-6,593	3,335	0,000	0,058	0,057	0,11467890
4,370	16,16	-6,506	3,495	0,000	0,056	0,058	0,11467890
4,541	15,93	-6,418	3,659	0,000	0,055	0,060	0,11467890
4,715	15,70	-6,330	3,828	0,000	0,053	0,062	0,11467890
4,891	15,47	-6,243	4,002	0,000	0,051	0,063	0,11467890
5,167	17,12	-6,013	4,279	0,000	0,050	0,065	0,11467890
5,418	16,86	-5,837	4,535	0,000	0,048	0,066	0,11467890
5,673	16,60	-5,671	4,798	0,000	0,047	0,068	0,11467890
5,932	16,35	-5,514	5,069	0,000	0,046	0,069	0,11467890
6,193	16,09	-5,364	5,349	0,000	0,044	0,071	0,11467890
6,459	15,83	-5,222	5,637	0,000	0,043	0,072	0,11467890
6,728	15,57	-5,085	5,933	0,000	0,041	0,073	0,11467890
7,001	15,31	-4,954	6,239	0,000	0,040	0,075	0,11467890

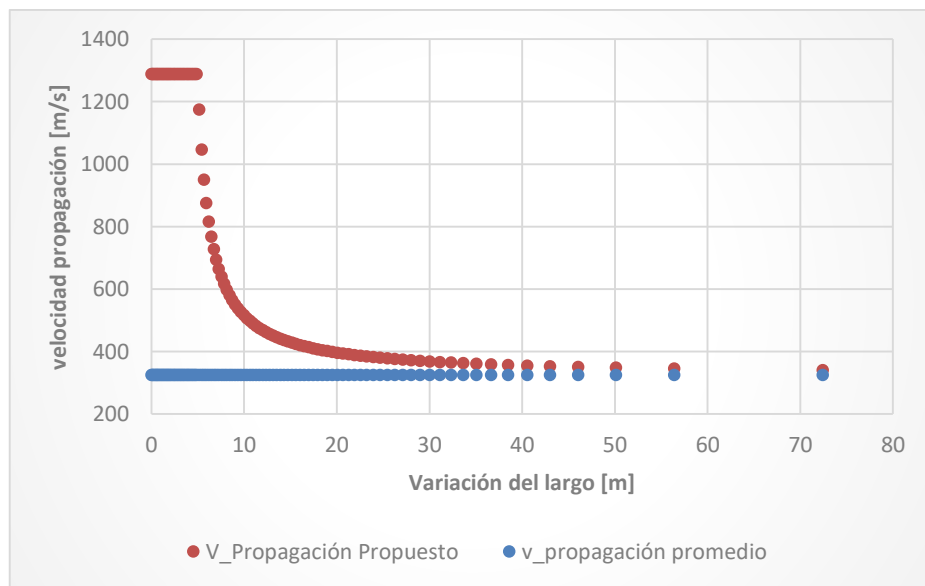
7,278	15,05	-4,827	6,555	0,000	0,039	0,076	0,11467890
7,559	14,79	-4,705	6,881	0,000	0,037	0,077	0,11467890
7,845	14,53	-4,588	7,218	0,000	0,036	0,079	0,11467890
8,135	14,27	-4,473	7,566	0,000	0,035	0,080	0,11467890
8,429	14,01	-4,362	7,926	0,000	0,033	0,081	0,11467890
8,728	13,75	-4,255	8,298	0,000	0,032	0,082	0,11467890
9,032	13,49	-4,150	8,684	0,000	0,031	0,084	0,11467890
9,340	13,23	-4,047	9,084	0,000	0,030	0,085	0,11467890
9,654	12,97	-3,947	9,498	0,000	0,029	0,086	0,11467890
9,974	12,71	-3,849	9,929	0,000	0,028	0,087	0,11467890
10,299	12,45	-3,753	10,375	0,000	0,026	0,088	0,11467890
10,630	12,19	-3,659	10,840	0,000	0,025	0,089	0,11467890
10,967	11,93	-3,566	11,323	0,000	0,024	0,090	0,11467890
11,310	11,68	-3,475	11,826	0,000	0,023	0,091	0,11467890
11,660	11,42	-3,386	12,350	0,000	0,022	0,092	0,11467890
12,016	11,16	-3,298	12,896	0,000	0,021	0,093	0,11467890
12,380	10,90	-3,211	13,467	0,000	0,020	0,094	0,11467890
12,751	10,64	-3,126	14,063	0,000	0,019	0,095	0,11467890
13,130	10,38	-3,041	14,687	0,000	0,018	0,096	0,11467890
13,517	10,12	-2,958	15,340	0,000	0,017	0,097	0,11467890
13,913	9,86	-2,876	16,025	0,000	0,017	0,098	0,11467890
14,318	9,60	-2,794	16,745	0,000	0,016	0,099	0,11467890
14,732	9,34	-2,713	17,501	0,000	0,015	0,100	0,11467890
15,156	9,08	-2,634	18,297	0,000	0,014	0,101	0,11467890
15,590	8,82	-2,555	19,137	0,000	0,013	0,101	0,11467890
16,036	8,56	-2,476	20,023	0,000	0,012	0,102	0,11467890
16,493	8,30	-2,398	20,961	0,000	0,012	0,103	0,11467890
16,962	8,04	-2,321	21,955	0,000	0,011	0,104	0,11467890
17,445	7,78	-2,245	23,010	0,000	0,010	0,104	0,11467890
17,941	7,52	-2,169	24,131	0,000	0,010	0,105	0,11467890
18,453	7,26	-2,093	25,327	0,000	0,009	0,106	0,11467890
18,980	7,01	-2,018	26,605	0,000	0,008	0,106	0,11467890
19,524	6,75	-1,943	27,974	0,000	0,008	0,107	0,11467890
20,086	6,49	-1,869	29,443	0,000	0,007	0,108	0,11467890
20,667	6,23	-1,795	31,026	0,000	0,007	0,108	0,11467890
21,270	5,97	-1,722	32,735	0,000	0,006	0,109	0,11467890
21,895	5,71	-1,649	34,588	0,000	0,006	0,109	0,11467890
22,545	5,45	-1,576	36,604	0,000	0,005	0,110	0,11467890
23,222	5,19	-1,503	38,805	0,000	0,005	0,110	0,11467890
23,929	4,93	-1,430	41,220	0,000	0,004	0,111	0,11467890
24,667	4,67	-1,358	43,883	0,000	0,004	0,111	0,11467890
25,442	4,41	-1,286	46,834	0,000	0,003	0,111	0,11467890
26,257	4,15	-1,214	50,124	0,000	0,003	0,112	0,11467890
27,116	3,89	-1,142	53,819	0,000	0,003	0,112	0,11467890
28,025	3,63	-1,070	58,000	0,000	0,002	0,112	0,11467890
28,991	3,37	-0,998	62,772	0,000	0,002	0,113	0,11467890
30,023	3,11	-0,926	68,275	0,000	0,002	0,113	0,11467890

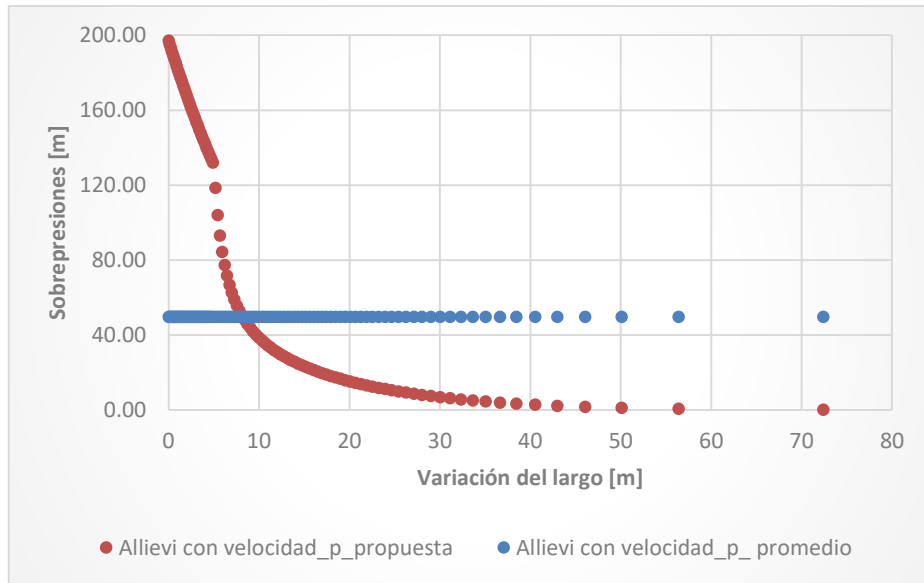
31,131	2,85	-0,854	74,697	0,000	0,001	0,113	0,11467890
32,328	2,59	-0,782	82,297	0,000	0,001	0,114	0,11467890
33,632	2,34	-0,710	91,446	0,000	0,001	0,114	0,11467890
35,065	2,08	-0,637	102,686	0,000	0,001	0,114	0,11467890
36,659	1,82	-0,564	116,860	0,000	0,001	0,114	0,11467890
38,460	1,56	-0,490	135,334	0,000	0,000	0,114	0,11467890
40,537	1,30	-0,416	160,507	0,000	0,000	0,114	0,11467890
43,001	1,04	-0,341	197,010	0,000	0,000	0,114	0,11467890
46,054	0,78	-0,264	255,149	0,000	0,000	0,115	0,11467890
50,119	0,52	-0,185	363,566	0,000	0,000	0,115	0,11467890
56,402	0,26	-0,104	642,796	0,000	0,000	0,115	0,11467890
72,421	0,00	-0,024	2778,737	0,000	0,000	0,115	0,11467890
		-9,008					

		TRAMOS		3 M/S => VF		Elegido	
ΔL_i	$\Delta total$	a	ΔH	a	ΔH	$\Delta total$	ΔH
m	s	m/s ²	m	m/s ²	m	s	m
0	0					0	
0,126	0,085	-0,1772	-9,031	-0,1772	-9,031	0,085	-9,031
0,254	0,171	-0,1740	-8,862	-0,1756	-8,945	0,171	-8,945
0,382	0,259	-0,1707	-8,693	-0,1739	-8,859	0,259	-8,859
0,512	0,348	-0,1675	-8,527	-0,1723	-8,773	0,348	-8,773
0,643	0,440	-0,1643	-8,362	-0,1707	-8,687	0,439	-8,687
0,775	0,533	-0,1611	-8,198	-0,1690	-8,602	0,532	-8,602
0,908	0,628	-0,1580	-8,036	-0,1674	-8,517	0,627	-8,517
1,042	0,725	-0,1548	-7,875	-0,1658	-8,432	0,724	-8,432
1,178	0,823	-0,1518	-7,716	-0,1642	-8,348	0,822	-8,348
1,315	0,924	-0,1487	-7,559	-0,1626	-8,264	0,923	-8,264
1,453	1,027	-0,1457	-7,403	-0,1610	-8,180	1,025	-8,180
1,593	1,132	-0,1427	-7,248	-0,1594	-8,096	1,130	-8,096
1,734	1,240	-0,1397	-7,095	-0,1578	-8,013	1,236	-8,013
1,876	1,349	-0,1368	-6,944	-0,1562	-7,929	1,345	-7,929
2,020	1,462	-0,1338	-6,794	-0,1546	-7,847	1,456	-7,847
2,165	1,576	-0,1310	-6,646	-0,1530	-7,764	1,569	-7,764
2,312	1,693	-0,1281	-6,499	-0,1514	-7,681	1,684	-7,681
2,460	1,813	-0,1253	-6,354	-0,1498	-7,599	1,802	-7,599
2,609	1,935	-0,1225	-6,210	-0,1483	-7,517	1,922	-7,517
2,761	2,061	-0,1197	-6,068	-0,1467	-7,436	2,045	-7,436
2,914	2,189	-0,1170	-5,927	-0,1451	-7,354	2,170	-7,354
3,068	2,320	-0,1143	-5,788	-0,1436	-7,273	2,298	-7,273
3,225	2,455	-0,1116	-5,650	-0,1420	-7,192	2,429	-7,192
3,383	2,592	-0,1089	-5,514	-0,1405	-7,112	2,563	-7,112
3,542	2,733	-0,1063	-5,380	-0,1389	-7,032	2,699	-7,032
3,704	2,878	-0,1037	-5,247	-0,1374	-6,952	2,838	-6,952
3,867	3,026	-0,1011	-5,115	-0,1359	-6,872	2,981	-6,872
4,033	3,179	-0,0986	-4,986	-0,1343	-6,792	3,126	-6,792

4,200	3,335	-0,0961	-4,857	-0,1328	-6,713	3,275	-6,713
4,370	3,495	-0,0936	-4,731	-0,1313	-6,634	3,427	-6,634
4,541	3,659	-0,0912	-4,606	-0,1298	-6,555	3,583	-6,555
4,715	3,828	-0,0888	-4,482	-0,1283	-6,476	3,742	-6,476
4,891	4,002	-0,0864	-4,360	-0,1268	-6,398	3,905	-6,398
5,167	4,279	-0,0542	-2,734	-0,1229	-6,199	4,150	-6,199
5,418	4,535	-0,0586	-2,953	-0,1199	-6,045	4,378	-6,045
5,673	4,798	-0,0569	-2,869	-0,1171	-5,900	4,612	-5,900
5,932	5,069	-0,0553	-2,785	-0,1144	-5,761	4,852	-5,761
6,193	5,349	-0,0537	-2,703	-0,1118	-5,629	5,097	-5,629
6,459	5,637	-0,0521	-2,622	-0,1094	-5,502	5,349	-5,502
6,728	5,933	-0,0506	-2,542	-0,1070	-5,381	5,607	-5,381
7,001	6,239	-0,0490	-2,464	-0,1048	-5,264	5,871	-5,264
7,278	6,555	-0,0475	-2,386	-0,1026	-5,152	6,142	-5,152
7,559	6,881	-0,0460	-2,310	-0,1005	-5,043	6,420	-5,043
7,845	7,218	-0,0445	-2,235	-0,0984	-4,938	6,705	-4,938
8,135	7,566	-0,0431	-2,161	-0,0965	-4,837	6,997	-4,837
8,429	7,926	-0,0417	-2,088	-0,0946	-4,738	7,298	-4,738
8,728	8,298	-0,0403	-2,016	-0,0927	-4,642	7,606	-4,642
9,032	8,684	-0,0389	-1,946	-0,0909	-4,548	7,922	-4,548
9,340	9,084	-0,0375	-1,877	-0,0891	-4,457	8,248	-4,457
9,654	9,498	-0,0362	-1,809	-0,0874	-4,368	8,582	-4,368
9,974	9,929	-0,0349	-1,742	-0,0857	-4,281	8,925	-4,281
10,299	10,375	-0,0336	-1,676	-0,0841	-4,197	9,278	-4,197
10,630	10,840	-0,0323	-1,611	-0,0825	-4,113	9,642	-4,113
10,967	11,323	-0,0311	-1,548	-0,0809	-4,032	10,015	-4,032
11,310	11,826	-0,0298	-1,486	-0,0793	-3,952	10,400	-3,952
11,660	12,350	-0,0286	-1,425	-0,0778	-3,873	10,796	-3,873
12,016	12,896	-0,0274	-1,365	-0,0763	-3,796	11,204	-3,796
12,380	13,467	-0,0263	-1,307	-0,0748	-3,720	11,624	-3,720
12,751	14,063	-0,0252	-1,249	-0,0734	-3,645	12,058	-3,645
13,130	14,687	-0,0240	-1,193	-0,0720	-3,572	12,505	-3,572
13,517	15,340	-0,0230	-1,138	-0,0706	-3,500	12,966	-3,500
13,913	16,025	-0,0219	-1,085	-0,0692	-3,428	13,442	-3,428
14,318	16,745	-0,0209	-1,032	-0,0678	-3,358	13,934	-3,358
14,732	17,501	-0,0198	-0,981	-0,0665	-3,288	14,443	-3,288
15,156	18,297	-0,0188	-0,931	-0,0651	-3,219	14,969	-3,219
15,590	19,137	-0,0179	-0,882	-0,0638	-3,151	15,513	-3,151
16,036	20,023	-0,0169	-0,835	-0,0625	-3,084	16,076	-3,084
16,493	20,961	-0,0160	-0,788	-0,0612	-3,018	16,659	-3,018
16,962	21,955	-0,0151	-0,743	-0,0599	-2,952	17,264	-2,952
17,445	23,010	-0,0142	-0,700	-0,0587	-2,887	17,892	-2,887
17,941	24,131	-0,0134	-0,657	-0,0574	-2,822	18,544	-2,822
18,453	25,327	-0,0125	-0,616	-0,0562	-2,758	19,221	-2,758
18,980	26,605	-0,0117	-0,576	-0,0550	-2,695	19,926	-2,695
19,524	27,974	-0,0110	-0,537	-0,0537	-2,631	20,660	-2,631
20,086	29,443	-0,0102	-0,499	-0,0525	-2,569	21,425	-2,569

20,667	31,026	-0,0095	-0,463	-0,0513	-2,507	22,223	-2,507
21,270	32,735	-0,0088	-0,428	-0,0501	-2,445	23,057	-2,445
21,895	34,588	-0,0081	-0,395	-0,0489	-2,383	23,929	-2,383
22,545	36,604	-0,0074	-0,362	-0,0477	-2,322	24,843	-2,322
23,222	38,805	-0,0068	-0,331	-0,0465	-2,260	25,802	-2,260
23,929	41,220	-0,0062	-0,301	-0,0453	-2,199	26,811	-2,199
24,667	43,883	-0,0056	-0,273	-0,0441	-2,138	27,873	-2,138
25,442	46,834	-0,0051	-0,246	-0,0429	-2,077	28,994	-2,077
26,257	50,124	-0,0046	-0,220	-0,0417	-2,016	30,180	-2,016
27,116	53,819	-0,0041	-0,196	-0,0406	-1,955	31,438	-1,955
28,025	58,000	-0,0036	-0,173	-0,0394	-1,893	32,778	-1,893
28,991	62,772	-0,0031	-0,151	-0,0381	-1,832	34,208	-1,832
30,023	68,275	-0,0027	-0,131	-0,0369	-1,769	35,742	-1,769
31,131	74,697	-0,0023	-0,112	-0,0357	-1,706	37,394	-1,706
32,328	82,297	-0,0020	-0,094	-0,0345	-1,642	39,185	-1,642
33,632	91,446	-0,0016	-0,078	-0,0332	-1,577	41,139	-1,577
35,065	102,686	-0,0013	-0,063	-0,0319	-1,511	43,290	-1,511
36,659	116,860	-0,0011	-0,050	-0,0305	-1,442	45,681	-1,442
38,460	135,334	-0,0008	-0,038	-0,0291	-1,371	48,378	-1,371
40,537	160,507	-0,0006	-0,028	-0,0277	-1,297	51,476	-1,297
43,001	197,010	-0,0004	-0,019	-0,0261	-1,217	55,130	-1,217
46,054	255,149	-0,0003	-0,012	-0,0244	-1,129	59,616	-1,129
50,119	363,566	-0,0001	-0,006	-0,0224	-1,029	65,515	-1,029
56,402	642,796	-0,0001	-0,002	-0,0199	-0,902	74,458	-0,902
72,421	2778,73	0,0000	0,000	-0,0155	-0,677	96,562	-0,677
	7						
			-9,031		-8,354		-8,354



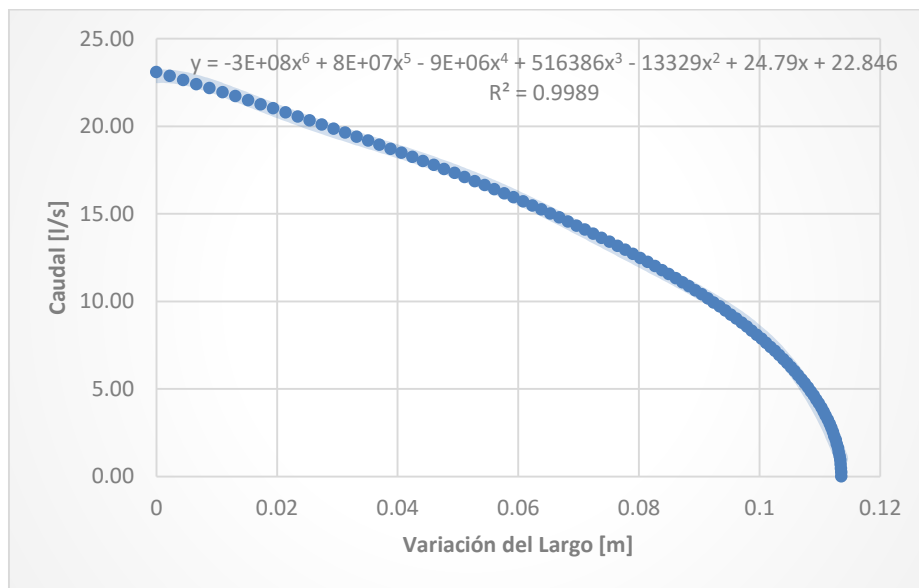


ΔL_i	$a_{\text{propuesto}}$	$\Delta H_{\text{Joukowsky}}$	
		$a_{\text{propuesto}}$	a_{promedio}
m	m/s	m	
0	1288,00	196,94	49,52
0,126	1288,00	194,97	49,52
0,254	1288,00	193,00	49,52
0,382	1288,00	191,03	49,52
0,512	1288,00	189,06	49,52
0,643	1288,00	187,09	49,52
0,775	1288,00	185,13	49,52
0,908	1288,00	183,16	49,52
1,042	1288,00	181,19	49,52
1,178	1288,00	179,22	49,52
1,315	1288,00	177,25	49,52
1,453	1288,00	175,28	49,52
1,593	1288,00	173,31	49,52
1,734	1288,00	171,34	49,52
1,876	1288,00	169,37	49,52
2,020	1288,00	167,40	49,52
2,165	1288,00	165,43	49,52
2,312	1288,00	163,46	49,52
2,460	1288,00	161,49	49,52
2,609	1288,00	159,52	49,52
2,761	1288,00	157,55	49,52
2,914	1288,00	155,58	49,52
3,068	1288,00	153,61	49,52
3,225	1288,00	151,65	49,52
3,383	1288,00	149,68	49,52
3,542	1288,00	147,71	49,52

3,704	1288,00	145,74	49,52
3,867	1288,00	143,77	49,52
4,033	1288,00	141,80	49,52
4,200	1288,00	139,83	49,52
4,370	1288,00	137,86	49,52
4,541	1288,00	135,89	49,52
4,715	1288,00	133,92	49,52
4,891	1288,00	131,95	49,52
5,167	1174,13	118,49	49,52
5,418	1045,36	103,90	49,52
5,673	949,30	92,90	49,52
5,932	874,87	84,28	49,52
6,193	815,51	77,31	49,52
6,459	767,05	71,54	49,52
6,728	726,74	66,67	49,52
7,001	692,67	62,49	49,52
7,278	663,51	58,84	49,52
7,559	638,25	55,63	49,52
7,845	616,16	52,76	49,52
8,135	596,67	50,18	49,52
8,429	579,35	47,84	49,52
8,728	563,86	45,69	49,52
9,032	549,91	43,72	49,52
9,340	537,28	41,90	49,52
9,654	525,80	40,20	49,52
9,974	515,31	38,61	49,52
10,299	505,69	37,11	49,52
10,630	496,82	35,70	49,52
10,967	488,63	34,37	49,52
11,310	481,04	33,10	49,52
11,660	473,98	31,89	49,52
12,016	467,40	30,73	49,52
12,380	461,25	29,62	49,52
12,751	455,48	28,55	49,52
13,130	450,07	27,53	49,52
13,517	444,97	26,53	49,52
13,913	440,16	25,57	49,52
14,318	435,61	24,64	49,52
14,732	431,30	23,74	49,52
15,156	427,22	22,86	49,52
15,590	423,34	22,01	49,52
16,036	419,64	21,17	49,52
16,493	416,12	20,36	49,52
16,962	412,76	19,56	49,52
17,445	409,54	18,79	49,52
17,941	406,46	18,02	49,52
18,453	403,50	17,28	49,52

18,980	400,66	16,54	49,52
19,524	397,93	15,82	49,52
20,086	395,30	15,11	49,52
20,667	392,76	14,41	49,52
21,270	390,30	13,73	49,52
21,895	387,93	13,05	49,52
22,545	385,63	12,38	49,52
23,222	383,40	11,72	49,52
23,929	381,23	11,08	49,52
24,667	379,12	10,43	49,52
25,442	377,06	9,80	49,52
26,257	375,05	9,18	49,52
27,116	373,08	8,56	49,52
28,025	371,14	7,94	49,52
28,991	369,24	7,34	49,52
30,023	367,36	6,74	49,52
31,131	365,51	6,15	49,52
32,328	363,66	5,56	49,52
33,632	361,82	4,98	49,52
35,065	359,97	4,40	49,52
36,659	358,11	3,83	49,52
38,460	356,20	3,27	49,52
40,537	354,24	2,71	49,52
43,001	352,18	2,15	49,52
46,054	349,97	1,61	49,52
50,119	347,47	1,06	49,52
56,402	344,36	0,53	49,52
72,421	339,02	0,00	49,52

9.1.3 Tubería de Acero D=140 mm, $C_{HW}=130$ [-] con bomba sumergida



DATOS		
γ_{agua}	1000	
K		-
%P Singulares	5	%
C_{HW}	130	-
DI	0,114	m
L	500	m
Δt_{Total}	0,08	s
P	-49,215	m
n	100	-
D_i	152	mm
e	6	mm

v	1,5	m/s
D_{Nominal}	0,140	m
A	0,0154	m ²
Q	23,09	l/s

ΔL_i	Q_i	ΔH	Δt_i	Bernoulli			Balance
				Z_i	$v_i^2/2g$	P_i/γ	E_i
m	l/s	m	s	m			m
0	23,09		0,000	0	0,115	0	0,11467890
0,002	22,86	-					
		101,150	0,001	0,002	0,112	4E-05	0,11467890
0,004	22,63	-84,092	0,003	0,004	0,11	8E-05	0,11467890
0,007	22,40	-75,563	0,004	0,007	0,108	0,0001	0,11467890
0,009	22,17	-70,444	0,006	0,009	0,106	0,0002	0,11467890
0,011	21,94	-67,031	0,007	0,011	0,103	0,0002	0,11467890
0,013	21,71	-64,592	0,009	0,013	0,101	0,0002	0,11467890
0,015	21,47	-62,763	0,010	0,015	0,099	0,0003	0,11467890
0,017	21,24	-61,339	0,012	0,017	0,097	0,0003	0,11467890
0,019	21,01	-60,200	0,013	0,019	0,095	0,0003	0,11467890
0,021	20,78	-59,268	0,015	0,021	0,093	0,0004	0,11467890
0,023	20,55	-58,491	0,016	0,023	0,091	0,0004	0,11467890
0,025	20,32	-57,833	0,018	0,025	0,089	0,0004	0,11467890
0,027	20,09	-57,269	0,019	0,027	0,087	0,0004	0,11467890
0,029	19,86	-56,779	0,021	0,029	0,085	0,0005	0,11467890
0,031	19,63	-56,351	0,022	0,031	0,083	0,0005	0,11467890
0,033	19,40	-55,973	0,024	0,033	0,081	0,0005	0,11467890
0,035	19,17	-55,637	0,025	0,035	0,079	0,0005	0,11467890
0,037	18,93	-55,336	0,027	0,037	0,077	0,0006	0,11467890
0,039	18,70	-55,065	0,028	0,039	0,075	0,0006	0,11467890
0,041	18,47	-54,819	0,030	0,041	0,073	0,0006	0,11467890
0,042	18,24	-54,596	0,031	0,042	0,072	0,0006	0,11467890
0,044	18,01	-54,392	0,033	0,044	0,07	0,0007	0,11467890
0,046	17,78	-54,205	0,034	0,046	0,068	0,0007	0,11467890
0,048	17,55	-54,033	0,036	0,048	0,066	0,0007	0,11467890
0,049	17,32	-53,874	0,037	0,049	0,065	0,0007	0,11467890
0,051	17,09	-53,726	0,039	0,051	0,063	0,0007	0,11467890
0,053	16,86	-53,589	0,040	0,053	0,061	0,0008	0,11467890
0,054	16,63	-53,462	0,042	0,054	0,059	0,0008	0,11467890
0,056	16,39	-53,342	0,043	0,056	0,058	0,0008	0,11467890
0,058	16,16	-53,231	0,045	0,058	0,056	0,0008	0,11467890
0,059	15,93	-53,126	0,046	0,059	0,055	0,0008	0,11467890
0,061	15,70	-53,028	0,048	0,061	0,053	0,0008	0,11467890
0,062	15,47	-52,935	0,050	0,062	0,051	0,0008	0,11467890
0,064	15,24	-52,848	0,051	0,064	0,05	0,0009	0,11467890
0,065	15,01	-52,765	0,053	0,065	0,048	0,0009	0,11467890
0,067	14,78	-52,687	0,054	0,067	0,047	0,0009	0,11467890
0,068	14,55	-52,613	0,056	0,068	0,046	0,0009	0,11467890
0,070	14,32	-52,542	0,057	0,07	0,044	0,0009	0,11467890
0,071	14,09	-52,475	0,059	0,071	0,043	0,0009	0,11467890
0,072	13,85	-52,412	0,060	0,072	0,041	0,0009	0,11467890
0,074	13,62	-52,351	0,062	0,074	0,04	0,0009	0,11467890

0,075	13,39	-52,293	0,063	0,075	0,039	0,0009	0,11467890
0,076	13,16	-52,238	0,065	0,076	0,037	0,0009	0,11467890
0,078	12,93	-52,185	0,066	0,078	0,036	0,001	0,11467890
0,079	12,70	-52,134	0,068	0,079	0,035	0,001	0,11467890
0,080	12,47	-52,086	0,069	0,08	0,033	0,001	0,11467890
0,081	12,24	-52,039	0,071	0,081	0,032	0,001	0,11467890
0,083	12,01	-51,994	0,072	0,083	0,031	0,001	0,11467890
0,084	11,78	-51,951	0,074	0,084	0,03	0,001	0,11467890
0,085	11,55	-51,910	0,075	0,085	0,029	0,001	0,11467890
0,086	11,31	-51,871	0,077	0,086	0,028	0,001	0,11467890
0,087	11,08	-51,832	0,078	0,087	0,026	0,001	0,11467890
0,088	10,85	-51,796	0,080	0,088	0,025	0,001	0,11467890
0,089	10,62	-51,760	0,081	0,089	0,024	0,001	0,11467890
0,090	10,39	-51,726	0,083	0,09	0,023	0,001	0,11467890
0,091	10,16	-51,693	0,084	0,091	0,022	0,001	0,11467890
0,092	9,93	-51,661	0,086	0,092	0,021	0,001	0,11467890
0,093	9,70	-51,630	0,087	0,093	0,02	0,001	0,11467890
0,094	9,47	-51,601	0,089	0,094	0,019	0,001	0,11467890
0,095	9,24	-51,572	0,090	0,095	0,018	0,001	0,11467890
0,096	9,01	-51,544	0,092	0,096	0,017	0,001	0,11467890
0,097	8,77	-51,517	0,093	0,097	0,017	0,001	0,11467890
0,098	8,54	-51,491	0,095	0,098	0,016	0,001	0,11467890
0,099	8,31	-51,465	0,096	0,099	0,015	0,0011	0,11467890
0,100	8,08	-51,441	0,098	0,1	0,014	0,0011	0,11467890
0,100	7,85	-51,417	0,099	0,1	0,013	0,0011	0,11467890
0,101	7,62	-51,394	0,101	0,101	0,012	0,0011	0,11467890
0,102	7,39	-51,371	0,102	0,102	0,012	0,0011	0,11467890
0,103	7,16	-51,349	0,104	0,103	0,011	0,0011	0,11467890
0,103	6,93	-51,328	0,105	0,103	0,01	0,0011	0,11467890
0,104	6,70	-51,308	0,107	0,104	0,01	0,0011	0,11467890
0,105	6,47	-51,288	0,108	0,105	0,009	0,0011	0,11467890
0,105	6,23	-51,268	0,110	0,105	0,008	0,0011	0,11467890
0,106	6,00	-51,249	0,111	0,106	0,008	0,0011	0,11467890
0,106	5,77	-51,231	0,113	0,106	0,007	0,0011	0,11467890
0,107	5,54	-51,213	0,114	0,107	0,007	0,0011	0,11467890
0,108	5,31	-51,195	0,116	0,108	0,006	0,0011	0,11467890
0,108	5,08	-51,178	0,117	0,108	0,006	0,0011	0,11467890
0,109	4,85	-51,162	0,119	0,109	0,005	0,0011	0,11467890
0,109	4,62	-51,145	0,120	0,109	0,005	0,0011	0,11467890
0,109	4,39	-51,130	0,122	0,109	0,004	0,0011	0,11467890
0,110	4,16	-51,114	0,123	0,11	0,004	0,0011	0,11467890
0,110	3,93	-51,099	0,125	0,11	0,003	0,0011	0,11467890
0,111	3,69	-51,085	0,126	0,111	0,003	0,0011	0,11467890
0,111	3,46	-51,070	0,128	0,111	0,003	0,0011	0,11467890
0,111	3,23	-51,056	0,129	0,111	0,002	0,0011	0,11467890
0,112	3,00	-51,043	0,131	0,112	0,002	0,0011	0,11467890
0,112	2,77	-51,030	0,132	0,112	0,002	0,0011	0,11467890

0,112	2,54	-51,017	0,133	0,112	0,001	0,0011	0,11467890
0,112	2,31	-51,004	0,135	0,112	0,001	0,0011	0,11467890
0,113	2,08	-50,992	0,136	0,113	9E-04	0,0011	0,11467890
0,113	1,85	-50,980	0,138	0,113	7E-04	0,0011	0,11467890
0,113	1,62	-50,968	0,139	0,113	6E-04	0,0011	0,11467890
0,113	1,39	-50,957	0,141	0,113	4E-04	0,0011	0,11467890
0,113	1,15	-50,945	0,142	0,113	3E-04	0,0011	0,11467890
0,113	0,92	-50,934	0,143	0,113	2E-04	0,0011	0,11467890
0,114	0,69	-50,924	0,145	0,114	1E-04	0,0011	0,11467890
0,114	0,46	-50,913	0,146	0,114	5E-05	0,0011	0,11467890
0,114	0,23	-50,903	0,147	0,114	1E-05	0,0011	0,11467890
0,114	0,00	-50,893	0,148	0,114	0	0,0011	0,11467890
		-8,997					

		TRAMOS		3 M/S => VF	
ΔL_i	$\Delta total$	a	ΔH	a	ΔH
m	s	m/s ²	m	m/s ²	m
0	0				
0,002	0,001	-0,1772	-50,901	-0,1772	-50,901
0,004	0,004	-0,1740	-50,882	-0,1756	-50,890
0,007	0,009	-0,1707	-50,863	-0,1740	-50,880
0,009	0,015	-0,1675	-50,845	-0,1724	-50,870
0,011	0,022	-0,1643	-50,826	-0,1708	-50,859
0,013	0,031	-0,1611	-50,808	-0,1692	-50,849
0,015	0,042	-0,1580	-50,790	-0,1677	-50,839
0,017	0,054	-0,1548	-50,772	-0,1661	-50,829
0,019	0,067	-0,1518	-50,754	-0,1646	-50,819
0,021	0,082	-0,1487	-50,736	-0,1631	-50,809
0,023	0,099	-0,1457	-50,719	-0,1616	-50,800
0,025	0,117	-0,1427	-50,701	-0,1601	-50,790
0,027	0,136	-0,1397	-50,684	-0,1586	-50,781
0,029	0,157	-0,1368	-50,667	-0,1572	-50,771
0,031	0,180	-0,1338	-50,650	-0,1557	-50,762
0,033	0,204	-0,1310	-50,634	-0,1543	-50,753
0,035	0,229	-0,1281	-50,617	-0,1529	-50,744
0,037	0,256	-0,1253	-50,601	-0,1515	-50,735
0,039	0,284	-0,1225	-50,585	-0,1501	-50,726
0,041	0,314	-0,1197	-50,569	-0,1487	-50,717
0,042	0,346	-0,1170	-50,553	-0,1474	-50,708

0,044	0,379	-0,1143	-50,538	-0,1461	-50,700
0,046	0,413	-0,1116	-50,522	-0,1447	-50,691
0,048	0,449	-0,1089	-50,507	-0,1434	-50,683
0,049	0,487	-0,1063	-50,492	-0,1422	-50,674
0,051	0,526	-0,1037	-50,477	-0,1409	-50,666
0,053	0,566	-0,1011	-50,462	-0,1396	-50,658
0,054	0,608	-0,0986	-50,448	-0,1384	-50,650
0,056	0,652	-0,0961	-50,433	-0,1372	-50,642
0,058	0,697	-0,0936	-50,419	-0,1360	-50,634
0,059	0,743	-0,0912	-50,405	-0,1348	-50,627
0,061	0,791	-0,0888	-50,391	-0,1336	-50,619
0,062	0,841	-0,0864	-50,377	-0,1324	-50,612
0,064	0,892	-0,0840	-50,364	-0,1313	-50,604
0,065	0,944	-0,0817	-50,351	-0,1301	-50,597
0,067	0,998	-0,0794	-50,337	-0,1290	-50,590
0,068	1,054	-0,0771	-50,324	-0,1279	-50,583
0,070	1,111	-0,0749	-50,312	-0,1269	-50,576
0,071	1,169	-0,0727	-50,299	-0,1258	-50,569
0,072	1,229	-0,0705	-50,287	-0,1247	-50,562
0,074	1,291	-0,0684	-50,274	-0,1237	-50,556
0,075	1,354	-0,0663	-50,262	-0,1227	-50,549
0,076	1,418	-0,0642	-50,250	-0,1217	-50,543
0,078	1,485	-0,0621	-50,238	-0,1207	-50,536
0,079	1,552	-0,0601	-50,227	-0,1197	-50,530
0,080	1,621	-0,0581	-50,216	-0,1188	-50,524
0,081	1,692	-0,0562	-50,204	-0,1178	-50,518
0,083	1,764	-0,0542	-50,193	-0,1169	-50,512
0,084	1,837	-0,0523	-50,182	-0,1160	-50,506
0,085	1,913	-0,0505	-50,172	-0,1151	-50,501
0,086	1,989	-0,0486	-50,161	-0,1143	-50,495
0,087	2,067	-0,0468	-50,151	-0,1134	-50,490
0,088	2,147	-0,0451	-50,141	-0,1126	-50,484
0,089	2,228	-0,0433	-50,131	-0,1117	-50,479
0,090	2,311	-0,0416	-50,121	-0,1109	-50,474
0,091	2,395	-0,0399	-50,112	-0,1101	-50,469
0,092	2,481	-0,0383	-50,102	-0,1094	-50,464
0,093	2,568	-0,0367	-50,093	-0,1086	-50,459
0,094	2,656	-0,0351	-50,084	-0,1079	-50,454
0,095	2,746	-0,0335	-50,075	-0,1071	-50,450
0,096	2,838	-0,0320	-50,067	-0,1064	-50,445
0,097	2,931	-0,0305	-50,058	-0,1058	-50,441
0,098	3,026	-0,0291	-50,050	-0,1051	-50,437
0,099	3,122	-0,0277	-50,042	-0,1044	-50,432
0,100	3,220	-0,0263	-50,034	-0,1038	-50,428
0,100	3,319	-0,0249	-50,026	-0,1032	-50,424
0,101	3,420	-0,0236	-50,019	-0,1026	-50,421
0,102	3,522	-0,0223	-50,012	-0,1020	-50,417

0,103	3,626	-0,0211	-50,005	-0,1014	-50,413
0,103	3,731	-0,0198	-49,998	-0,1009	-50,410
0,104	3,838	-0,0187	-49,991	-0,1003	-50,406
0,105	3,946	-0,0175	-49,984	-0,0998	-50,403
0,105	4,055	-0,0164	-49,978	-0,0993	-50,400
0,106	4,167	-0,0153	-49,972	-0,0988	-50,397
0,106	4,279	-0,0142	-49,966	-0,0984	-50,394
0,107	4,394	-0,0132	-49,960	-0,0979	-50,391
0,108	4,509	-0,0122	-49,955	-0,0975	-50,388
0,108	4,626	-0,0113	-49,949	-0,0971	-50,386
0,109	4,745	-0,0104	-49,944	-0,0967	-50,383
0,109	4,865	-0,0095	-49,939	-0,0963	-50,381
0,109	4,987	-0,0087	-49,935	-0,0960	-50,379
0,110	5,110	-0,0079	-49,930	-0,0956	-50,376
0,110	5,235	-0,0071	-49,926	-0,0953	-50,374
0,111	5,361	-0,0064	-49,922	-0,0950	-50,372
0,111	5,488	-0,0057	-49,918	-0,0947	-50,371
0,111	5,617	-0,0050	-49,914	-0,0944	-50,369
0,112	5,748	-0,0044	-49,911	-0,0942	-50,367
0,112	5,880	-0,0038	-49,907	-0,0940	-50,366
0,112	6,013	-0,0033	-49,904	-0,0937	-50,364
0,112	6,148	-0,0028	-49,902	-0,0935	-50,363
0,113	6,285	-0,0023	-49,899	-0,0934	-50,362
0,113	6,423	-0,0019	-49,897	-0,0932	-50,361
0,113	6,562	-0,0015	-49,894	-0,0931	-50,360
0,113	6,703	-0,0011	-49,893	-0,0930	-50,359
0,113	6,845	-0,0008	-49,891	-0,0928	-50,359
0,113	6,988	-0,0006	-49,889	-0,0928	-50,358
0,114	7,133	-0,0004	-49,888	-0,0927	-50,358
0,114	7,279	-0,0002	-49,887	-0,0927	-50,358
0,114	7,426	-0,0001	-49,887	-0,0926	-50,357
0,114	7,574	0,0000	-49,886	-0,0926	-50,357
			-1,015		
				-0,544	

Elegido		F=m*a			
Δ total	Δ H	Movimiento	Peso Agua	DIF	
s	m	m			
0					
0,001	-101,150	-1557	-7687	4,94	Agua domina
0,003	-101,391	-1561	-7685	4,92	Agua domina
0,004	-101,635	-1565	-7684	4,91	Agua domina

0,006	-101,881	-1568	-7682	4,90	Agua domina
0,007	-102,131	-1572	-7680	4,89	Agua domina
0,009	-102,383	-1576	-7679	4,87	Agua domina
0,010	-102,638	-1580	-7677	4,86	Agua domina
0,012	-102,896	-1584	-7676	4,85	Agua domina
0,013	-103,157	-1588	-7674	4,83	Agua domina
0,014	-103,420	-1592	-7673	4,82	Agua domina
0,016	-103,687	-1596	-7671	4,81	Agua domina
0,017	-103,958	-1600	-7670	4,79	Agua domina
0,018	-104,231	-1605	-7669	4,78	Agua domina
0,020	-104,507	-1609	-7667	4,77	Agua domina
0,021	-104,787	-1613	-7666	4,75	Agua domina
0,022	-105,070	-1617	-7664	4,74	Agua domina
0,023	-105,356	-1622	-7663	4,72	Agua domina
0,025	-105,646	-1626	-7662	4,71	Agua domina
0,026	-105,939	-1631	-7660	4,70	Agua domina
0,027	-106,236	-1635	-7659	4,68	Agua domina
0,028	-106,536	-1640	-7658	4,67	Agua domina
0,030	-106,840	-1645	-7656	4,66	Agua domina
0,031	-107,147	-1649	-7655	4,64	Agua domina
0,032	-107,458	-1654	-7654	4,63	Agua domina
0,033	-107,773	-1659	-7653	4,61	Agua domina
0,034	-108,092	-1664	-7651	4,60	Agua domina
0,035	-108,415	-1669	-7650	4,58	Agua domina
0,036	-108,742	-1674	-7649	4,57	Agua domina
0,037	-109,073	-1679	-7648	4,55	Agua domina
0,039	-109,408	-1684	-7646	4,54	Agua domina

0,040	-109,748	-1689	-7645	4,53	Agua domina
0,041	-110,091	-1695	-7644	4,51	Agua domina
0,042	-110,439	-1700	-7643	4,50	Agua domina
0,043	-110,791	-1706	-7642	4,48	Agua domina
0,044	-111,148	-1711	-7641	4,47	Agua domina
0,045	-111,510	-1717	-7640	4,45	Agua domina
0,046	-111,876	-1722	-7639	4,44	Agua domina
0,047	-112,247	-1728	-7638	4,42	Agua domina
0,047	-112,623	-1734	-7637	4,40	Agua domina
0,048	-113,003	-1740	-7636	4,39	Agua domina
0,049	-113,389	-1745	-7635	4,37	Agua domina
0,050	-113,780	-1752	-7634	4,36	Agua domina
0,051	-114,176	-1758	-7633	4,34	Agua domina
0,052	-114,577	-1764	-7632	4,33	Agua domina
0,053	-114,984	-1770	-7631	4,31	Agua domina
0,054	-115,396	-1776	-7630	4,30	Agua domina
0,054	-115,814	-1783	-7629	4,28	Agua domina
0,055	-116,238	-1789	-7628	4,26	Agua domina
0,056	-116,667	-1796	-7627	4,25	Agua domina
0,057	-117,103	-1803	-7626	4,23	Agua domina
0,058	-117,544	-1809	-7625	4,21	Agua domina
0,058	-117,992	-1816	-7625	4,20	Agua domina
0,059	-118,446	-1823	-7624	4,18	Agua domina
0,060	-118,906	-1830	-7623	4,16	Agua domina
0,060	-119,373	-1838	-7622	4,15	Agua domina
0,061	-119,847	-1845	-7621	4,13	Agua domina
0,062	-120,328	-1852	-7621	4,11	Agua domina

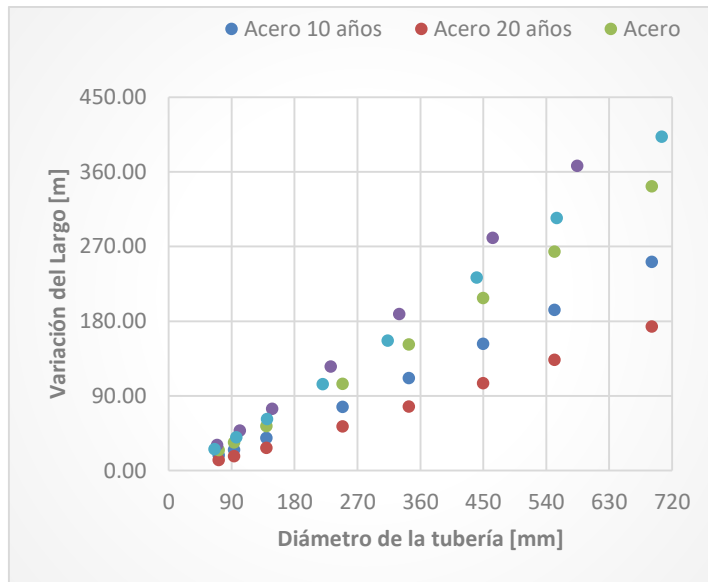
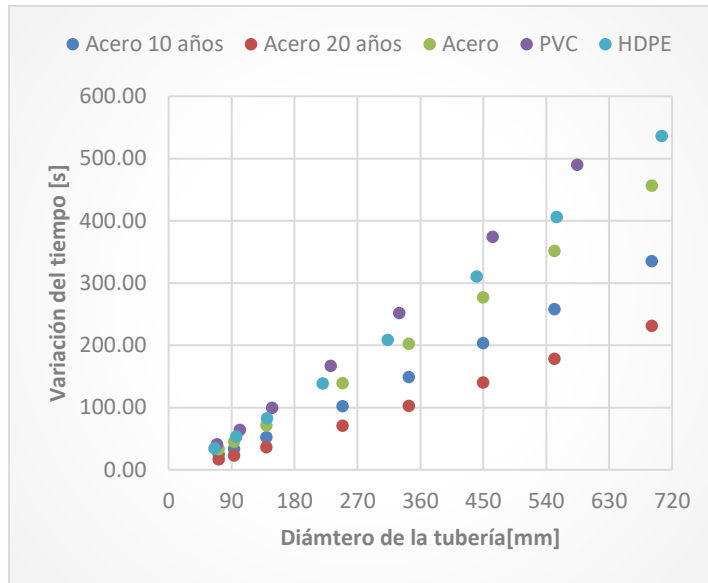
0,062	-120,815	-1860	-7620	4,10	Agua domina
0,063	-121,310	-1867	-7619	4,08	Agua domina
0,064	-121,812	-1875	-7619	4,06	Agua domina
0,064	-122,321	-1883	-7618	4,05	Agua domina
0,065	-122,839	-1891	-7617	4,03	Agua domina
0,065	-123,363	-1899	-7617	4,01	Agua domina
0,066	-123,896	-1907	-7616	3,99	Agua domina
0,067	-124,437	-1916	-7615	3,98	Agua domina
0,067	-124,986	-1924	-7615	3,96	Agua domina
0,068	-125,544	-1933	-7614	3,94	Agua domina
0,068	-126,111	-1941	-7614	3,92	Agua domina
0,069	-126,686	-1950	-7613	3,90	Agua domina
0,069	-127,270	-1959	-7613	3,89	Agua domina
0,069	-127,864	-1968	-7612	3,87	Agua domina
0,070	-128,467	-1978	-7612	3,85	Agua domina
0,070	-129,080	-1987	-7611	3,83	Agua domina
0,071	-129,703	-1997	-7611	3,81	Agua domina
0,071	-130,336	-2006	-7610	3,79	Agua domina
0,072	-130,979	-2016	-7610	3,77	Agua domina
0,072	-131,633	-2026	-7609	3,76	Agua domina
0,072	-132,298	-2037	-7609	3,74	Agua domina
0,073	-132,975	-2047	-7609	3,72	Agua domina
0,073	-133,663	-2058	-7608	3,70	Agua domina
0,073	-134,362	-2068	-7608	3,68	Agua domina
0,073	-135,074	-2079	-7607	3,66	Agua domina
0,074	-135,798	-2090	-7607	3,64	Agua domina
0,074	-136,535	-2102	-7607	3,62	Agua domina

0,074	-137,285	-2113	-7607	3,60	Agua domina
0,074	-138,048	-2125	-7606	3,58	Agua domina
0,075	-138,825	-2137	-7606	3,56	Agua domina
0,075	-139,616	-2149	-7606	3,54	Agua domina
0,075	-140,422	-2162	-7606	3,52	Agua domina
0,075	-141,243	-2174	-7606	3,50	Agua domina
0,075	-142,078	-2187	-7605	3,48	Agua domina
0,075	-142,930	-2200	-7605	3,46	Agua domina
0,076	-143,798	-2214	-7605	3,44	Agua domina
0,076	-144,682	-2227	-7605	3,41	Agua domina
0,076	-145,583	-2241	-7605	3,39	Agua domina
0,076	-146,503	-2255	-7605	3,37	Agua domina
0,076	-147,440	-2270	-7605	3,35	Agua domina
0,076	-148,395	-2284	-7605	3,33	Agua domina
0,076	-149,370	-2299	-7605	3,31	Agua domina
0,076	-150,365	-2315	-7605	3,29	Agua domina
	-49,215				

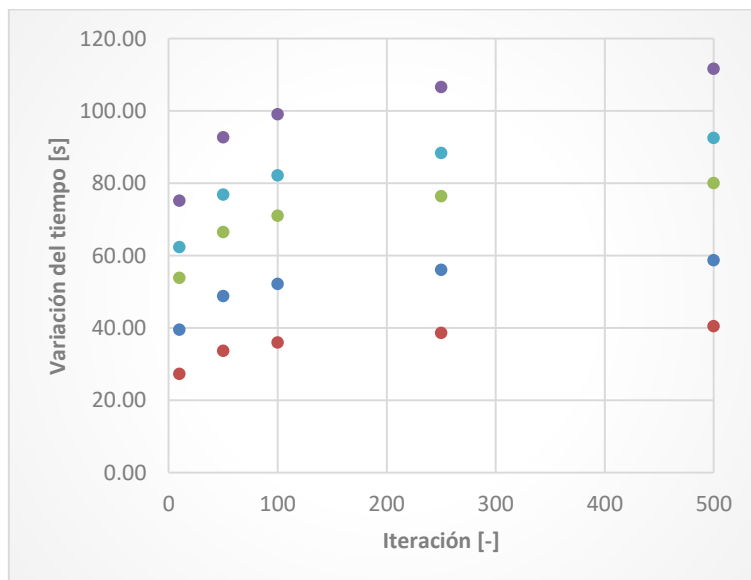
9.2 Tabla Resumen Variación del Largo

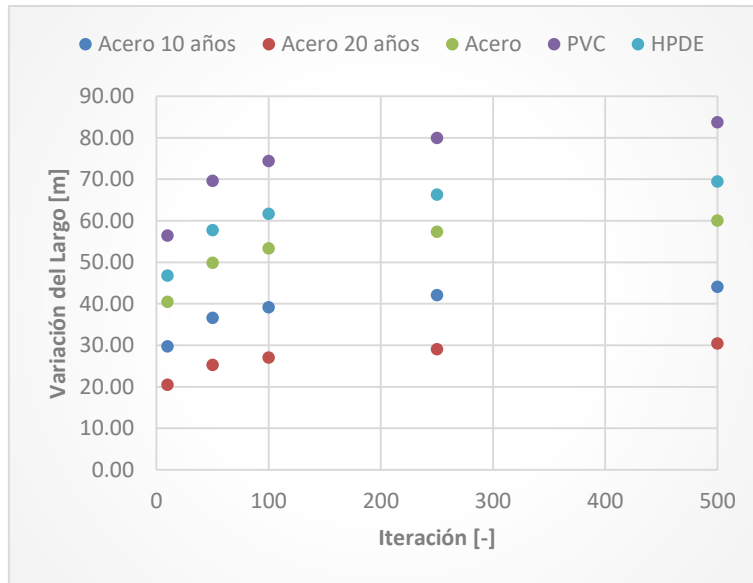
9.2.1 Variación del Largo de diferentes materiales

Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110	-	C _{HW}	90	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
Dn	DL	Dt	Dn	DL	Dt	Dn	DL	Dt
72	18,02	24,02	72	12,43	16,57	72	24,55	32,74
94	24,58	32,78	94	16,95	22,60	94	33,50	44,66
140	39,10	52,14	140	26,96	35,95	140	53,28	71,04
249	76,48	101,97	249	52,74	70,32	249	104,21	138,94
343,6	111,29	148,39	343,6	76,75	102,33	343,6	151,64	202,19
450	152,39	203,18	450	105,09	140,12	450	207,64	276,85
552	193,34	257,78	552	133,33	177,77	552	263,44	351,25
691	251,16	334,88	691	173,20	230,93	691	342,23	456,30
PVC			HDPE					
C _{HW}	150	-	C _{HW}	140	-			
n	100	-	n	100	-			
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s			
L	500	m	L	500	m			
Dn	DL	Dt	Dn	DL	Dt			
69,4	30,66	40,88	66	25,45	33,93			
102	48,02	64,03	96,8	39,76	53,02			
148,4	74,33	99,10	141	61,63	82,17			
231,8	124,96	166,61	220,4	103,70	138,26			
329,8	188,44	251,26	313,4	156,27	208,36			
463,8	280,35	373,79	440,6	232,40	309,87			
584,4	366,97	489,30	555,2	304,24	405,65			
			705,2	401,99	535,98			

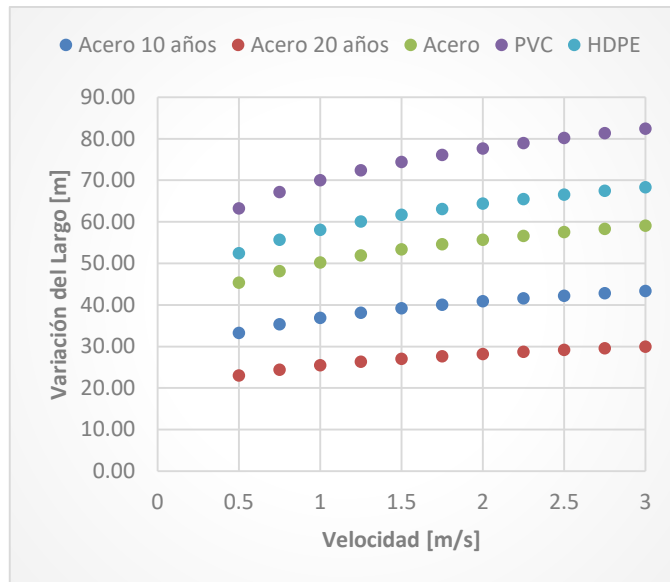
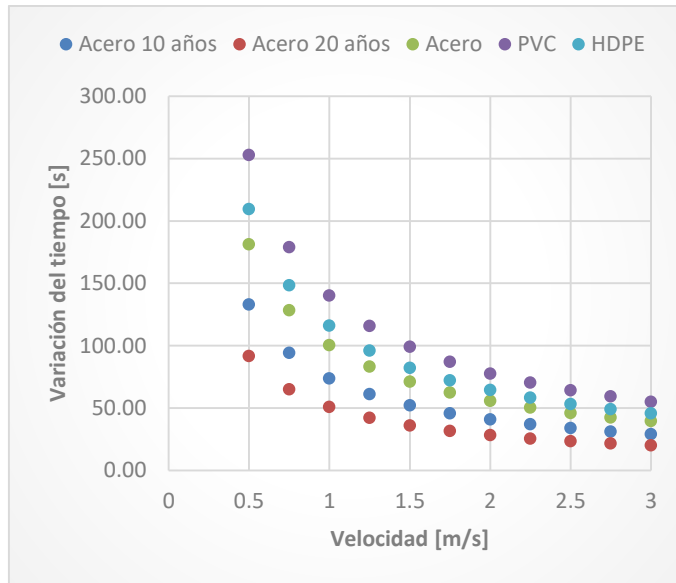


Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C_{HW}	110	-	C_{HW}	90	-	C_{HW}	130	-
DN	140	mm	DN	140	mm	DN	140	mm
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
n	DL	Dt	n	DL	Dt	n	DL	Dt
10	29,66	39,54	10	20,45	27,27	10	40,41	53,88
50	36,59	48,78	50	25,23	33,64	50	49,85	66,47
100	39,10	52,14	100	26,96	35,95	100	53,28	71,04
250	42,05	56,07	250	29,00	38,67	250	57,30	76,40
500	44,03	58,71	500	30,37	40,49	500	60,00	80,00
PVC			HPDE					
C_{HW}	150	-	C_{HW}	140	-			
DN	148,4	mm	DN	141	mm			
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s			
L	500	m	L	500	m			
n	DL	Dt	n	DL	Dt			
10	56,37	75,16	10	46,74	62,32			
50	69,55	92,73	50	57,66	76,89			
100	74,33	99,10	100	61,63	82,17			
250	79,93	106,58	250	66,28	88,37			
500	83,70	111,60	500	69,40	92,53			





Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110 -		C _{HW}	90 -		C _{HW}	130 -	
D _N	140 mm		D _N	140 mm		D _N	140 mm	
n	100 -		n	100 -		n	100 -	
L	500 m		L	500 m		L	500 m	
v	DL	Dt	v	DL	Dt	v	DL	Dt
0,5	33,23	132,94	0,5	22,92	91,67	0,5	45,28	181,14
0,75	35,29	94,10	0,75	24,34	64,89	0,75	48,08	128,23
1	36,82	73,65	1	25,39	50,79	1	50,18	100,35
1,25	38,06	60,90	1,25	26,25	41,99	1,25	51,86	82,98
1,5	39,10	52,14	1,5	26,96	35,95	1,5	53,28	71,04
1,75	40,00	45,72	1,75	27,59	31,53	1,75	54,51	62,30
2	40,80	40,80	2	28,14	28,14	2	55,60	55,60
2,25	41,52	36,91	2,25	28,63	25,45	2,25	56,57	50,29
2,5	42,17	33,74	2,5	29,08	23,27	2,5	57,46	45,97
2,75	42,77	31,11	2,75	29,50	21,45	2,75	58,28	42,39
3	43,33	28,88	3	29,88	19,92	3	59,04	39,36
PVC			HDPE					
C _{HW}	150 -		C _{HW}	140 -				
D _N	148,4 mm		D _N	141 mm				
n	100 -		n	100 -				
L	500 m		L	500 m				
v	DL	Dt	v	DL	Dt			
0,5	63,17	252,69	0,5	52,378	209,514			
0,75	67,08	178,88	0,75	55,618	148,314			
1	70,00	139,99	1	58,037	116,074			
1,25	72,35	115,75	1,25	59,986	95,977			
1,5	74,33	99,10	1,5	61,626	82,168			
1,75	76,04	86,90	1,75	63,048	72,055			
2	77,56	77,56	2	64,307	64,307			
2,25	78,92	70,15	2,25	65,438	58,167			
2,5	80,16	64,13	2,5	66,466	53,173			
2,75	81,30	59,13	2,75	67,410	49,026			
3	82,36	54,90	3	68,284	45,523			



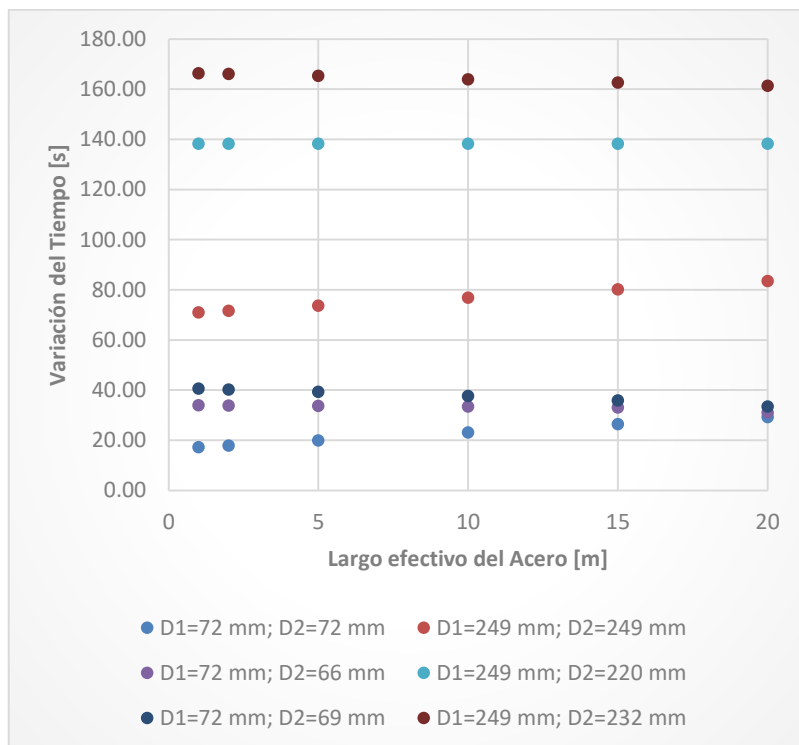
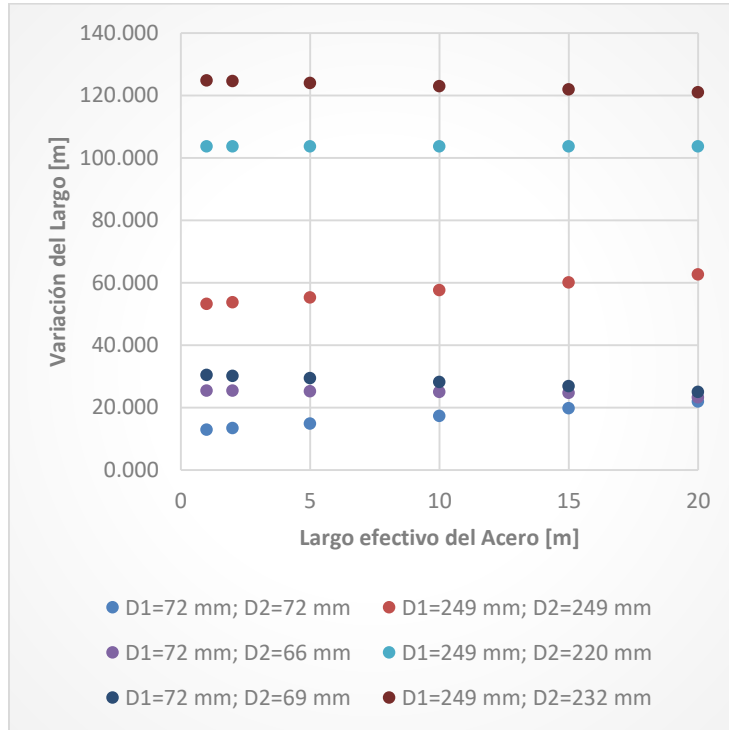
9.2.2 Variación del Largo de 2 materiales diferentes de la tubería

Acero-Acero 20 años								
D1=72 mm; D2=72 mm			D1=249 mm; D2=249 mm			D1=552 mm; D2=552 mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
L	DL	Dt	L	DL	Dt	L	DL	Dt
1	12,919	17,23	1	53,232	70,98	1	133,822	178,43
2	13,414	17,89	2	53,727	71,64	2	134,259	179,01
5	14,879	19,84	5	55,209	73,61	5	135,796	181,06
10	17,310	23,08	10	57,635	76,85	10	138,258	184,34
15	19,753	26,34	15	60,101	80,13	15	140,736	187,65
20	21,940	29,25	20	62,617	83,49	20	143,174	190,90

Acero-HDPE								
D1=72 mm; D2=66 mm			D1=249 mm; D2=220 mm			D1=552 mm; D2=555 mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
L	DL	Dt	L	DL	Dt	L	DL	Dt
1	25,403	33,87	1	103,647	138,20	1	304,146	405,53
2	25,367	33,82	2	103,644	138,19	2	303,951	405,27
5	25,248	33,66	5	103,658	138,21	5	303,548	404,73
10	25,036	33,38	10	103,670	138,23	10	302,808	403,74
15	24,727	32,97	15	103,679	138,24	15	302,014	402,69
20	23,235	30,98	20	103,679	138,24	20	301,284	401,71

Acero-PVC								
D1=72 mm; D2=69 mm			D1=249 mm; D2=232 mm			D1=552 mm; D2=584mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
L	DL	Dt	L	DL	Dt	L	DL	Dt
1	30,4249	40,57	1	124,773003	166,36	1	366,82393	489,10
2	30,1739	40,23	2	124,566814	166,09	2	366,32833	488,44
5	29,4156	39,22	5	123,957667	165,28	5	365,31053	487,08

10	28,1746	37,57	10	122,931998	163,91	10	363,15803	484,21
15	26,8757	35,83	15	121,926117	162,57	15	361,42771	481,90
20	25,0284	33,37	20	120,994646	161,33	20	359,58234	479,44

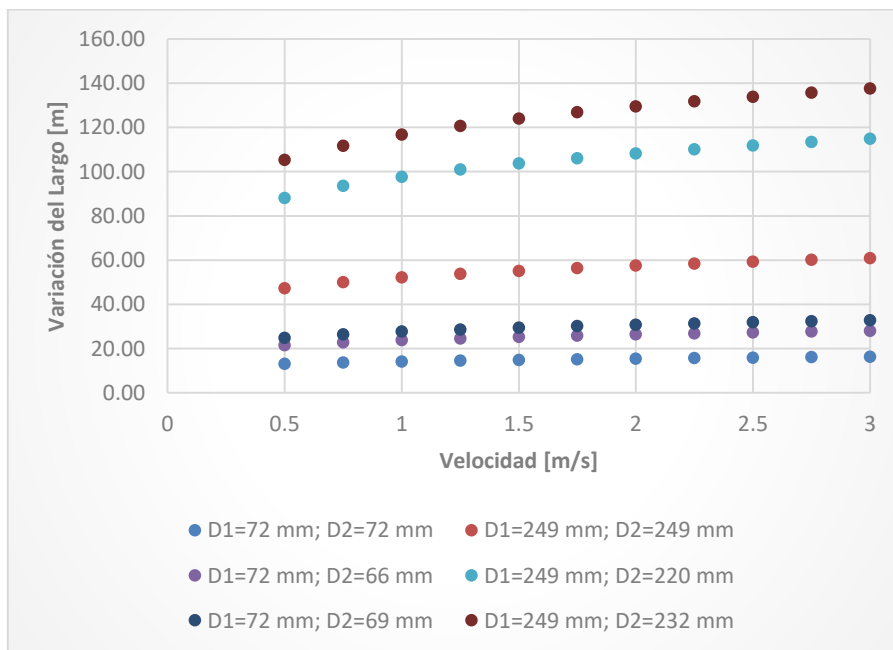


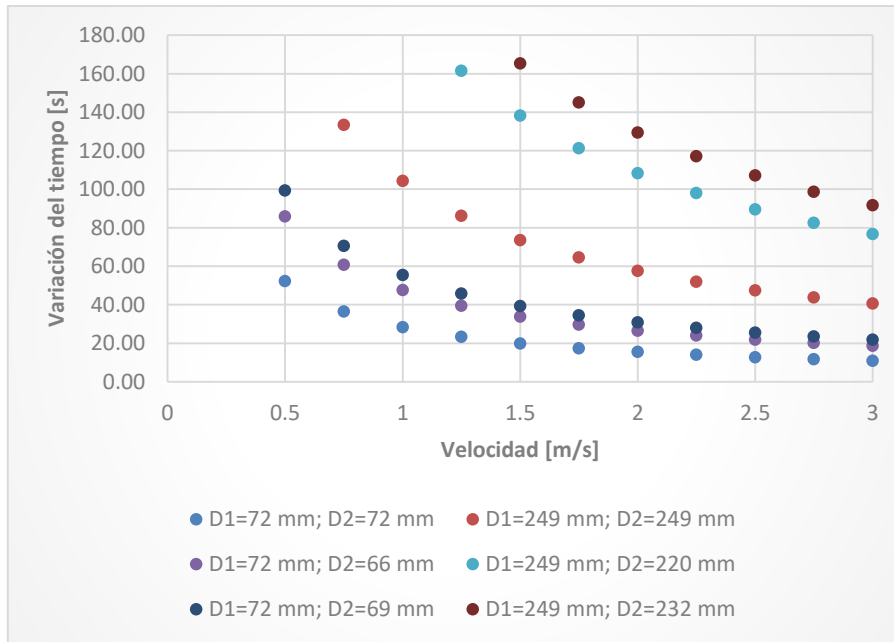
Acero-Acero 20 años								
D1=72 mm; D2=72 mm			D1=249 mm; D2=249 mm			D1=552 mm; D2=552 mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	5	m	L	5	m	L	5	m
D	72	mm	D	249	mm	D	552	mm
v	DL	Dt	v	DL	Dt	v	DL	Dt
0,5	13,03	52,13	0,5	47,22	188,86	0,5	115,76	463,05
0,75	13,66	36,44	0,75	50,00	133,34	0,75	122,62	326,99
1	14,13	28,26	1	52,14	104,27	1	127,96	255,91
1,25	14,54	23,27	1,25	53,79	86,06	1,25	132,25	211,59
1,5	14,88	19,84	1,5	55,11	73,48	1,5	135,80	181,06
1,75	15,16	17,33	1,75	56,39	64,44	1,75	138,67	158,48
2	15,40	15,40	2	57,50	57,50	2	141,44	141,44
2,25	15,66	13,92	2,25	58,37	51,88	2,25	143,93	127,93
2,5	15,85	12,68	2,5	59,29	47,43	2,5	146,19	116,95
2,75	16,06	11,68	2,75	60,13	43,73	2,75	148,26	107,83
3	16,22	10,81	3	60,91	40,60	3	296,22	197,48

Acero-HDPE								
D1=72 mm; D2=66 mm			D1=249 mm; D2=220 mm			D1=552 mm; D2=555 mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	5	m	L	5	m	L	5	m
D	72	mm	D	249	mm	D	552	mm
v	DL	Dt	v	DL	Dt	v	DL	Dt
0,5	21,43	85,73	0,5	88,10	352,42	0,5	257,82	1031,29
0,75	22,77	60,71	0,75	93,52	249,39	0,75	273,76	730,03
1	23,77	47,54	1	97,62	195,24	1	285,77	571,54
1,25	24,57	39,31	1,25	100,90	161,44	1,25	295,47	472,75
1,5	25,25	33,66	1,5	103,66	138,21	1,5	303,55	404,73
1,75	25,84	29,53	1,75	106,05	121,20	1,75	310,55	354,92
2	26,36	26,36	2	108,16	108,16	2	316,75	316,75
2,25	26,82	23,84	2,25	110,07	97,84	2,25	322,32	286,51
2,5	27,25	21,80	2,5	111,80	89,44	2,5	327,39	261,91
2,75	27,64	20,10	2,75	113,39	82,46	2,75	332,04	241,48
3	28,00	18,66	3	114,84	76,56	3	336,45	224,30

Acero-PVC								
D1=72 mm; D2=69 mm			D1=249 mm; D2=232 mm			D1=552 mm; D2=584mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-

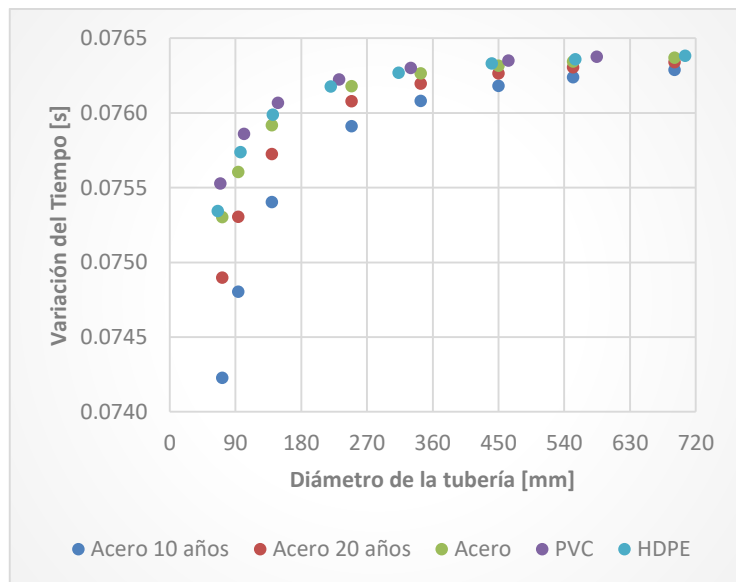
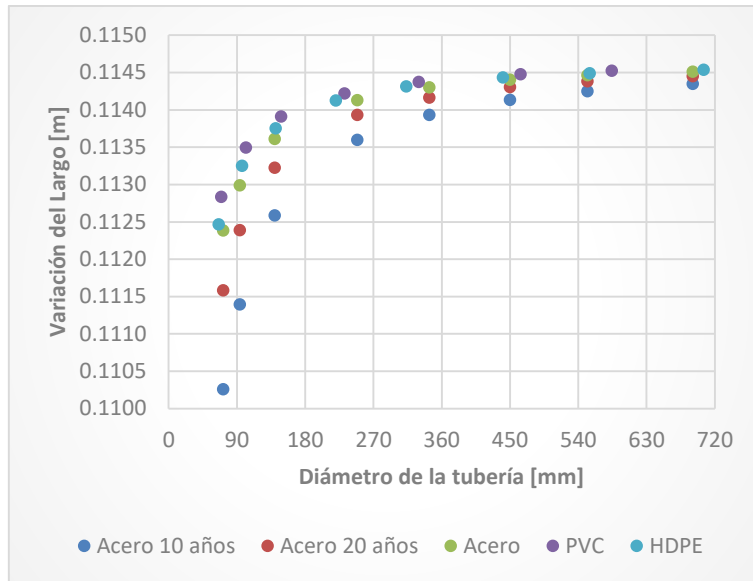
n 100 -			n 100 -			n 100 -		
v 1,5 m/s			v 1,5 m/s			v 1,5 m/s		
L 5 m			L 5 m			L 5 m		
D 72 mm			D 249 mm			D 552 mm		
v	DL	Dt	v	DL	Dt	v	DL	Dt
0,5	24,83	99,31	0,5	105,21	420,84	0,5	310,05	1240,18
0,75	26,43	70,47	0,75	111,69	297,83	0,75	329,33	878,23
1	27,64	55,28	1	116,68	233,36	1	343,79	687,58
1,25	28,60	45,76	1,25	120,60	192,96	1,25	355,58	568,94
1,5	29,42	39,22	1,5	123,96	165,28	1,5	365,31	487,08
1,75	30,13	34,43	1,75	126,82	144,94	1,75	373,74	427,13
2	30,76	30,76	2	129,41	129,41	2	381,20	381,20
2,25	31,33	27,85	2,25	131,69	117,05	2,25	387,90	344,80
2,5	31,83	25,46	2,5	133,76	107,00	2,5	394,00	315,20
2,75	32,31	23,50	2,75	135,66	98,66	2,75	399,60	290,62
3	32,73	21,82	3	137,48	91,65	3	404,78	269,85



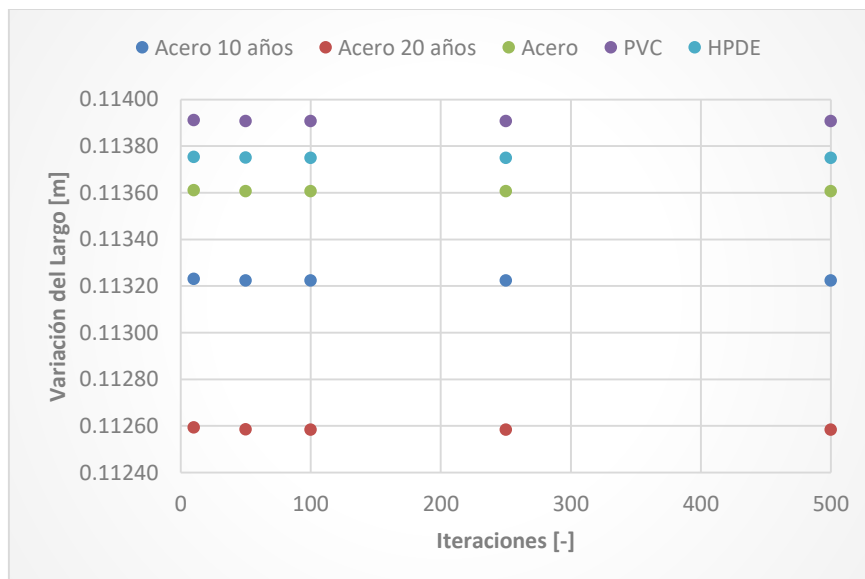


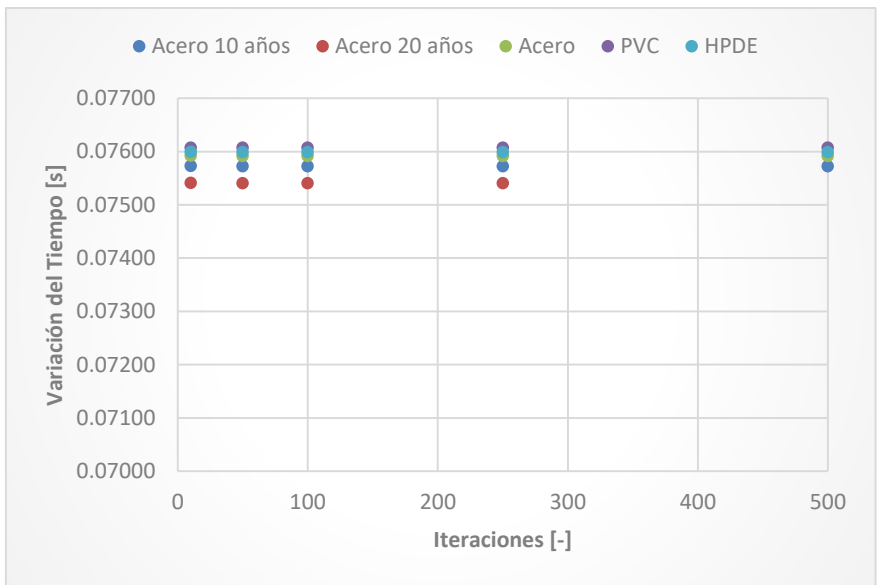
9.2.3 Variaciones del Largo de la bomba sumergida

Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110	-	C _{HW}	90	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
Dn	DL	Dt	Dn	DL		Dn	DL	
72	0,11026	0,07423	72	0,11158	0,07490	72	0,11238	0,07530
94	0,11139	0,07480	94	0,11239	0,07530	94	0,11299	0,07560
140	0,11258	0,07540	140	0,11322	0,07572	140	0,11361	0,07592
249	0,11360	0,07591	249	0,11393	0,07608	249	0,11413	0,07618
343,6	0,11393	0,07608	343,6	0,11416	0,07619	343,6	0,11430	0,07626
450	0,11413	0,07618	450	0,11430	0,07626	450	0,11440	0,07631
552	0,11425	0,07624	552	0,11438	0,07630	552	0,11446	0,07634
691	0,11435	0,07629	691	0,11445	0,07634	691	0,11451	0,07637
PVC			HDPE					
C _{HW}	150	-	C _{HW}	140	-			
n	100	-	n	100	-			
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s			
L	500	m	L	500	m			
Dn	DL		Dn	DL				
69,4	0,11283	0,07553	66	0,11246	0,07534			
102	0,11349	0,07586	96,8	0,11325	0,07574			
148,4	0,11391	0,07607	141	0,11375	0,07599			
231,8	0,11422	0,07622	220,4	0,11412	0,07618			
329,8	0,11437	0,07630	313,4	0,11431	0,07627			
463,8	0,11447	0,07635	440,6	0,11443	0,07633			
584,4	0,11452	0,07637	555,2	0,11449	0,07636			
			705,2	0,11454	0,07638			

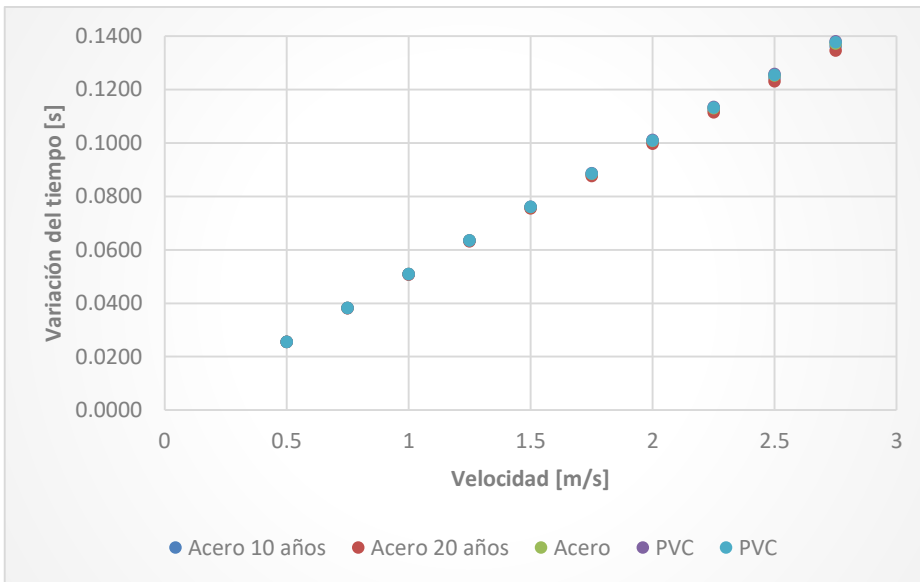
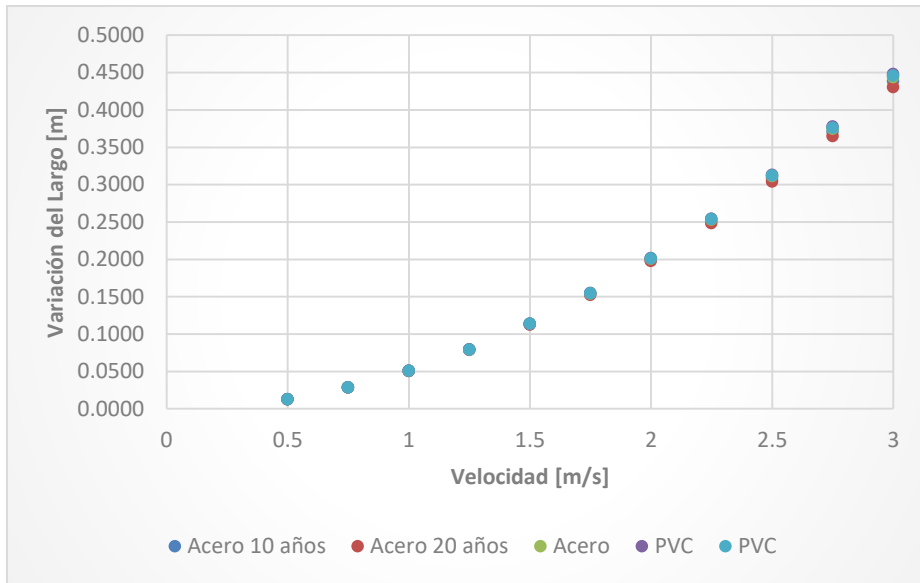


Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C_{HW}	110 -		C_{HW}	90 -		C_{HW}	130 -	
DN	140 mm		DN	140 mm		DN	140 mm	
v	1,5 m/s		v	1,5 m/s		v	1,5 m/s	
L	500 m		L	500 m		L	500 m	
n	DL	Dt	n	DL	Dt	n	DL	Dt
10	0,113230	0,075727	10	0,112594	0,075407	10	0,113611	0,075918
50	0,113224	0,075724	50	0,112585	0,075402	50	0,113606	0,075916
100	0,113224	0,075724	100	0,112584	0,075402	100	0,113606	0,075915
250	0,113224	0,075724	250	0,112584	0,075402	250	0,113606	0,075915
500	0,113224	0,075723	500	0,112584	0,056281	500	0,113606	0,075915
PVC			HPDE					
C_{HW}	150 -		C_{HW}	140 -				
DN	148,4 mm		DN	141 mm				
v	1,5 m/s		v	1,5 m/s				
L	500 m		L	500 m				
n	DL	Dt	n	DL	Dt			
10	0,113911	0,076068	10	0,113754	0,075990			
50	0,113908	0,076066	50	0,113750	0,075988			
100	0,113907	0,076066	100	0,113750	0,075988			
250	0,113907	0,076066	250	0,113750	0,075988			
500	0,113907	0,076066	500	0,113750	0,075988			





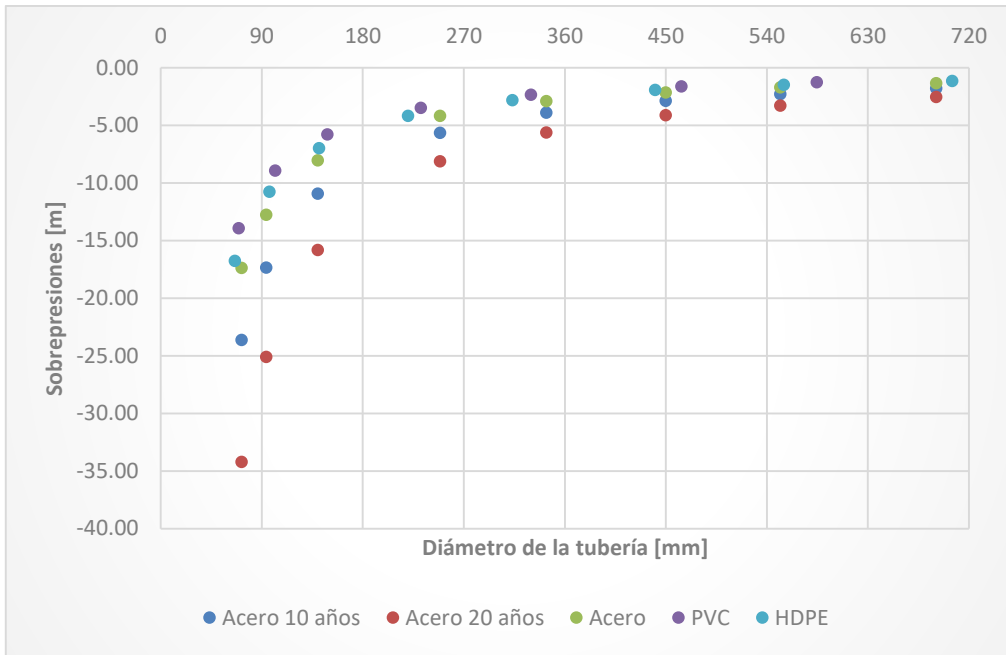
Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C_{HW}	110 -		C_{HW}	90 -		C_{HW}	130 -	
D_N	140 mm		D_N	140 mm		D_N	140 mm	
n	100 -		n	100 -		n	100 -	
L	500 m		L	500 m		L	500 m	
v	DL	Dt	v	DL	Dt	v	DL	Dt
0,5	0,0127	0,0255	0,5	0,0127	0,0254	0,5	0,0127	0,0255
0,75	0,0286	0,0381	0,75	0,0285	0,0381	0,75	0,0286	0,0382
1	0,0507	0,0507	1	0,0505	0,0506	1	0,0507	0,0508
1,25	0,0789	0,0633	1,25	0,0786	0,0631	1,25	0,0791	0,0634
1,5	0,1132	0,0757	1,5	0,1126	0,0754	1,5	0,1136	0,0759
1,75	0,1535	0,0881	1,75	0,1523	0,0876	1,75	0,1542	0,0884
2	0,1995	0,1003	2	0,1976	0,0996	2	0,2007	0,1007
2,25	0,2512	0,1124	2,25	0,2483	0,1114	2,25	0,2530	0,1130
2,5	0,3084	0,1244	2,5	0,3041	0,1231	2,5	0,3110	0,1252
2,75	0,3709	0,1362	2,75	0,3648	0,1345	2,75	0,3746	0,1372
3	0,4386	0,1478	3	0,4302	0,1457	3	0,4437	0,1491
PVC			HDPE					
C_{HW}	150 -		C_{HW}	140 -				
D_N	148,4 mm		D_N	141 mm				
n	100 -		n	100 -				
L	500 m		L	500 m				
v	DL	Dt	v	DL	Dt			
0,5	0,0127	0,0255	0,5	0,0127	0,0255			
0,75	0,0286	0,0382	0,75	0,0286	0,0382			
1	0,05081	0,0508	1	0,0508	0,0508			
1,25	0,0793	0,0635	1,25	0,0792	0,0634			
1,5	0,1139	0,0761	1,5	0,1138	0,0760			
1,75	0,1547	0,0886	1,75	0,1544	0,0885			
2	0,20155	0,1011	2	0,2011	0,1009			
2,25	0,2544	0,1135	2,25	0,2537	0,1132			
2,5	0,3131	0,1258	2,5	0,3120	0,1255			
2,75	0,3776	0,1380	2,75	0,3761	0,1376			
3	0,44782	0,1502	3	0,4457	0,1496			



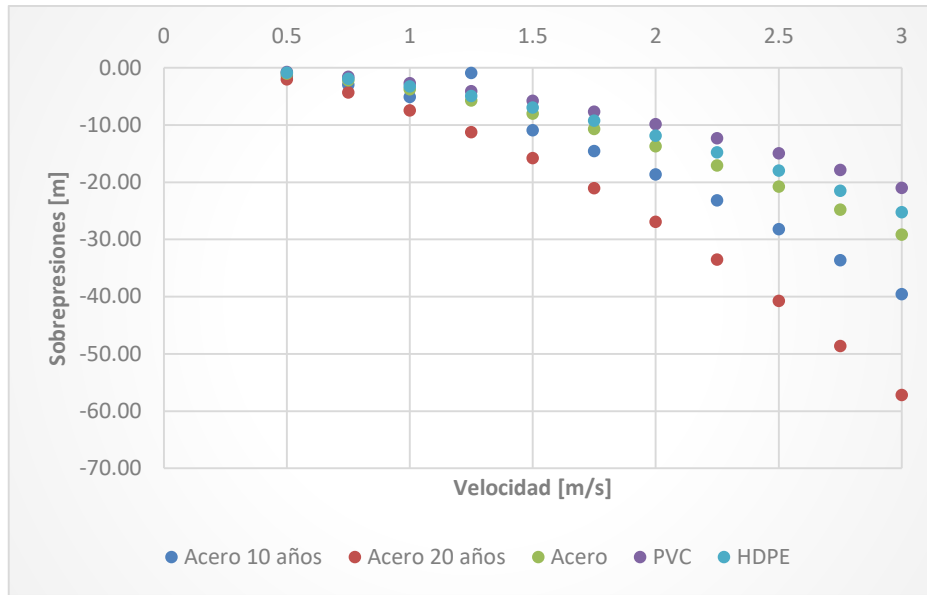
9.3 Tabla Resumen Subpresión de 0,5 km

9.3.1 Subpresiones de diferentes materiales

Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110	-	C _{HW}	90	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
Dn	DP	Dt	Dn	DP	Dt	Dn	DP	Dt
72	-23,64	24,02	72	-34,23	16,57	72	-17,38	32,74
94	-17,36	32,78	94	-25,12	22,60	94	-12,77	44,66
140	-10,955	52,14	140	-15,84	35,95	140	-8,070	71,04
249	-5,66	101,97	249	-8,15	70,32	249	-4,18	138,94
343,6	-3,92	148,39	343,6	-5,64	102,33	343,6	-2,91	202,19
450	-2,89	203,18	450	-4,15	140,12	450	-2,15	276,85
552	-2,31	257,78	552	-3,29	177,77	552	-1,72	351,25
691	-1,80	334,88	691	-2,56	230,93	691	-1,35	456,30
PVC			HDPE					
C _{HW}	150	-	C _{HW}	140	-			
n	100	-	n	100	-			
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s			
L	500	m	L	500	m			
Dn	DP	Dt	Dn	DP	Dt			
69,4	-13,94	40,88	66	-16,77	33,93			
102	-8,94	64,03	96,8	-10,77	53,02			
148,4	-5,82	99,10	141	-6,99	82,17			
231,8	-3,51	166,61	220,4	-4,20	138,26			
329,8	-2,36	251,26	313,4	-2,83	208,36			
463,8	-1,62	373,79	440,6	-1,94	309,87			
584,4	-1,27	489,30	555,2	-1,51	405,65			
			705,2	-1,17	535,98			



Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110 -		C _{HW}	90 -		C _{HW}	130 -	
D _N	140 mm		D _N	140 mm		D _N	140 mm	
n	100 -		n	100 -		n	100 -	
L	500 m		L	500 m		L	500 m	
v	DP	Dt	v	DP	Dt	v	DP	Dt
0,5	-1,43	132,94	0,5	-2,07	91,67	0,5	-1,05	181,14
0,75	-3,03	94,10	0,75	-4,38	64,89	0,75	-2,23	128,23
1	-5,17	73,65	1	-7,47	50,79	1	-3,81	100,35
1,25	-0,97	60,90	1,25	-11,30	41,99	1,25	-5,76	82,98
1,5	-10,95	52,14	1,5	-15,84	35,95	1,5	-8,07	71,04
1,75	-14,58	45,72	1,75	-21,07	31,53	1,75	-10,74	62,30
2	-18,67	40,80	2	-26,99	28,14	2	-13,76	55,60
2,25	-23,23	36,91	2,25	-33,57	25,45	2,25	-17,11	50,29
2,5	-28,24	33,74	2,5	-40,81	23,27	2,5	-20,81	45,97
2,75	-33,69	31,11	2,75	-48,69	21,45	2,75	-24,83	42,39
3	-39,59	28,88	3	-57,21	19,92	3	-29,18	39,36
PVC			HDPE					
C _{HW}	150 -		C _{HW}	140 -				
D _N	148,4 mm		D _N	141 mm				
n	100 -		n	100 -				
L	500 m		L	500 m				
v	DP	Dt	v	DP	Dt			
0,5	-0,76	252,69	0,5	-0,912	209,514			
0,75	-1,61	178,88	0,75	-1,934	148,314			
1	-2,74	139,99	1	-3,297	116,074			
1,25	-4,15	115,75	1,25	-4,986	95,977			
1,5	-5,82	99,10	1,5	-6,992	82,168			
1,75	-7,74	86,90	1,75	-9,306	72,055			
2	-9,92	77,56	2	-11,920	64,307			
2,25	-12,34	70,15	2,25	-14,830	58,167			
2,5	-15,00	64,13	2,5	-18,031	53,173			
2,75	-17,90	59,13	2,75	-21,517	49,026			
3	-21,04	54,90	3	-25,285	45,523			



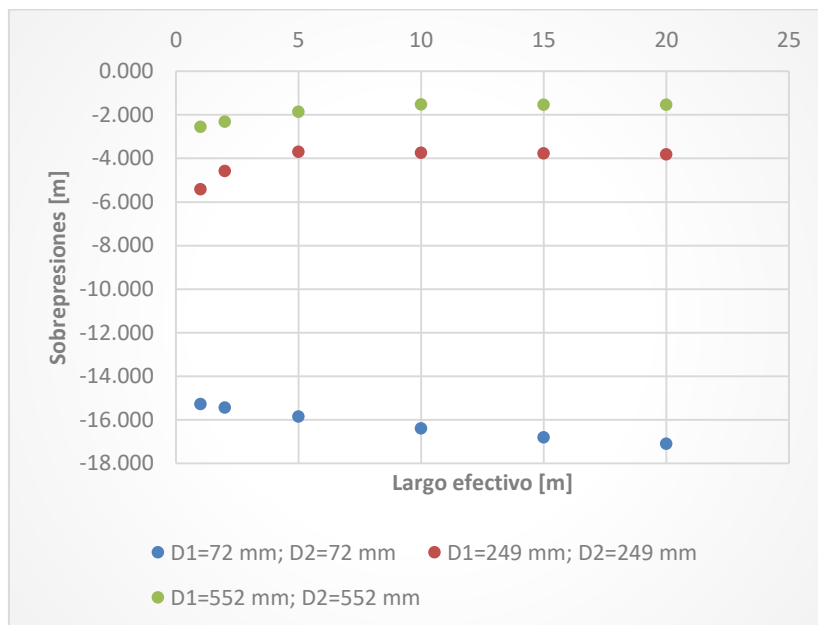
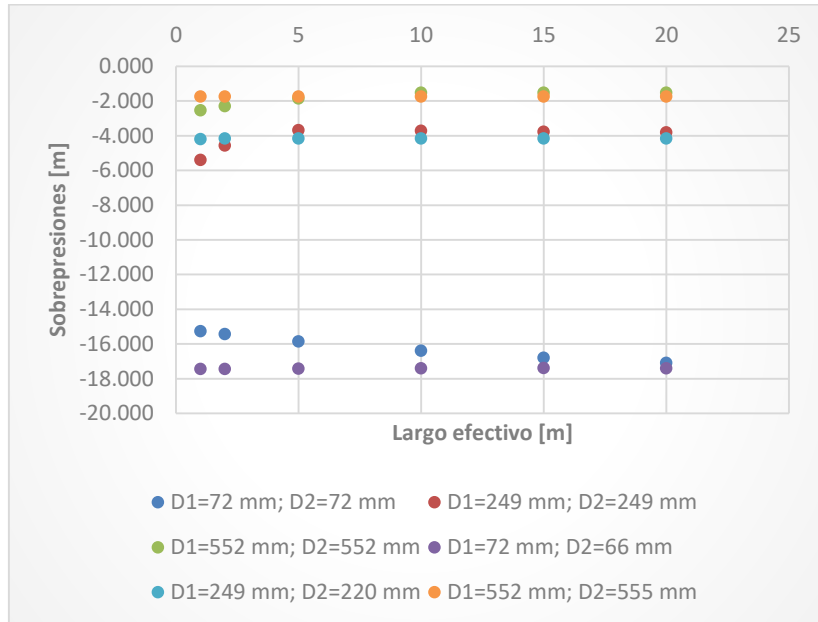
9.3.2 Subpresiones de 2 materiales diferentes de tubería

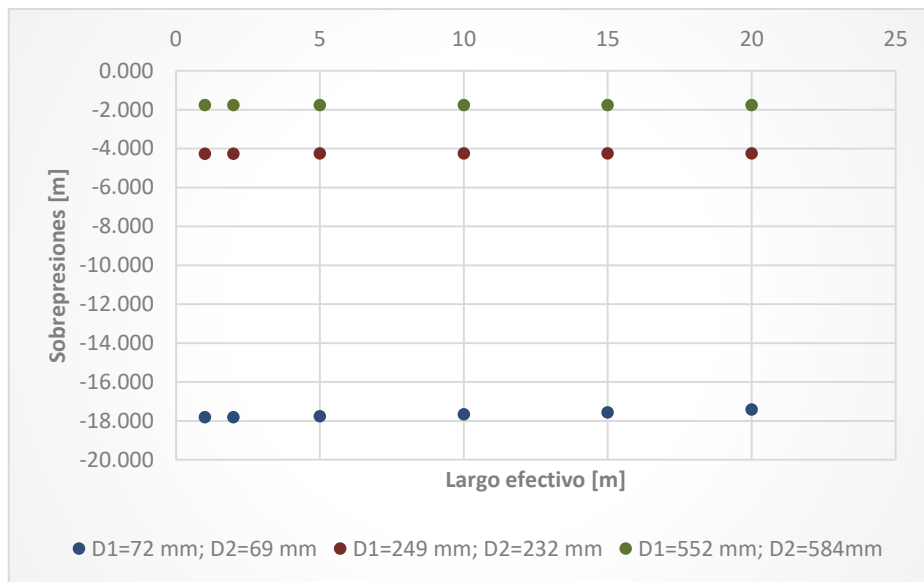
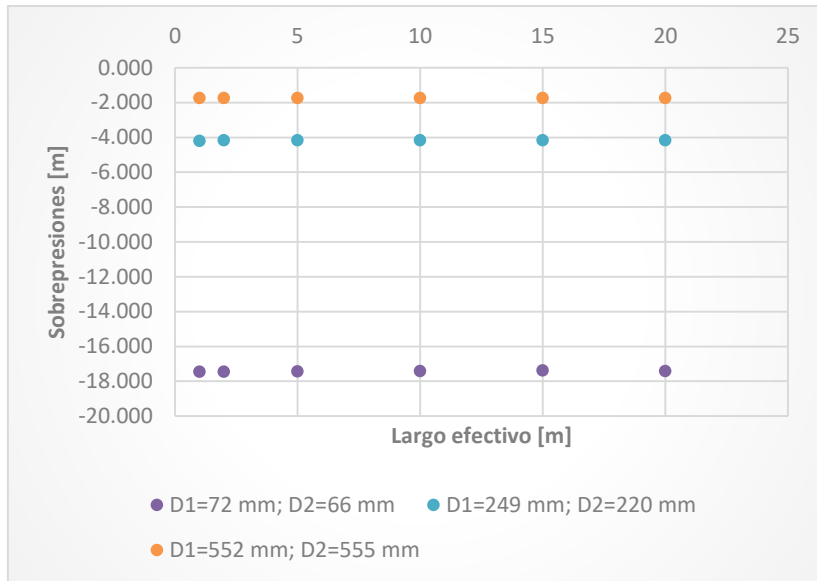
Acero-Acero 20 años								
D1=72 mm; D2=72 mm			D1=249 mm; D2=249 mm			D1=552 mm; D2=552 mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
L	DP	Dt	L	DP	Dt	L	DP	Dt
1	-15,276	17,23	1	-5,414	70,98	1	-2,547	178,43
2	-15,440	17,89	2	-4,585	71,64	2	-2,313	179,01
5	-15,861	19,84	5	-3,693	73,61	5	-1,860	181,06
10	-16,402	23,08	10	-3,736	76,85	10	-1,525	184,34
15	-16,812	26,34	15	-3,777	80,13	15	-1,532	187,65
20	-17,101	29,25	20	-3,815	83,49	20	-1,539	190,90

Acero-HDPE								
D1=72 mm; D2=66 mm			D1=249 mm; D2=220 mm			D1=552 mm; D2=555 mm		
C _{HW}	140	-	C _{HW}	140	-	C _{HW}	140	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
L	DP	Dt	L	DP	Dt	L	DP	Dt
1	-17,457	33,87	1	-4,205	138,19	1	-1,751	405,53
2	-17,454	33,82	2	-4,178	138,19	2	-1,751	405,27
5	-17,444	33,66	5	-4,178	138,21	5	-1,750	404,73
10	-17,424	33,38	10	-4,178	138,23	10	-1,750	403,74
15	-17,396	33,38	15	-4,178	138,24	15	-1,750	402,69
20	-17,424	33,38	20	-4,178	138,24	20	-1,749	401,71

Acero-PVC								
D1=72 mm; D2=69 mm			D1=249 mm; D2=232 mm			D1=552 mm; D2=584mm		
C _{HW}	150	-	C _{HW}	150	-	C _{HW}	150	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
L	DP	Dt	L	DP	Dt	L	DP	Dt
1	-17,830	40,57	1	-4,272	166,36	1	-1,783	489,10
2	-17,814	40,23	2	-4,271	166,09	2	-1,783	488,44
5	-17,765	39,22	5	-4,269	165,28	5	-1,782	487,08

10	-17,679	37,57	10	-4,265	163,91	10	-1,782	484,21
15	-17,581	35,83	15	-4,261	162,57	15	-1,781	481,90
20	-17,424	33,37	20	-4,257	161,33	20	-1,780	479,44



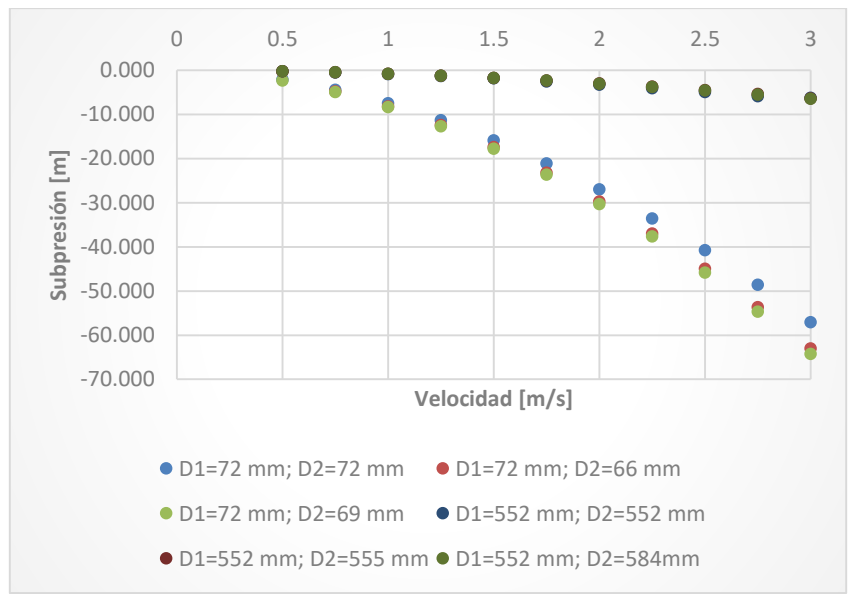


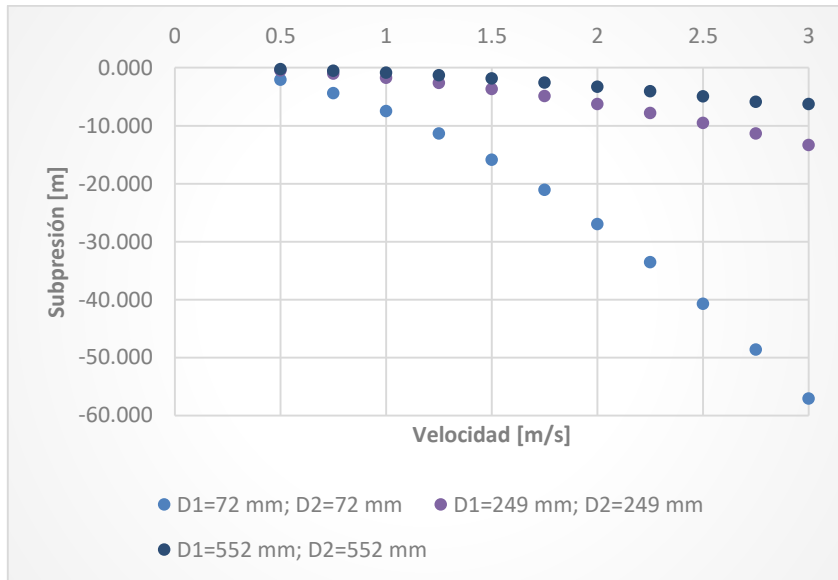
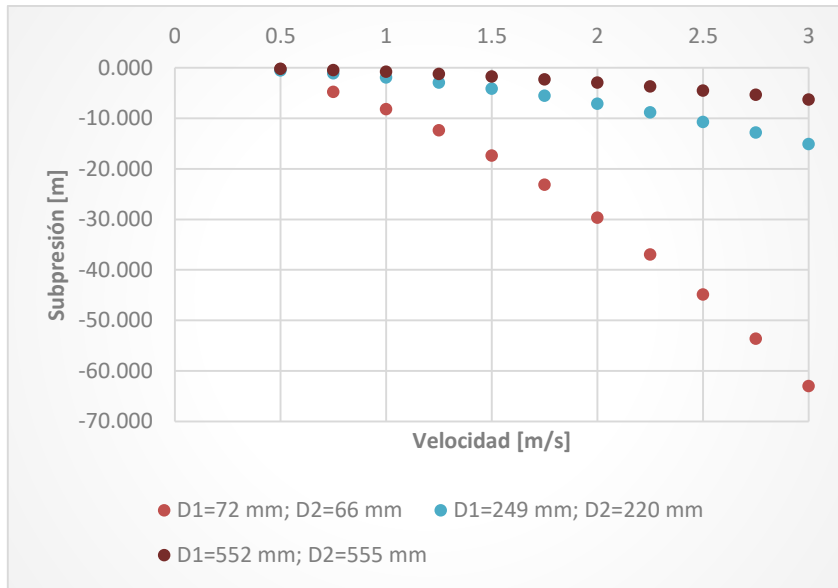
Acero-Acero 20 años								
D1=72 mm; D2=72 mm			D1=249 mm; D2=249 mm			D1=552 mm; D2=552 mm		
C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	5	m	L	5	m	L	5	m
v	DP	Dt	v	DP	Dt	v	DP	Dt
0,5	-2,086	52,129	0,5	-0,481	188,863	0,5	-0,232	463,052
0,75	-4,409	36,439	0,75	-1,021	133,342	0,75	-0,509	326,994
1	-7,498	28,265	1	-1,741	104,274	1	-0,869	255,914
1,25	-11,325	23,272	1,25	-2,633	86,061	1,25	-1,316	211,593
1,5	-15,861	19,839	1,5	-3,691	73,485	1,5	-1,860	181,062
1,75	-21,084	17,325	1,75	-4,914	64,441	1,75	-2,552	158,479
2	-26,976	15,398	2	-6,296	57,502	2	-3,269	141,438
2,25	-33,553	13,924	2,25	-7,830	51,884	2,25	-4,069	127,934
2,5	-40,750	12,682	2,5	-9,521	47,431	2,5	-4,949	116,950
2,75	-48,612	11,682	2,75	-11,365	43,731	2,75	-5,907	107,828
3	-57,074	10,814	3	-13,357	40,604	3	-6,271	197,483

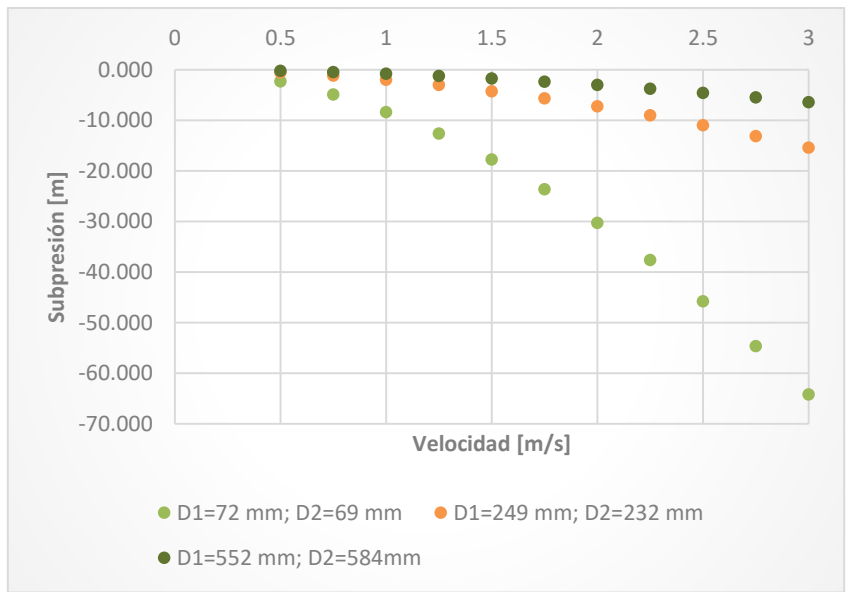
Acero-HDPE								
D1=72 mm; D2=66 mm			D1=249 mm; D2=220 mm			D1=552 mm; D2=555 mm		
C _{HW}	140	-	C _{HW}	140	-	C _{HW}	140	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	5	m	L	5	m	L	5	m
v	DP	Dt	v	DP	Dt	v	DP	Dt
0,5	-0,285	85,726	0,5	-0,544	352,420	0,5	-0,227	1031,286
0,75	-4,828	60,713	0,75	-1,154	249,392	0,75	-0,482	730,027
1	-8,229	47,536	1	-1,969	195,243	1	-0,823	571,543
1,25	-12,442	39,314	1,25	-2,979	161,439	1,25	-1,247	472,747
1,5	-17,444	33,664	1,5	-4,178	138,211	1,5	-1,750	404,731
1,75	-23,211	29,527	1,75	-5,562	121,200	1,75	-2,332	354,918
2	-29,728	26,357	2	-7,126	108,163	2	-2,991	316,752
2,25	-36,979	23,844	2,25	-8,868	97,839	2,25	-3,724	286,508
2,5	-44,952	21,798	2,5	-10,783	89,439	2,5	-4,531	261,910
2,75	-53,637	20,101	2,75	-12,870	82,463	2,75	-5,411	241,482
3	-63,021	18,665	3	-15,126	76,558	3	-6,363	224,303

Acero-PVC								
D1=72 mm; D2=69 mm			D1=249 mm; D2=232 mm			D1=552 mm; D2=584mm		
C _{HW}	150	-	C _{HW}	150	-	C _{HW}	150	-

n 100 - v 1,5 m/s L 5 m			n 100 - v 1,5 m/s L 5 m			n 100 - v 1,5 m/s L 5 m		
v	DP	Dt	v	DP	Dt	v	DP	Dt
0,5	-2,318	99,313	0,5	-0,556	420,840	0,5	-0,231	1240,184
0,75	-4,916	70,474	0,75	-1,179	297,835	0,75	-0,491	878,226
1	-8,379	55,283	1	-2,011	233,365	1	-0,838	687,577
1,25	-12,671	45,762	1,25	-3,043	192,961	1,25	-1,270	568,936
1,5	-17,765	39,221	1,5	-4,269	165,277	1,5	-1,782	487,081
1,75	-23,641	34,430	1,75	-5,682	144,935	1,75	-2,375	427,132
2	-30,282	30,760	2	-7,281	129,410	2	-3,045	381,200
2,25	-37,671	27,851	2,25	-9,060	117,054	2,25	-3,792	344,803
2,5	-45,793	25,460	2,5	-11,017	107,004	2,5	-4,613	315,200
2,75	-54,645	23,498	2,75	-13,149	98,658	2,75	-5,509	290,616
3	-64,206	21,819	3	-15,455	91,652	3	-6,478	269,851

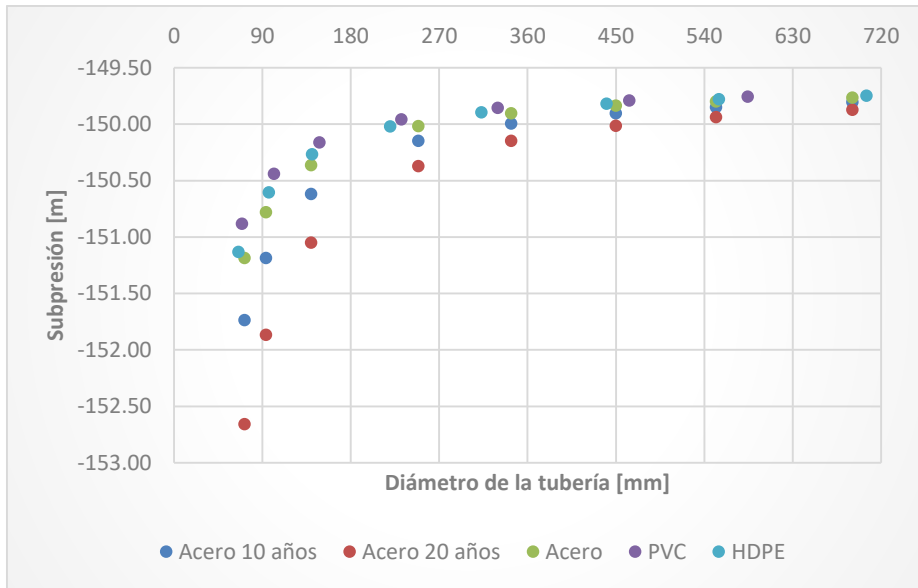




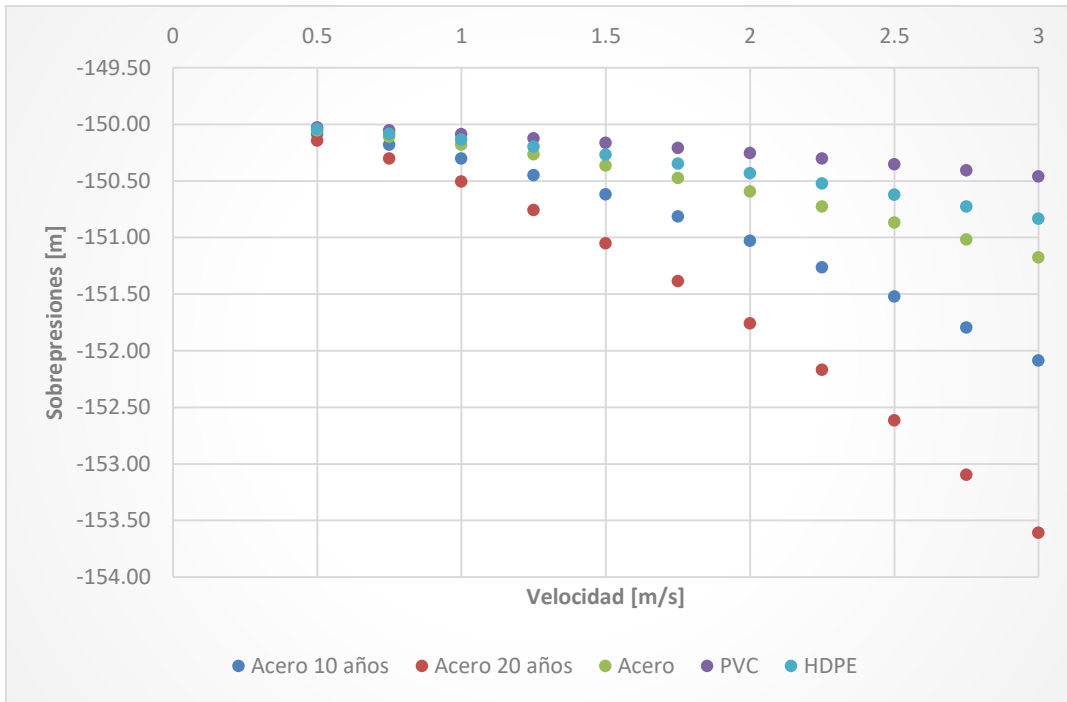


9.3.3 Subpresiones de la bomba sumergida

Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110	-	C _{HW}	90	-	C _{HW}	130	-
n	100	-	n	100	-	n	100	-
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s	v	1,5	m/s
L	500	m	L	500	m	L	500	m
Dn	DP	Dt	Dn	DP	Dt	Dn	DP	Dt
72	-151,74	0,0742	72	-152,66	0,0749	72	-151,19	0,0753
94	-151,19	0,0748	94	-151,87	0,0753	94	-150,78	0,0756
140	-150,62	0,0754	140	-151,05	0,0757	140	-150,37	0,0759
249	-150,15	0,0759	249	-150,37	0,0761	249	-150,02	0,0762
343,6	-150,00	0,0761	343,6	-150,15	0,0762	343,6	-149,91	0,0763
450	-149,90	0,0762	450	-150,02	0,0763	450	-149,84	0,0763
552	-149,85	0,0762	552	-149,94	0,0763	552	-149,80	0,0763
691	-149,81	0,0763	691	-149,87	0,0763	691	-149,77	0,0764
PVC			HDPE					
C _{HW}	150	-	C _{HW}	140	-			
n	100	-	n	100	-			
v	1,5	m/s	v	1,5	m/s			
L	500	m	L	500	m			
Dn	DP	Dt	Dn	DP	Dt			
69,4	-150,88	0,0755	66	-151,13	0,0753			
102	-150,44	0,0759	96,8	-150,60	0,0757			
148,4	-150,16	0,0761	141	-150,27	0,0760			
231,8	-149,96	0,0762	220,4	-150,02	0,0762			
329,8	-149,86	0,0763	313,4	-149,90	0,0763			
463,8	-149,79	0,0763	440,6	-149,82	0,0763			
584,4	-149,76	0,0764	555,2	-149,78	0,0764			
			705,2	-149,75	0,0764			



Acero 10 años			Acero 20 años			Acero		
C _{HW}	110 -		C _{HW}	90 -		C _{HW}	130 -	
D _N	140 mm		D _N	140 mm		D _N	140 mm	
n	100 -		n	100 -		n	100 -	
L	500 m		L	500 m		L	500 m	
v	DP	Dt	v	DP	Dt	v	DP	Dt
0,5	-150,09	0,025	0,5	-150,15	0,025	0,5	-150,05	0,025
0,75	-150,18	0,038	0,75	-150,30	0,038	0,75	-150,11	0,038
1	-150,30	0,051	1	-150,51	0,051	1	-150,18	0,051
1,25	-150,45	0,063	1,25	-150,76	0,063	1,25	-150,27	0,063
1,5	-150,62	0,076	1,5	-151,05	0,075	1,5	-150,37	0,076
1,75	-150,81	0,088	1,75	-151,39	0,088	1,75	-150,47	0,088
2	-151,03	0,100	2	-151,76	0,100	2	-150,60	0,101
2,25	-151,27	0,112	2,25	-152,17	0,111	2,25	-150,73	0,113
2,5	-151,52	0,124	2,5	-152,62	0,123	2,5	-150,87	0,125
2,75	-151,79	0,136	2,75	-153,10	0,134	2,75	-151,02	0,137
3	-152,09	0,148	3	-153,61	0,146	3	-151,18	0,149
PVC			HDPE					
C _{HW}	150 -		C _{HW}	140 -				
D _N	148,4 mm		D _N	141 mm				
n	100 -		n	100 -				
L	500 m		L	500 m				
v	DP	Dt	v	DP	Dt			
0,5	-150,03	0,025	0,5	-150,04	0,025			
0,75	-150,05	0,038	0,75	-150,08	0,038			
1	-150,09	0,051	1	-150,14	0,051			
1,25	-150,12	0,063	1,25	-150,20	0,063			
1,5	-150,16	0,076	1,5	-150,27	0,076			
1,75	-150,21	0,089	1,75	-150,35	0,088			
2	-150,26	0,101	2	-150,43	0,101			
2,25	-150,30	0,113	2,25	-150,52	0,113			
2,5	-150,35	0,126	2,5	-150,62	0,125			
2,75	-150,41	0,138	2,75	-150,73	0,138			
3	-150,46	0,150	3	-150,84	0,150			



9.4 Resultados Subpresión Allievi

TUBERÍA ACERO								
v	DN=76 mm	DN=102 mm	DN=152 mm	DN=261 mm	DN=356 mm	DN=470 mm	DN=572 mm	DN=711 mm
	ΔH							
m/s	m							
0,5	62,59	65,60	65,65	61,39	58,30	60,66	58,68	56,26
0,6	75,11	78,72	78,78	73,67	69,96	72,79	70,41	67,51
0,7	87,63	91,85	91,91	85,95	81,62	84,93	82,15	78,76
0,8	100,14	104,97	105,04	98,22	93,28	97,06	93,88	90,02
0,9	112,66	118,09	118,16	110,50	104,93	109,19	105,62	101,27
1	125,18	131,21	131,29	122,78	116,59	121,32	117,35	112,52
1,1	137,70	144,33	144,42	135,06	128,25	133,45	129,09	123,77
1,2	150,22	157,45	157,55	147,34	139,91	145,59	140,82	135,02
1,3	162,73	170,57	170,68	159,61	151,57	157,72	152,56	146,28
1,4	175,25	183,69	183,81	171,89	163,23	169,85	164,29	157,53
1,5	187,77	196,81	196,94	184,17	174,89	181,98	176,03	168,78
1,6	200,29	209,93	210,07	196,45	186,55	194,11	187,76	180,03
1,7	212,81	223,05	223,20	208,73	198,21	206,25	199,50	191,28
1,8	225,33	236,17	236,33	221,00	209,87	218,38	211,23	202,54
1,9	237,84	249,30	249,46	233,28	221,53	230,51	222,97	213,79
2	250,36	262,42	262,59	245,56	233,19	242,64	234,70	225,04
2,1	262,88	275,54	275,72	257,84	244,85	254,78	246,44	236,29
2,2	275,40	288,66	288,85	270,11	256,51	266,91	258,17	247,54
2,3	287,92	301,78	301,98	282,39	268,17	279,04	269,91	258,80
2,4	300,43	314,90	315,11	294,67	279,83	291,17	281,64	270,05
2,5	312,95	328,02	328,24	306,95	291,48	303,30	293,38	281,30
2,6	325,47	341,14	341,37	319,23	303,14	315,44	305,11	292,55
2,7	337,99	354,26	354,49	331,50	314,80	327,57	316,85	303,80
2,8	350,51	367,38	367,62	343,78	326,46	339,70	328,58	315,06
2,9	363,02	380,50	380,75	356,06	338,12	351,83	340,32	326,31
3	375,54	393,62	393,88	368,34	349,78	363,96	352,06	337,56

TUBERÍA HDPE								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
	ΔH							
m/s	m							
0,5	12,00	12,00	11,94	11,93	11,95	11,95	11,94	11,93
0,6	14,41	14,41	14,33	14,31	14,34	14,34	14,33	14,32
0,7	16,81	16,81	16,72	16,70	16,73	16,72	16,72	16,70

0,8	19,21	19,21	19,11	19,08	19,12	19,11	19,11	19,09
0,9	21,61	21,61	21,50	21,47	21,51	21,50	21,50	21,48
1	24,01	24,01	23,89	23,85	23,90	23,89	23,89	23,86
1,1	26,41	26,41	26,28	26,24	26,29	26,28	26,27	26,25
1,2	28,81	28,81	28,66	28,62	28,68	28,67	28,66	28,64
1,3	31,21	31,21	31,05	31,01	31,07	31,06	31,05	31,02
1,4	33,61	33,61	33,44	33,39	33,46	33,45	33,44	33,41
1,5	36,01	36,01	35,83	35,78	35,85	35,84	35,83	35,79
1,6	38,42	38,42	38,22	38,16	38,24	38,23	38,22	38,18
1,7	40,82	40,82	40,61	40,55	40,63	40,62	40,61	40,57
1,8	43,22	43,22	43,00	42,94	43,02	43,01	42,99	42,95
1,9	45,62	45,62	45,39	45,32	45,41	45,40	45,38	45,34
2	48,02	48,02	47,77	47,71	47,80	47,78	47,77	47,73
2,1	50,42	50,42	50,16	50,09	50,19	50,17	50,16	50,11
2,2	52,82	52,82	52,55	52,48	52,58	52,56	52,55	52,50
2,3	55,22	55,22	54,94	54,86	54,97	54,95	54,94	54,88
2,4	57,62	57,62	57,33	57,25	57,36	57,34	57,32	57,27
2,5	60,02	60,02	59,72	59,63	59,75	59,73	59,71	59,66
2,6	62,42	62,42	62,11	62,02	62,14	62,12	62,10	62,04
2,7	64,83	64,83	64,50	64,40	64,53	64,51	64,49	64,43
2,8	67,23	67,23	66,88	66,79	66,92	66,90	66,88	66,82
2,9	69,63	69,63	69,27	69,17	69,31	69,29	69,27	69,20
3	72,03	72,03	71,66	71,56	71,70	71,68	71,66	71,59

TUBERÍA PVC							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630
	ΔH						
m/s	m						
0,5	16,61	16,41	16,38	16,42	16,40	16,37	16,37
0,6	19,94	19,69	19,66	19,70	19,68	19,65	19,65
0,7	23,26	22,97	22,94	22,98	22,96	22,92	22,92
0,8	26,58	26,25	26,21	26,27	26,24	26,20	26,19
0,9	29,91	29,53	29,49	29,55	29,53	29,47	29,47
1	33,23	32,82	32,77	32,83	32,81	32,75	32,74
1,1	36,55	36,10	36,04	36,12	36,09	36,02	36,02
1,2	39,87	39,38	39,32	39,40	39,37	39,30	39,29
1,3	43,20	42,66	42,60	42,68	42,65	42,57	42,56
1,4	46,52	45,94	45,87	45,97	45,93	45,84	45,84
1,5	49,84	49,22	49,15	49,25	49,21	49,12	49,11
1,6	53,17	52,51	52,43	52,53	52,49	52,39	52,39
1,7	56,49	55,79	55,71	55,81	55,77	55,67	55,66
1,8	59,81	59,07	58,98	59,10	59,05	58,94	58,94
1,9	63,14	62,35	62,26	62,38	62,33	62,22	62,21
2	66,46	65,63	65,54	65,66	65,61	65,49	65,48

2,1	69,78	68,91	68,81	68,95	68,89	68,77	68,76
2,2	73,10	72,20	72,09	72,23	72,17	72,04	72,03
2,3	76,43	75,48	75,37	75,51	75,45	75,32	75,31
2,4	79,75	78,76	78,64	78,80	78,73	78,59	78,58
2,5	83,07	82,04	81,92	82,08	82,01	81,87	81,86
2,6	86,40	85,32	85,20	85,36	85,29	85,14	85,13
2,7	89,72	88,60	88,47	88,65	88,58	88,42	88,40
2,8	93,04	91,89	91,75	91,93	91,86	91,69	91,68
2,9	96,36	95,17	95,03	95,21	95,14	94,96	94,95
3	99,69	98,45	98,30	98,50	98,42	98,24	98,23

9.5 Velocidad de Propagación y Subpresiones

9.5.1 Datos

ACERO ATSM A-36			HDPE-PN10-SDR 17			PVC-C-10/S-10		
D nominal mm	e mm	Dint mm	D nominal mm	e mm	Dint mm	D nominal mm	e mm	Dint mm
76	2	72	75	4,5	66	75	2,8	69,4
102	4	94	110	6,6	96,8	110	4	102
152	6	140	160	9,5	141	160	5,8	148,4
261	6	249	250	14,8	220,4	250	9,1	231,8
355,6	6	343,6	355	21,1	312,8	355	12,9	329,2
470	10	450	500	29,7	440,6	500	18,1	463,8
572	10	552	630	37,4	555,2	630	22,8	584,4
711	10	691	800	47,4	705,2			

Propiedades ACERO		Propiedades HDPE		Propiedades PVC	
E	210000 N/mm ² 2,1E+11	E	950 Mpa 1E+09	E	3000 N/m ² 3E+09
	1440,14				
p	1000 kg/m ³	p	1000 kg/m ³	p	1000 kg/m ³
k	2,1E+09 N/m ²	k	2E+09 N/m ²	k	2E+09 N/m ²

DN mm	e mm	a m/s	DN mm	e mm	a m/s	DN mm	e mm	a m/s
76	2	1228	75	4,5	235,532	75	2,8	325,978
102	4	1287,2	110	6,6	235,532	110	4	321,931
152	6	1288	160	9,5	234,335	160	5,8	321,453
261	6	1204,5	250	14,8	233,998	250	9,1	322,084
355,6	6	1143,8	355	21,1	234,453	355	12,9	321,823
470	10	1190,2	500	29,7	234,383	500	18,1	321,242
572	10	1151,2	630	37,4	234,316	630	22,8	321,202
711	10	1103,8	800	47,4	234,095			

9.5.2 Velocidad de Propagación

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN ACERO-HDPE Y ACERO-PVC, LARGO 0,1 [km]

ACERO ATSM A-36			HDPE-PN10-SDR 17			PVC-C-10/S-10		
DN	e	a	DN	e	a	DN	e	a

mm	mm	m/s	mm	mm	m/s	mm	mm	m/s
76	2	1228,02	75	4,5	235,53	75	2,8	325,98
102	4	1287,15	110	6,6	235,53	110	4	321,93
152	6	1288,00	160	9,5	234,33	160	5,8	321,45
261	6	1204,47	250	14,8	234,00	250	9,1	322,08
355,6	6	1143,79	355	21,1	234,45	355	12,9	321,82
470	10	1190,16	500	29,7	234,38	500	18,1	321,24
572	10	1151,22	630	37,4	234,32	630	22,8	321,20
711	10	1103,82	800	47,4	234,09			

ACERO		HDPE		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	66	235,53	237,45	239,40	245,45	256,24	268,02	280,94
94	1287,15	96,8	235,53	237,47	239,44	245,56	256,49	268,43	281,54
140	1288,00	141	234,33	236,27	238,23	244,33	255,21	267,11	280,17
249	1204,47	220,4	234,00	235,90	237,83	243,82	254,50	266,17	278,95
343,6	1143,79	312,8	234,45	236,33	238,24	244,16	254,70	266,20	278,78
450	1190,16	440,6	234,38	236,28	238,21	244,19	254,85	266,48	279,23
552	1151,22	555,2	234,32	236,20	238,11	244,03	254,59	266,11	278,71
691	1103,82	705,2	234,09	235,95	237,84	243,70	254,12	265,47	277,88

ACERO		PVC		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	69,4	325,98	328,39	330,84	338,41	351,82	366,34	382,11
94	1287,15	102	321,93	324,36	326,83	334,47	348,03	362,73	378,73
140	1288,00	148,4	321,45	323,88	326,35	333,98	347,53	362,23	378,22
249	1204,47	231,8	322,08	324,46	326,87	334,33	347,54	361,85	377,38
343,6	1143,79	329,2	321,82	324,15	326,52	333,82	346,74	360,71	375,84
450	1190,16	463,8	321,24	323,60	326,00	333,41	346,54	360,75	376,17
552	1151,22	584,4	321,20	323,53	325,90	333,21	346,16	360,15	375,32

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN ACERO-HDPE Y ACERO-PVC, LARGO 0,5 [km]

ACERO ATSM A-36			HDPE-PN10-SDR 17			PVC-C-10/S-10		
DN	e	a	DN	e	a	DN	e	a
mm	mm	m/s	mm	mm	m/s	mm	mm	m/s
76	2	1228,02	75	4,5	235,53	75	2,8	325,98
102	4	1287,15	110	6,6	235,53	110	4	321,93
152	6	1288,00	160	9,5	234,33	160	5,8	321,45
261	6	1204,47	250	14,8	234,00	250	9,1	322,08
355,6	6	1143,79	355	21,1	234,45	355	12,9	321,82
470	10	1190,16	500	29,7	234,38	500	18,1	321,24
572	10	1151,22	630	37,4	234,32	630	22,8	321,20
711	10	1103,82	800	47,4	234,09			

ACERO		HDPE		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	66	235,53	235,91	236,30	237,45	239,40	241,38	243,40
94	1287,15	96,8	235,53	235,92	236,30	237,47	239,44	241,45	243,49
140	1288,00	141	234,33	234,72	235,10	236,27	238,23	240,23	242,26
249	1204,47	220,4	234,00	234,38	234,75	235,90	237,83	239,79	241,79
343,6	1143,79	312,8	234,45	234,83	235,20	236,33	238,24	240,18	242,15
450	1190,16	440,6	234,38	234,76	235,14	236,28	238,21	240,17	242,16
552	1151,22	555,2	234,32	234,69	235,06	236,20	238,11	240,05	242,03
691	1103,82	705,2	234,09	234,46	234,83	235,95	237,84	239,76	241,71

ACERO		PVC		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	69,4	325,98	326,46	326,94	328,39	330,84	333,32	335,85
94	1287,15	102	321,93	322,41	322,90	324,36	326,83	329,34	331,89
140	1288,00	148,4	321,45	321,94	322,42	323,88	326,35	328,86	331,40
249	1204,47	231,8	322,08	322,56	323,03	324,46	326,87	329,32	331,81
343,6	1143,79	329,2	321,82	322,29	322,75	324,15	326,52	328,91	331,35
450	1190,16	463,8	321,24	321,71	322,18	323,60	326,00	328,44	330,91
552	1151,22	584,4	321,20	321,67	322,13	323,53	325,90	328,30	330,74

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN ACERO-HDPE Y ACERO-PVC, LARGO 1,0 [km]

ACERO ATSM A-36			HDPE-PN10-SDR 17			PVC-C-10/S-10		
DN	e	a	DN	e	a	DN	e	a
mm	mm	m/s	mm	mm	m/s	mm	mm	m/s
76	2	1228,02	75	4,5	235,53	75	2,8	325,98
102	4	1287,15	110	6,6	235,53	110	4	321,93
152	6	1288,00	160	9,5	234,33	160	5,8	321,45
261	6	1204,47	250	14,8	234,00	250	9,1	322,08
355,6	6	1143,79	355	21,1	234,45	355	12,9	321,82
470	10	1190,16	500	29,7	234,38	500	18,1	321,24
572	10	1151,22	630	37,4	234,32	630	22,8	321,20
711	10	1103,82	800	47,4	234,09			

ACERO		HDPE		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	66	235,53	235,72	235,91	236,49	237,45	238,42	239,40
94	1287,15	96,8	235,53	235,72	235,92	236,50	237,47	238,45	239,44
140	1288,00	141	234,33	234,53	234,72	235,30	236,27	237,25	238,23
249	1204,47	220,4	234,00	234,19	234,38	234,94	235,90	236,86	237,83
343,6	1143,79	312,8	234,45	234,64	234,83	235,39	236,33	237,28	238,24
450	1190,16	440,6	234,38	234,57	234,76	235,33	236,28	237,24	238,21
552	1151,22	555,2	234,32	234,50	234,69	235,25	236,20	237,15	238,11
691	1103,82	705,2	234,09	234,28	234,46	235,02	235,95	236,89	237,84

ACERO		PVC		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	69,4	325,98	326,22	326,46	327,18	328,39	329,61	330,84
94	1287,15	102	321,93	322,17	322,41	323,14	324,36	325,59	326,83
140	1288,00	148,4	321,45	321,69	321,94	322,66	323,88	325,11	326,35
249	1204,47	231,8	322,08	322,32	322,56	323,27	324,46	325,66	326,87
343,6	1143,79	329,2	321,82	322,05	322,29	322,98	324,15	325,33	326,52
450	1190,16	463,8	321,24	321,48	321,71	322,42	323,60	324,80	326,00

552	1151,22	584,4	321,20	321,43	321,67	322,36	323,53	324,71	325,90
-----	---------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN ACERO-HDPE Y ACERO-PVC, LARGO 2,5 [km]

ACERO ATSM A-36			HDPE-PN10-SDR 17			PVC-C-10/S-10		
DN	e	a	DN	e	a	DN	e	a
mm	mm	m/s	mm	mm	m/s	mm	mm	m/s
76	2	1228,023	75	4,5	235,5321	75	2,8	325,978
102	4	1287,151	110	6,6	235,5321	110	4	321,931
152	6	1287,998	160	9,5	234,3348	160	5,8	321,4527
261	6	1204,467	250	14,8	233,9983	250	9,1	322,0838
355,6	6	1143,786	355	21,1	234,4531	355	12,9	321,8232
470	10	1190,165	500	29,7	234,3828	500	18,1	321,2419
572	10	1151,221	630	37,4	234,3157	630	22,8	321,2018
711	10	1103,823	800	47,4	234,0945			

ACERO		HDPE		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	66	235,53	235,61	235,68	235,91	236,30	236,68	237,06
94	1287,15	96,8	235,53	235,61	235,69	235,92	236,30	236,69	237,08
140	1288,00	141	234,33	234,41	234,49	234,72	235,10	235,49	235,88
249	1204,47	220,4	234,00	234,07	234,15	234,38	234,75	235,14	235,52
343,6	1143,79	312,8	234,45	234,53	234,60	234,83	235,20	235,58	235,95
450	1190,16	440,6	234,38	234,46	234,53	234,76	235,14	235,52	235,90
552	1151,22	555,2	234,32	234,39	234,47	234,69	235,06	235,44	235,82
691	1103,82	705,2	234,09	234,17	234,24	234,46	234,83	235,21	235,58

ACERO		PVC		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	69,4	325,98	326,07	326,17	326,46	326,94	327,42	327,90
94	1287,15	102	321,93	322,03	322,12	322,41	322,90	323,39	323,87

140	1288,00	148,4	321,45	321,55	321,65	321,94	322,42	322,91	323,39
249	1204,47	231,8	322,08	322,18	322,27	322,56	323,03	323,51	323,98
343,6	1143,79	329,2	321,82	321,92	322,01	322,29	322,75	323,22	323,68
450	1190,16	463,8	321,24	321,34	321,43	321,71	322,18	322,66	323,13
552	1151,22	584,4	321,20	321,29	321,39	321,67	322,13	322,60	323,07

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN ACERO-HDPE Y ACERO-PVC, LARGO 5,0 [km]

ACERO ATSM A-36			HDPE-PN10-SDR 17			PVC-C-10/S-10		
DN	e	a	DN	e	a	DN	e	a
mm	mm	m/s	mm	mm	m/s	mm	mm	m/s
76	2	1228,023	75	4,5	235,5321	75	2,8	325,978
102	4	1287,151	110	6,6	235,5321	110	4	321,931
152	6	1287,998	160	9,5	234,3348	160	5,8	321,4527
261	6	1204,467	250	14,8	233,9983	250	9,1	322,0838
355,6	6	1143,786	355	21,1	234,4531	355	12,9	321,8232
470	10	1190,165	500	29,7	234,3828	500	18,1	321,2419
572	10	1151,221	630	37,4	234,3157	630	22,8	321,2018
711	10	1103,823	800	47,4	234,0945			

ACERO		HDPE		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					
mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	66	235,53	235,57	235,61	235,72	235,91	236,10	236,30
94	1287,15	96,8	235,53	235,57	235,61	235,72	235,92	236,11	236,30
140	1288,00	141	234,33	234,37	234,41	234,53	234,72	234,91	235,10
249	1204,47	220,4	234,00	234,04	234,07	234,19	234,38	234,57	234,75
343,6	1143,79	312,8	234,45	234,49	234,53	234,64	234,83	235,01	235,20
450	1190,16	440,6	234,38	234,42	234,46	234,57	234,76	234,95	235,14
552	1151,22	555,2	234,32	234,35	234,39	234,50	234,69	234,88	235,06
691	1103,82	705,2	234,09	234,13	234,17	234,28	234,46	234,65	234,83

ACERO		PVC		1	2	5	10	15	20
D int	a_acero	D int	a_hdpe	a_promedio					

mm	m/s	mm	m/s	m/s					
72	1228,02	69,4	325,98	326,03	326,07	326,22	326,46	326,70	326,94
94	1287,15	102	321,93	321,98	322,03	322,17	322,41	322,66	322,90
140	1288,00	148,4	321,45	321,50	321,55	321,69	321,94	322,18	322,42
249	1204,47	231,8	322,08	322,13	322,18	322,32	322,56	322,79	323,03
343,6	1143,79	329,2	321,82	321,87	321,92	322,05	322,29	322,52	322,75
450	1190,16	463,8	321,24	321,29	321,34	321,48	321,71	321,95	322,18
552	1151,22	584,4	321,20	321,25	321,29	321,43	321,67	321,90	322,13

9.5.3 Subpresiones

TUBERÍA ACERO-HDPE L= 1 [m], L=0,5 [km]								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
ΔH								
m/s	m							
0,5	12,02	12,02	11,96	11,95	11,97	11,97	11,96	11,95
0,6	14,43	14,43	14,36	14,33	14,36	14,36	14,35	14,34
0,7	16,83	16,83	16,75	16,72	16,76	16,75	16,75	16,73
0,8	19,24	19,24	19,14	19,11	19,15	19,14	19,14	19,12
0,9	21,64	21,64	21,53	21,50	21,54	21,54	21,53	21,51
1	24,05	24,05	23,93	23,89	23,94	23,93	23,92	23,90
1,1	26,45	26,45	26,32	26,28	26,33	26,32	26,32	26,29
1,2	28,86	28,86	28,71	28,67	28,72	28,72	28,71	28,68
1,3	31,26	31,26	31,10	31,06	31,12	31,11	31,10	31,07
1,4	33,67	33,67	33,50	33,45	33,51	33,50	33,49	33,46
1,5	36,07	36,07	35,89	35,84	35,91	35,90	35,89	35,85
1,6	38,48	38,48	38,28	38,23	38,30	38,29	38,28	38,24
1,7	40,88	40,88	40,68	40,62	40,69	40,68	40,67	40,63
1,8	43,29	43,29	43,07	43,00	43,09	43,08	43,06	43,02
1,9	45,69	45,69	45,46	45,39	45,48	45,47	45,45	45,41
2	48,10	48,10	47,85	47,78	47,87	47,86	47,85	47,80
2,1	50,50	50,50	50,25	50,17	50,27	50,25	50,24	50,19
2,2	52,91	52,91	52,64	52,56	52,66	52,65	52,63	52,58
2,3	55,31	55,31	55,03	54,95	55,06	55,04	55,02	54,97
2,4	57,72	57,72	57,42	57,34	57,45	57,43	57,42	57,36
2,5	60,12	60,12	59,82	59,73	59,84	59,83	59,81	59,75
2,6	62,53	62,53	62,21	62,12	62,24	62,22	62,20	62,14
2,7	64,93	64,93	64,60	64,51	64,63	64,61	64,59	64,53
2,8	67,34	67,34	66,99	66,90	67,02	67,01	66,99	66,92
2,9	69,74	69,74	69,39	69,29	69,42	69,40	69,38	69,31
3	72,14	72,15	71,78	71,67	71,81	71,79	71,77	71,70

TUBERÍA ACERO-HDPE L= 5 [m], L=0,5 [km]								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
ΔH								
m/s	m							
0,5	12,10	12,10	12,04	12,02	12,05	12,04	12,04	12,03
0,6	14,52	14,52	14,45	14,43	14,45	14,45	14,45	14,43
0,7	16,94	16,95	16,86	16,83	16,86	16,86	16,85	16,84

0,8	19,36	19,37	19,27	19,24	19,27	19,27	19,26	19,24
0,9	21,78	21,79	21,68	21,64	21,68	21,68	21,67	21,65
1	24,21	24,21	24,08	24,05	24,09	24,09	24,08	24,05
1,1	26,63	26,63	26,49	26,45	26,50	26,49	26,48	26,46
1,2	29,05	29,05	28,90	28,86	28,91	28,90	28,89	28,86
1,3	31,47	31,47	31,31	31,26	31,32	31,31	31,30	31,27
1,4	33,89	33,89	33,72	33,67	33,73	33,72	33,71	33,67
1,5	36,31	36,31	36,13	36,07	36,14	36,13	36,12	36,08
1,6	38,73	38,73	38,53	38,47	38,55	38,54	38,52	38,48
1,7	41,15	41,15	40,94	40,88	40,95	40,95	40,93	40,89
1,8	43,57	43,57	43,35	43,28	43,36	43,35	43,34	43,29
1,9	45,99	45,99	45,76	45,69	45,77	45,76	45,75	45,70
2	48,41	48,41	48,17	48,09	48,18	48,17	48,15	48,10
2,1	50,83	50,84	50,58	50,50	50,59	50,58	50,56	50,51
2,2	53,25	53,26	52,99	52,90	53,00	52,99	52,97	52,92
2,3	55,67	55,68	55,39	55,31	55,41	55,40	55,38	55,32
2,4	58,09	58,10	57,80	57,71	57,82	57,81	57,79	57,73
2,5	60,51	60,52	60,21	60,12	60,23	60,21	60,19	60,13
2,6	62,93	62,94	62,62	62,52	62,64	62,62	62,60	62,54
2,7	65,35	65,36	65,03	64,93	65,05	65,03	65,01	64,94
2,8	67,77	67,78	67,44	67,33	67,45	67,44	67,42	67,35
2,9	70,19	70,20	69,84	69,74	69,86	69,85	69,82	69,75
3	72,62	72,62	72,25	72,14	72,27	72,26	72,23	72,16

TUBERÍA ACERO-HDPE L= 20 [m], L=0,5 [km]								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
	ΔH							
m/s	m							
0,5	12,41	12,41	12,35	12,32	12,34	12,34	12,34	12,32
0,6	14,89	14,89	14,82	14,79	14,81	14,81	14,80	14,78
0,7	17,37	17,37	17,29	17,25	17,28	17,28	17,27	17,25
0,8	19,85	19,86	19,76	19,72	19,75	19,75	19,74	19,71
0,9	22,33	22,34	22,23	22,18	22,22	22,22	22,20	22,18
1	24,81	24,82	24,70	24,65	24,68	24,69	24,67	24,64
1,1	27,29	27,30	27,16	27,11	27,15	27,15	27,14	27,10
1,2	29,77	29,78	29,63	29,58	29,62	29,62	29,61	29,57
1,3	32,25	32,27	32,10	32,04	32,09	32,09	32,07	32,03
1,4	34,74	34,75	34,57	34,51	34,56	34,56	34,54	34,50
1,5	37,22	37,23	37,04	36,97	37,03	37,03	37,01	36,96
1,6	39,70	39,71	39,51	39,44	39,50	39,50	39,47	39,42
1,7	42,18	42,19	41,98	41,90	41,96	41,96	41,94	41,89
1,8	44,66	44,68	44,45	44,37	44,43	44,43	44,41	44,35
1,9	47,14	47,16	46,92	46,83	46,90	46,90	46,88	46,81

2	49,62	49,64	49,39	49,29	49,37	49,37	49,34	49,28
2,1	52,10	52,12	51,86	51,76	51,84	51,84	51,81	51,74
2,2	54,59	54,61	54,33	54,22	54,31	54,31	54,28	54,21
2,3	57,07	57,09	56,80	56,69	56,77	56,78	56,74	56,67
2,4	59,55	59,57	59,27	59,15	59,24	59,24	59,21	59,13
2,5	62,03	62,05	61,74	61,62	61,71	61,71	61,68	61,60
2,6	64,51	64,53	64,21	64,08	64,18	64,18	64,15	64,06
2,7	66,99	67,02	66,68	66,55	66,65	66,65	66,61	66,53
2,8	69,47	69,50	69,15	69,01	69,12	69,12	69,08	68,99
2,9	71,95	71,98	71,62	71,48	71,58	71,59	71,55	71,45
3	74,43	74,46	74,09	73,94	74,05	74,06	74,01	73,92

TUBERÍA ACERO-HDPE L= 1 [m], L=5,0 [km]								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
	ΔH							
m/s	m							
0,5	12,01	12,01	11,95	11,93	11,95	11,95	11,94	11,93
0,6	14,41	14,41	14,33	14,31	14,34	14,34	14,33	14,32
0,7	16,81	16,81	16,72	16,70	16,73	16,73	16,72	16,71
0,8	19,21	19,21	19,11	19,09	19,12	19,12	19,11	19,09
0,9	21,61	21,61	21,50	21,47	21,51	21,51	21,50	21,48
1	24,01	24,01	23,89	23,86	23,90	23,90	23,89	23,87
1,1	26,41	26,41	26,28	26,24	26,29	26,29	26,28	26,25
1,2	28,82	28,82	28,67	28,63	28,68	28,68	28,67	28,64
1,3	31,22	31,22	31,06	31,01	31,07	31,06	31,06	31,03
1,4	33,62	33,62	33,45	33,40	33,46	33,45	33,44	33,41
1,5	36,02	36,02	35,84	35,79	35,85	35,84	35,83	35,80
1,6	38,42	38,42	38,23	38,17	38,25	38,23	38,22	38,19
1,7	40,82	40,82	40,62	40,56	40,64	40,62	40,61	40,57
1,8	43,22	43,22	43,00	42,94	43,03	43,01	43,00	42,96
1,9	45,63	45,63	45,39	45,33	45,42	45,40	45,39	45,35
2	48,03	48,03	47,78	47,71	47,81	47,79	47,78	47,73
2,1	50,43	50,43	50,17	50,10	50,20	50,18	50,17	50,12
2,2	52,83	52,83	52,56	52,49	52,59	52,57	52,56	52,51
2,3	55,23	55,23	54,95	54,87	54,98	54,96	54,95	54,89
2,4	57,63	57,63	57,34	57,26	57,37	57,35	57,33	57,28
2,5	60,03	60,03	59,73	59,64	59,76	59,74	59,72	59,67
2,6	62,43	62,43	62,12	62,03	62,15	62,13	62,11	62,05
2,7	64,84	64,84	64,51	64,41	64,54	64,52	64,50	64,44
2,8	67,24	67,24	66,90	66,80	66,93	66,91	66,89	66,83
2,9	69,64	69,64	69,28	69,18	69,32	69,30	69,28	69,21
3	72,04	72,04	71,67	71,57	71,71	71,69	71,67	71,60

TUBERÍA ACERO-HDPE L= 5 [m], L=5,0 [km]								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
	ΔH							
m/s	m							
0,5	12,01	12,01	11,95	11,94	11,96	11,96	11,95	11,94
0,6	14,42	14,42	14,34	14,32	14,35	14,35	14,34	14,33
0,7	16,82	16,82	16,73	16,71	16,74	16,74	16,73	16,72
0,8	19,22	19,22	19,13	19,10	19,13	19,13	19,12	19,11
0,9	21,63	21,63	21,52	21,49	21,53	21,52	21,51	21,49
1	24,03	24,03	23,91	23,87	23,92	23,91	23,90	23,88
1,1	26,43	26,43	26,30	26,26	26,31	26,30	26,29	26,27
1,2	28,83	28,83	28,69	28,65	28,70	28,69	28,69	28,66
1,3	31,24	31,24	31,08	31,03	31,09	31,08	31,08	31,05
1,4	33,64	33,64	33,47	33,42	33,49	33,48	33,47	33,43
1,5	36,04	36,04	35,86	35,81	35,88	35,87	35,86	35,82
1,6	38,45	38,45	38,25	38,20	38,27	38,26	38,25	38,21
1,7	40,85	40,85	40,64	40,58	40,66	40,65	40,64	40,60
1,8	43,25	43,25	43,03	42,97	43,05	43,04	43,03	42,99
1,9	45,65	45,66	45,42	45,36	45,44	45,43	45,42	45,38
2	48,06	48,06	47,81	47,74	47,84	47,82	47,81	47,76
2,1	50,46	50,46	50,20	50,13	50,23	50,21	50,20	50,15
2,2	52,86	52,86	52,60	52,52	52,62	52,61	52,59	52,54
2,3	55,27	55,27	54,99	54,91	55,01	55,00	54,98	54,93
2,4	57,67	57,67	57,38	57,29	57,40	57,39	57,37	57,32
2,5	60,07	60,07	59,77	59,68	59,80	59,78	59,76	59,70
2,6	62,47	62,48	62,16	62,07	62,19	62,17	62,15	62,09
2,7	64,88	64,88	64,55	64,46	64,58	64,56	64,54	64,48
2,8	67,28	67,28	66,94	66,84	66,97	66,95	66,93	66,87
2,9	69,68	69,68	69,33	69,23	69,36	69,34	69,32	69,26
3	72,09	72,09	71,72	71,62	71,76	71,73	71,71	71,64

TUBERÍA ACERO-HDPE L= 20 [m], L=0,5 [km]								
v	DN=75 mm	DN=110 mm	DN=160 mm	DN=250 mm	DN=355 mm	DN=500 mm	DN=630 mm	DN=800 mm
	ΔH							
m/s	m							
0,5	12,04	12,04	11,98	11,97	11,99	11,98	11,98	11,97
0,6	14,45	14,45	14,38	14,36	14,39	14,38	14,38	14,36
0,7	16,86	16,86	16,78	16,75	16,78	16,78	16,77	16,76
0,8	19,27	19,27	19,17	19,14	19,18	19,18	19,17	19,15
0,9	21,68	21,68	21,57	21,54	21,58	21,57	21,57	21,54

1	24,09	24,09	23,97	23,93	23,98	23,97	23,96	23,94
1,1	26,50	26,50	26,36	26,32	26,37	26,37	26,36	26,33
1,2	28,90	28,91	28,76	28,72	28,77	28,76	28,75	28,73
1,3	31,31	31,31	31,16	31,11	31,17	31,16	31,15	31,12
1,4	33,72	33,72	33,55	33,50	33,57	33,56	33,55	33,51
1,5	36,13	36,13	35,95	35,90	35,96	35,95	35,94	35,91
1,6	38,54	38,54	38,35	38,29	38,36	38,35	38,34	38,30
1,7	40,95	40,95	40,74	40,68	40,76	40,75	40,73	40,70
1,8	43,36	43,36	43,14	43,07	43,16	43,14	43,13	43,09
1,9	45,77	45,77	45,53	45,47	45,55	45,54	45,53	45,48
2	48,17	48,18	47,93	47,86	47,95	47,94	47,92	47,88
2,1	50,58	50,59	50,33	50,25	50,35	50,34	50,32	50,27
2,2	52,99	52,99	52,72	52,65	52,75	52,73	52,72	52,66
2,3	55,40	55,40	55,12	55,04	55,14	55,13	55,11	55,06
2,4	57,81	57,81	57,52	57,43	57,54	57,53	57,51	57,45
2,5	60,22	60,22	59,91	59,83	59,94	59,92	59,90	59,85
2,6	62,63	62,63	62,31	62,22	62,34	62,32	62,30	62,24
2,7	65,04	65,04	64,71	64,61	64,73	64,72	64,70	64,63
2,8	67,44	67,45	67,10	67,00	67,13	67,11	67,09	67,03
2,9	69,85	69,86	69,50	69,40	69,53	69,51	69,49	69,42
3	72,26	72,26	71,90	71,79	71,93	71,91	71,89	71,81

TUBERÍA ACERO-PVC L= 1 [m], L=0,5 [km]							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630
m/s	ΔH						
	m						
0,5	16,64	16,43	16,41	16,44	16,43	16,40	16,39
0,6	19,97	19,72	19,69	19,73	19,71	19,68	19,67
0,7	23,29	23,01	22,97	23,02	23,00	22,96	22,95
0,8	26,62	26,29	26,25	26,30	26,28	26,24	26,23
0,9	29,95	29,58	29,54	29,59	29,57	29,51	29,51
1	33,28	32,87	32,82	32,88	32,85	32,79	32,79
1,1	36,61	36,15	36,10	36,17	36,14	36,07	36,07
1,2	39,93	39,44	39,38	39,46	39,42	39,35	39,35
1,3	43,26	42,73	42,66	42,74	42,71	42,63	42,63
1,4	46,59	46,01	45,94	46,03	45,99	45,91	45,91
1,5	49,92	49,30	49,23	49,32	49,28	49,19	49,18
1,6	53,24	52,59	52,51	52,61	52,56	52,47	52,46
1,7	56,57	55,87	55,79	55,90	55,85	55,75	55,74
1,8	59,90	59,16	59,07	59,18	59,14	59,03	59,02
1,9	63,23	62,45	62,35	62,47	62,42	62,31	62,30
2	66,56	65,73	65,63	65,76	65,71	65,59	65,58
2,1	69,88	69,02	68,92	69,05	68,99	68,87	68,86
2,2	73,21	72,30	72,20	72,34	72,28	72,15	72,14

2,3	76,54	75,59	75,48	75,62	75,56	75,43	75,42
2,4	79,87	78,88	78,76	78,91	78,85	78,71	78,69
2,5	83,20	82,16	82,04	82,20	82,13	81,99	81,97
2,6	86,52	85,45	85,32	85,49	85,42	85,27	85,25
2,7	89,85	88,74	88,61	88,78	88,70	88,54	88,53
2,8	93,18	92,02	91,89	92,07	91,99	91,82	91,81
2,9	96,51	95,31	95,17	95,35	95,27	95,10	95,09
3	99,83	98,60	98,45	98,64	98,56	98,38	98,37

TUBERÍA ACERO-PVC L= 5 [m], L=0,5 [km]							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630
	ΔH						
m/s	m						
0,5	16,74	16,53	16,51	16,54	16,52	16,49	16,49
0,6	20,09	19,84	19,81	19,84	19,83	19,79	19,79
0,7	23,43	23,15	23,11	23,15	23,13	23,09	23,09
0,8	26,78	26,45	26,41	26,46	26,43	26,39	26,38
0,9	30,13	29,76	29,71	29,77	29,74	29,69	29,68
1	33,48	33,06	33,02	33,07	33,04	32,99	32,98
1,1	36,82	36,37	36,32	36,38	36,35	36,29	36,28
1,2	40,17	39,68	39,62	39,69	39,65	39,58	39,58
1,3	43,52	42,98	42,92	43,00	42,96	42,88	42,87
1,4	46,87	46,29	46,22	46,30	46,26	46,18	46,17
1,5	50,21	49,60	49,52	49,61	49,56	49,48	49,47
1,6	53,56	52,90	52,82	52,92	52,87	52,78	52,77
1,7	56,91	56,21	56,13	56,23	56,17	56,08	56,07
1,8	60,26	59,52	59,43	59,53	59,48	59,38	59,36
1,9	63,60	62,82	62,73	62,84	62,78	62,68	62,66
2	66,95	66,13	66,03	66,15	66,09	65,97	65,96
2,1	70,30	69,44	69,33	69,46	69,39	69,27	69,26
2,2	73,65	72,74	72,63	72,76	72,69	72,57	72,56
2,3	76,99	76,05	75,94	76,07	76,00	75,87	75,85
2,4	80,34	79,35	79,24	79,38	79,30	79,17	79,15
2,5	83,69	82,66	82,54	82,69	82,61	82,47	82,45
2,6	87,04	85,97	85,84	85,99	85,91	85,77	85,75
2,7	90,38	89,27	89,14	89,30	89,22	89,07	89,05
2,8	93,73	92,58	92,44	92,61	92,52	92,36	92,34
2,9	97,08	95,89	95,75	95,92	95,82	95,66	95,64
3	100,43	99,19	99,05	99,22	99,13	98,96	98,94

TUBERÍA ACERO-PVC L= 20 [m], L=0,5 [km]							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630

	ΔH						
m/s	m						
0,5	17,12	16,92	16,89	16,91	16,89	16,87	16,86
0,6	20,54	20,30	20,27	20,29	20,27	20,24	20,23
0,7	23,96	23,68	23,65	23,68	23,64	23,61	23,60
0,8	27,39	27,07	27,03	27,06	27,02	26,99	26,97
0,9	30,81	30,45	30,40	30,44	30,40	30,36	30,34
1	34,24	33,83	33,78	33,82	33,78	33,73	33,71
1,1	37,66	37,21	37,16	37,21	37,15	37,10	37,09
1,2	41,08	40,60	40,54	40,59	40,53	40,48	40,46
1,3	44,51	43,98	43,92	43,97	43,91	43,85	43,83
1,4	47,93	47,36	47,29	47,35	47,29	47,22	47,20
1,5	51,35	50,75	50,67	50,74	50,66	50,60	50,57
1,6	54,78	54,13	54,05	54,12	54,04	53,97	53,94
1,7	58,20	57,51	57,43	57,50	57,42	57,34	57,31
1,8	61,62	60,90	60,81	60,88	60,80	60,72	60,69
1,9	65,05	64,28	64,19	64,26	64,18	64,09	64,06
2	68,47	67,66	67,56	67,65	67,55	67,46	67,43
2,1	71,89	71,05	70,94	71,03	70,93	70,84	70,80
2,2	75,32	74,43	74,32	74,41	74,31	74,21	74,17
2,3	78,74	77,81	77,70	77,79	77,69	77,58	77,54
2,4	82,16	81,20	81,08	81,18	81,06	80,96	80,92
2,5	85,59	84,58	84,45	84,56	84,44	84,33	84,29
2,6	89,01	87,96	87,83	87,94	87,82	87,70	87,66
2,7	92,43	91,34	91,21	91,32	91,20	91,07	91,03
2,8	95,86	94,73	94,59	94,71	94,57	94,45	94,40
2,9	99,28	98,11	97,97	98,09	97,95	97,82	97,77
3	102,71	101,49	101,35	101,47	101,33	101,19	101,14

TUBERÍA ACERO-PVC L= 1 [m], L=5,0 [km]							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630
	ΔH						
m/s	m						
0,5	16,62	16,41	16,39	16,42	16,41	16,38	16,37
0,6	19,94	19,69	19,66	19,70	19,69	19,65	19,65
0,7	23,26	22,98	22,94	22,99	22,97	22,93	22,92
0,8	26,59	26,26	26,22	26,27	26,25	26,20	26,20
0,9	29,91	29,54	29,50	29,55	29,53	29,48	29,47
1	33,23	32,82	32,77	32,84	32,81	32,75	32,75
1,1	36,56	36,10	36,05	36,12	36,09	36,03	36,02
1,2	39,88	39,39	39,33	39,40	39,37	39,30	39,30
1,3	43,20	42,67	42,60	42,69	42,65	42,58	42,57
1,4	46,53	45,95	45,88	45,97	45,93	45,85	45,85
1,5	49,85	49,23	49,16	49,26	49,22	49,13	49,12

1,6	53,17	52,51	52,44	52,54	52,50	52,40	52,40
1,7	56,50	55,80	55,71	55,82	55,78	55,68	55,67
1,8	59,82	59,08	58,99	59,11	59,06	58,95	58,94
1,9	63,14	62,36	62,27	62,39	62,34	62,23	62,22
2	66,47	65,64	65,55	65,67	65,62	65,50	65,49
2,1	69,79	68,93	68,82	68,96	68,90	68,78	68,77
2,2	73,11	72,21	72,10	72,24	72,18	72,05	72,04
2,3	76,44	75,49	75,38	75,53	75,46	75,33	75,32
2,4	79,76	78,77	78,65	78,81	78,74	78,60	78,59
2,5	83,09	82,05	81,93	82,09	82,03	81,88	81,87
2,6	86,41	85,34	85,21	85,38	85,31	85,15	85,14
2,7	89,73	88,62	88,49	88,66	88,59	88,43	88,42
2,8	93,06	91,90	91,76	91,94	91,87	91,70	91,69
2,9	96,38	95,18	95,04	95,23	95,15	94,98	94,97
3	99,70	98,46	98,32	98,51	98,43	98,25	98,24

TUBERÍA ACERO-PVC L= 5 [m], L=0,5 [km]							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630
	ΔH						
m/s	m						
0,5	16,63	16,42	16,40	16,43	16,41	16,39	16,38
0,6	19,95	19,70	19,68	19,71	19,70	19,66	19,66
0,7	23,28	22,99	22,95	23,00	22,98	22,94	22,94
0,8	26,60	26,27	26,23	26,29	26,26	26,22	26,21
0,9	29,93	29,56	29,51	29,57	29,55	29,49	29,49
1	33,25	32,84	32,79	32,86	32,83	32,77	32,77
1,1	36,58	36,13	36,07	36,14	36,11	36,05	36,04
1,2	39,90	39,41	39,35	39,43	39,40	39,32	39,32
1,3	43,23	42,69	42,63	42,71	42,68	42,60	42,60
1,4	46,56	45,98	45,91	46,00	45,96	45,88	45,87
1,5	49,88	49,26	49,19	49,28	49,24	49,16	49,15
1,6	53,21	52,55	52,47	52,57	52,53	52,43	52,43
1,7	56,53	55,83	55,75	55,86	55,81	55,71	55,70
1,8	59,86	59,11	59,03	59,14	59,09	58,99	58,98
1,9	63,18	62,40	62,31	62,43	62,38	62,26	62,26
2	66,51	65,68	65,58	65,71	65,66	65,54	65,53
2,1	69,83	68,97	68,86	69,00	68,94	68,82	68,81
2,2	73,16	72,25	72,14	72,28	72,22	72,09	72,08
2,3	76,48	75,53	75,42	75,57	75,51	75,37	75,36
2,4	79,81	78,82	78,70	78,86	78,79	78,65	78,64
2,5	83,13	82,10	81,98	82,14	82,07	81,93	81,91
2,6	86,46	85,39	85,26	85,43	85,36	85,20	85,19
2,7	89,78	88,67	88,54	88,71	88,64	88,48	88,47
2,8	93,11	91,96	91,82	92,00	91,92	91,76	91,74

2,9	96,44	95,24	95,10	95,28	95,20	95,03	95,02
3	99,76	98,52	98,38	98,57	98,49	98,31	98,30

TUBERÍA ACERO-PVC L= 20 [m], L=0,5 [km]							
v	DN=75	DN=110	DN=160	DN=250	DN=355	DN=500	DN=630
	ΔH						
m/s	m						
0,5	16,66	16,46	16,43	16,46	16,45	16,42	16,42
0,6	20,00	19,75	19,72	19,76	19,74	19,71	19,70
0,7	23,33	23,04	23,01	23,05	23,03	22,99	22,99
0,8	26,66	26,33	26,29	26,34	26,32	26,27	26,27
0,9	29,99	29,62	29,58	29,64	29,61	29,56	29,55
1	33,33	32,92	32,87	32,93	32,90	32,84	32,84
1,1	36,66	36,21	36,15	36,22	36,19	36,13	36,12
1,2	39,99	39,50	39,44	39,51	39,48	39,41	39,40
1,3	43,33	42,79	42,73	42,81	42,77	42,69	42,69
1,4	46,66	46,08	46,01	46,10	46,06	45,98	45,97
1,5	49,99	49,37	49,30	49,39	49,35	49,26	49,26
1,6	53,32	52,66	52,59	52,69	52,64	52,55	52,54
1,7	56,66	55,96	55,87	55,98	55,93	55,83	55,82
1,8	59,99	59,25	59,16	59,27	59,22	59,12	59,11
1,9	63,32	62,54	62,45	62,56	62,51	62,40	62,39
2	66,65	65,83	65,73	65,86	65,80	65,68	65,67
2,1	69,99	69,12	69,02	69,15	69,09	68,97	68,96
2,2	73,32	72,41	72,31	72,44	72,38	72,25	72,24
2,3	76,65	75,71	75,59	75,74	75,67	75,54	75,53
2,4	79,98	79,00	78,88	79,03	78,96	78,82	78,81
2,5	83,32	82,29	82,17	82,32	82,25	82,11	82,09
2,6	86,65	85,58	85,45	85,61	85,54	85,39	85,38
2,7	89,98	88,87	88,74	88,91	88,83	88,67	88,66
2,8	93,32	92,16	92,03	92,20	92,12	91,96	91,94
2,9	96,65	95,45	95,31	95,49	95,41	95,24	95,23
3	99,98	98,75	98,60	98,79	98,70	98,53	98,51

9.6 Velocidad de Propagación y Subpresiones propuestas

9.6.1 Caso diferentes perfiles de velocidad del Acero-PVC D1=72 [mm] y D2=69,4 [mm]

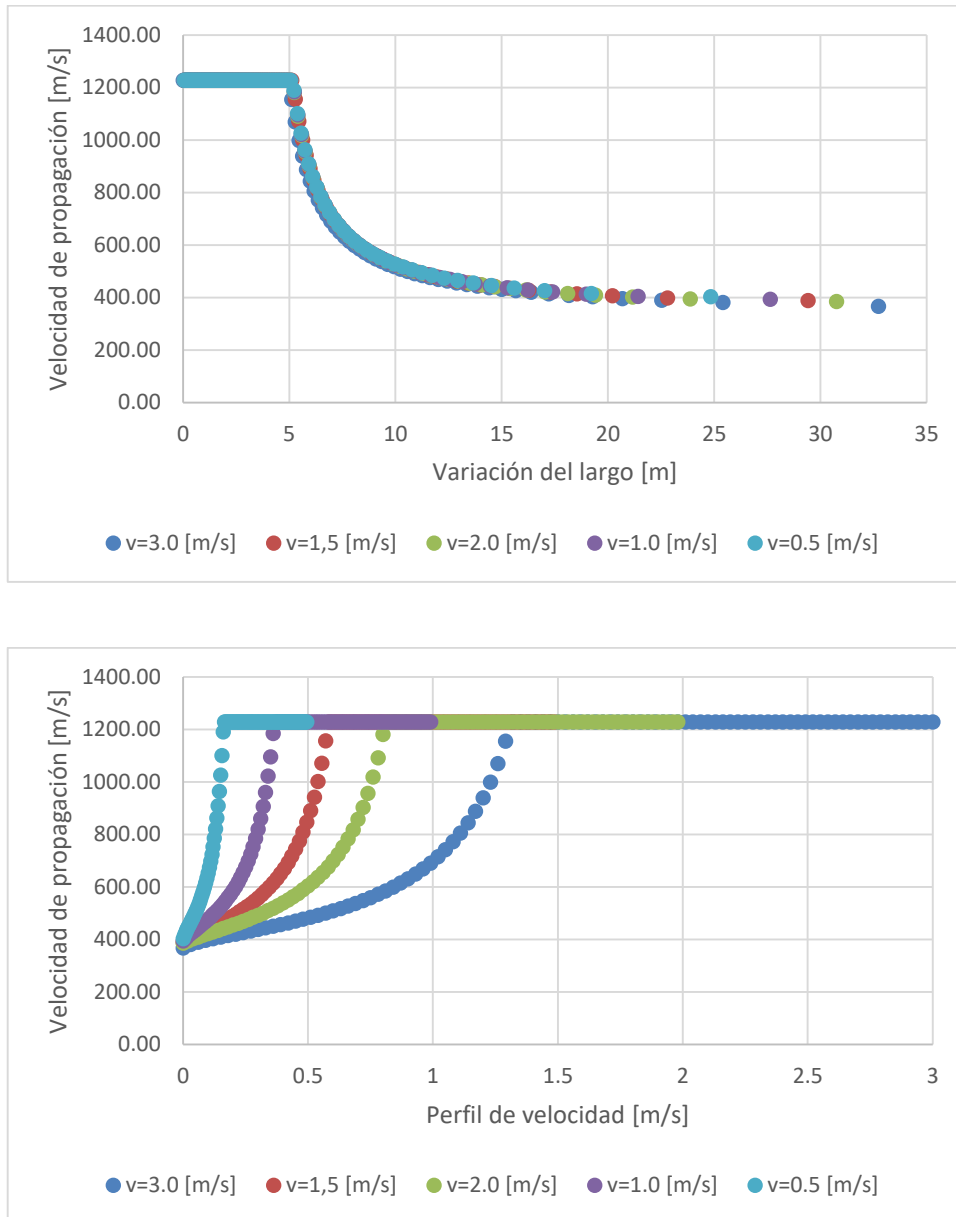


Gráfico 29: Velocidad de propagación Acero-PVC D1=72 [mm] y D2=69,4 [mm] en variación de largo y perfil de velocidad. Fuente: Elaboración Propia.

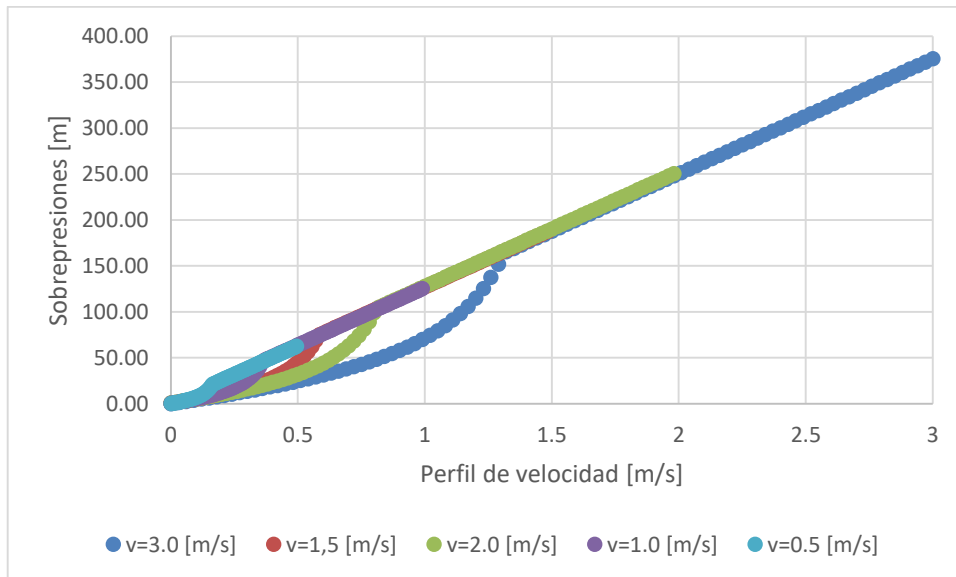
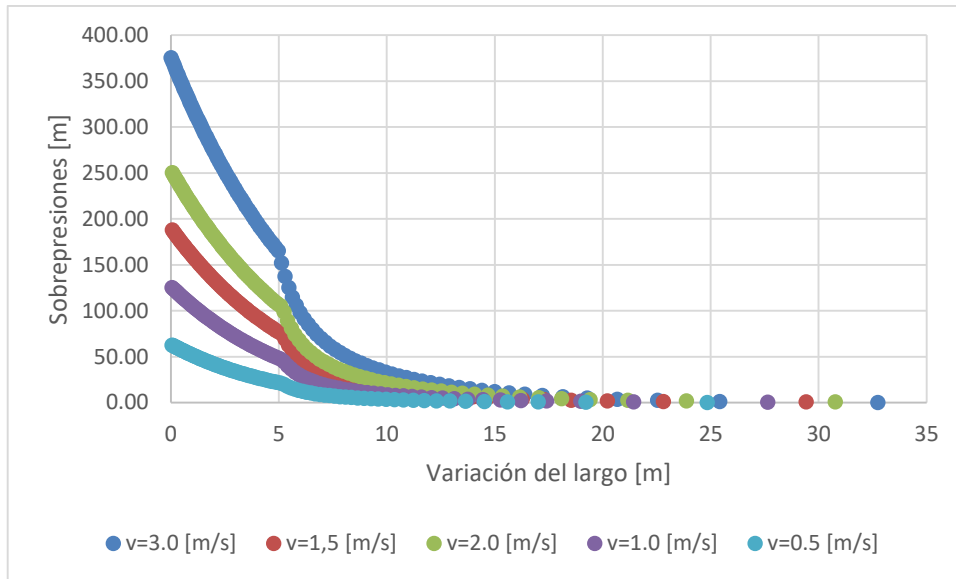


Gráfico 30: Subpresiones de Allievi con las velocidades de propagación propuesta Acero-PVC D1=72 [mm] y D2=69,4 [mm] en diferentes parámetros. Fuente: Elaboración Propia.

V=0,5 [m/s]		V=0,75 [m/s]		V=1,0 [m/s]	
a	328,39	a	328,39	a	328,39
DH	16,74	DH	25,11	DH	33,48
L	24,83	L	26,43	L	27,64
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1228,02	62,59	1228,02	93,89	1228,02	125,18
1228,02	61,96	1228,02	92,95	1228,02	123,93
1228,02	61,34	1228,02	92,01	1228,02	122,68

1228,02	60,71	1228,02	91,07	1228,02	121,43
1228,02	60,09	1228,02	90,13	1228,02	120,17
1228,02	59,46	1228,02	89,19	1228,02	118,92
1228,02	58,83	1228,02	88,25	1228,02	117,67
1228,02	58,21	1228,02	87,31	1228,02	116,42
1228,02	57,58	1228,02	86,37	1228,02	115,17
1228,02	56,96	1228,02	85,44	1228,02	113,91
1228,02	56,33	1228,02	84,50	1228,02	112,66
1228,02	55,71	1228,02	83,56	1228,02	111,41
1228,02	55,08	1228,02	82,62	1228,02	110,16
1228,02	54,45	1228,02	81,68	1228,02	108,91
1228,02	53,83	1228,02	80,74	1228,02	107,66
1228,02	53,20	1228,02	79,80	1228,02	106,40
1228,02	52,58	1228,02	78,86	1228,02	105,15
1228,02	51,95	1228,02	77,92	1228,02	103,90
1228,02	51,32	1228,02	76,99	1228,02	102,65
1228,02	50,70	1228,02	76,05	1228,02	101,40
1228,02	50,07	1228,02	75,11	1228,02	100,14
1228,02	49,45	1228,02	74,17	1228,02	98,89
1228,02	48,82	1228,02	73,23	1228,02	97,64
1228,02	48,19	1228,02	72,29	1228,02	96,39
1228,02	47,57	1228,02	71,35	1228,02	95,14
1228,02	46,94	1228,02	70,41	1228,02	93,89
1228,02	46,32	1228,02	69,48	1228,02	92,63
1228,02	45,69	1228,02	68,54	1228,02	91,38
1228,02	45,07	1228,02	67,60	1228,02	90,13
1228,02	44,44	1228,02	66,66	1228,02	88,88
1228,02	43,81	1228,02	65,72	1228,02	87,63
1228,02	43,19	1228,02	64,78	1228,02	86,37
1228,02	42,56	1228,02	63,84	1228,02	85,12
1228,02	41,94	1228,02	62,90	1228,02	83,87
1228,02	41,31	1228,02	61,96	1228,02	82,62
1228,02	40,68	1228,02	61,03	1228,02	81,37
1228,02	40,06	1228,02	60,09	1228,02	80,12
1228,02	39,43	1228,02	59,15	1228,02	78,86
1228,02	38,81	1228,02	58,21	1228,02	77,61
1228,02	38,18	1228,02	57,27	1228,02	76,36
1228,02	37,55	1228,02	56,33	1228,02	75,11
1228,02	36,93	1228,02	55,39	1228,02	73,86
1228,02	36,30	1228,02	54,45	1228,02	72,60
1228,02	35,68	1228,02	53,51	1228,02	71,35
1228,02	35,05	1228,02	52,58	1228,02	70,10
1228,02	34,42	1228,02	51,64	1228,02	68,85
1228,02	33,80	1228,02	50,70	1228,02	67,60
1228,02	33,17	1228,02	49,76	1228,02	66,35
1228,02	32,55	1228,02	48,82	1228,02	65,09
1228,02	31,92	1228,02	47,88	1228,02	63,84

1228,02	31,30	1228,02	46,94	1228,02	62,59
1228,02	30,67	1228,02	46,00	1228,02	61,34
1228,02	30,04	1228,02	45,07	1228,02	60,09
1228,02	29,42	1228,02	44,13	1228,02	58,83
1228,02	28,79	1228,02	43,19	1228,02	57,58
1228,02	28,17	1228,02	42,25	1228,02	56,33
1228,02	27,54	1228,02	41,31	1228,02	55,08
1228,02	26,91	1228,02	40,37	1228,02	53,83
1228,02	26,29	1228,02	39,43	1228,02	52,58
1228,02	25,66	1228,02	38,49	1228,02	51,32
1228,02	25,04	1228,02	37,55	1228,02	50,07
1228,02	24,41	1228,02	36,62	1228,02	48,82
1228,02	23,78	1228,02	35,68	1228,02	47,57
1228,02	23,16	1228,02	34,74	1184,42	44,67
1228,02	22,53	1228,02	33,80	1095,64	40,21
1228,02	21,91	1160,73	31,06	1021,94	36,46
1228,02	21,28	1076,12	27,97	959,75	33,26
1190,51	20,02	1005,51	25,37	906,56	30,50
1100,82	17,95	945,64	23,14	860,52	28,07
1026,22	16,21	894,23	21,19	820,27	25,92
963,16	14,73	849,58	19,49	784,76	24,00
909,14	13,44	810,42	17,97	753,18	22,27
862,31	12,31	775,78	16,61	724,91	20,69
821,30	11,30	744,89	15,38	699,43	19,25
785,07	10,40	717,17	14,26	676,33	17,93
752,82	9,59	692,13	13,23	655,29	16,70
723,89	8,85	669,39	12,28	636,02	15,56
697,78	8,18	648,63	11,41	618,30	14,50
674,08	7,56	629,58	10,59	601,93	13,50
652,44	6,98	612,02	9,83	586,75	12,56
632,60	6,45	595,78	9,11	572,62	11,67
614,31	5,95	580,68	8,43	559,42	10,83
597,37	5,48	566,60	7,80	547,05	10,04
581,63	5,04	553,42	7,19	535,41	9,28
566,94	4,62	541,03	6,62	524,42	8,55
553,17	4,23	529,34	6,07	514,02	7,86
540,21	3,85	518,29	5,55	504,14	7,19
527,96	3,50	507,78	5,05	494,71	6,56
516,34	3,16	497,76	4,57	485,69	5,94
505,27	2,83	488,16	4,11	477,02	5,35
494,67	2,52	478,93	3,66	468,65	4,78
484,46	2,22	470,00	3,23	460,52	4,22
474,57	1,94	461,31	2,82	452,60	3,69
464,93	1,66	452,80	2,42	444,82	3,17
455,44	1,39	444,39	2,04	437,10	2,67
445,99	1,14	435,98	1,67	429,36	2,19
436,43	0,89	427,43	1,31	421,46	1,72

426,50	0,65	418,51	0,96	413,21	1,26
415,76	0,42	408,82	0,63	404,21	0,82
403,03	0,21	397,28	0,30	393,45	0,40
382,57	0,00	378,59	0,00	375,93	0,00

V=1,25 [m/s]		V=1,5 [m/s]		V=1,75 [m/s]	
a	328,39	a	328,39	a	328,39
DH	41,84	DH	50,21	DH	58,58
L	28,60	L	29,42	L	30,13
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1228,02	156,48	1228,02	187,77	1228,02	219,07
1228,02	154,91	1228,02	185,89	1228,02	216,88
1228,02	153,35	1228,02	184,02	1228,02	214,68
1228,02	151,78	1228,02	182,14	1228,02	212,49
1228,02	150,22	1228,02	180,26	1228,02	210,30
1228,02	148,65	1228,02	178,38	1228,02	208,11
1228,02	147,09	1228,02	176,50	1228,02	205,92
1228,02	145,52	1228,02	174,63	1228,02	203,73
1228,02	143,96	1228,02	172,75	1228,02	201,54
1228,02	142,39	1228,02	170,87	1228,02	199,35
1228,02	140,83	1228,02	168,99	1228,02	197,16
1228,02	139,26	1228,02	167,12	1228,02	194,97
1228,02	137,70	1228,02	165,24	1228,02	192,78
1228,02	136,13	1228,02	163,36	1228,02	190,59
1228,02	134,57	1228,02	161,48	1228,02	188,40
1228,02	133,00	1228,02	159,61	1228,02	186,21
1228,02	131,44	1228,02	157,73	1228,02	184,02
1228,02	129,87	1228,02	155,85	1228,02	181,82
1228,02	128,31	1228,02	153,97	1228,02	179,63
1228,02	126,75	1228,02	152,09	1228,02	177,44
1228,02	125,18	1228,02	150,22	1228,02	175,25
1228,02	123,62	1228,02	148,34	1228,02	173,06
1228,02	122,05	1228,02	146,46	1228,02	170,87
1228,02	120,49	1228,02	144,58	1228,02	168,68
1228,02	118,92	1228,02	142,71	1228,02	166,49
1228,02	117,36	1228,02	140,83	1228,02	164,30
1228,02	115,79	1228,02	138,95	1228,02	162,11
1228,02	114,23	1228,02	137,07	1228,02	159,92
1228,02	112,66	1228,02	135,20	1228,02	157,73
1228,02	111,10	1228,02	133,32	1228,02	155,54
1228,02	109,53	1228,02	131,44	1228,02	153,35
1228,02	107,97	1228,02	129,56	1228,02	151,16

1228,02	106,40	1228,02	127,68	1228,02	148,97
1228,02	104,84	1228,02	125,81	1228,02	146,77
1228,02	103,27	1228,02	123,93	1228,02	144,58
1228,02	101,71	1228,02	122,05	1228,02	142,39
1228,02	100,14	1228,02	120,17	1228,02	140,20
1228,02	98,58	1228,02	118,30	1228,02	138,01
1228,02	97,02	1228,02	116,42	1228,02	135,82
1228,02	95,45	1228,02	114,54	1228,02	133,63
1228,02	93,89	1228,02	112,66	1228,02	131,44
1228,02	92,32	1228,02	110,78	1228,02	129,25
1228,02	90,76	1228,02	108,91	1228,02	127,06
1228,02	89,19	1228,02	107,03	1228,02	124,87
1228,02	87,63	1228,02	105,15	1228,02	122,68
1228,02	86,06	1228,02	103,27	1228,02	120,49
1228,02	84,50	1228,02	101,40	1228,02	118,30
1228,02	82,93	1228,02	99,52	1228,02	116,11
1228,02	81,37	1228,02	97,64	1228,02	113,91
1228,02	79,80	1228,02	95,76	1228,02	111,72
1228,02	78,24	1228,02	93,89	1228,02	109,53
1228,02	76,67	1228,02	92,01	1228,02	107,34
1228,02	75,11	1228,02	90,13	1228,02	105,15
1228,02	73,54	1228,02	88,25	1228,02	102,96
1228,02	71,98	1228,02	86,37	1228,02	100,77
1228,02	70,41	1228,02	84,50	1228,02	98,58
1228,02	68,85	1228,02	82,62	1228,02	96,39
1228,02	67,28	1228,02	80,74	1228,02	94,20
1228,02	65,72	1228,02	78,86	1228,02	92,01
1228,02	64,16	1228,02	76,99	1228,02	89,82
1228,02	62,59	1228,02	75,11	1163,52	83,02
1228,02	61,03	1155,83	68,93	1077,60	74,97
1160,75	56,20	1071,48	62,26	1006,28	68,21
1075,79	50,72	1001,28	56,65	946,09	62,45
1005,07	46,10	941,93	51,85	894,62	57,45
945,26	42,16	891,07	47,69	850,07	53,08
894,00	38,73	847,00	44,03	811,13	49,20
849,57	35,72	808,41	40,79	776,78	45,73
810,66	33,05	774,34	37,89	746,25	42,60
776,29	30,66	744,02	35,27	718,92	39,76
745,70	28,51	716,85	32,88	694,30	37,16
718,28	26,54	692,35	30,70	671,99	34,76
693,55	24,74	670,14	28,69	651,68	32,55
671,13	23,09	649,89	26,83	633,10	30,49
650,68	21,56	631,35	25,10	616,01	28,57
631,95	20,13	614,30	23,48	600,25	26,77
614,72	18,80	598,55	21,97	585,65	25,07
598,80	17,55	583,95	20,54	572,07	23,47
584,03	16,37	570,37	19,19	559,41	21,95

570,28	15,26	557,68	17,91	547,56	20,51
557,45	14,21	545,80	16,69	536,43	19,14
545,41	13,20	534,64	15,53	525,95	17,83
534,09	12,25	524,11	14,43	516,05	16,57
523,42	11,34	514,16	13,36	506,67	15,37
513,31	10,47	504,72	12,35	497,76	14,21
503,72	9,63	495,74	11,37	489,26	13,09
494,58	8,82	487,16	10,43	481,14	12,02
485,85	8,05	478,95	9,52	473,35	10,98
477,46	7,30	471,06	8,64	465,85	9,97
469,39	6,58	463,45	7,80	458,61	9,00
461,58	5,88	456,07	6,97	451,58	8,06
453,99	5,21	448,89	6,18	444,73	7,14
446,57	4,55	441,86	5,40	438,00	6,25
439,27	3,92	434,92	4,66	431,37	5,39
432,01	3,30	428,02	3,93	424,76	4,55
424,72	2,71	421,08	3,22	418,10	3,73
417,27	2,13	413,97	2,53	411,27	2,93
409,47	1,57	406,52	1,86	404,10	2,16
400,93	1,02	398,35	1,22	396,23	1,41
390,71	0,50	388,55	0,59	386,77	0,69
374,00	0,00	372,49	0,00	371,24	0,00

V=2,0 [m/s]		V=2,25 [m/s]		V=2,5 [m/s]	
a	328,39	a	328,39	a	328,39
DH	66,95	DH	75,32	DH	83,69
L	30,76	L	31,33	L	31,83
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1228,02	250,36	1228,02	281,66	1228,02	312,95
1228,02	247,86	1228,02	278,84	1228,02	309,82
1228,02	245,35	1228,02	276,02	1228,02	306,69
1228,02	242,85	1228,02	273,21	1228,02	303,56
1228,02	240,35	1228,02	270,39	1228,02	300,43
1228,02	237,84	1228,02	267,57	1228,02	297,30
1228,02	235,34	1228,02	264,76	1228,02	294,17
1228,02	232,84	1228,02	261,94	1228,02	291,05
1228,02	230,33	1228,02	259,12	1228,02	287,92
1228,02	227,83	1228,02	256,31	1228,02	284,79
1228,02	225,33	1228,02	253,49	1228,02	281,66
1228,02	222,82	1228,02	250,67	1228,02	278,53
1228,02	220,32	1228,02	247,86	1228,02	275,40
1228,02	217,81	1228,02	245,04	1228,02	272,27
1228,02	215,31	1228,02	242,22	1228,02	269,14

1228,02	212,81	1228,02	239,41	1228,02	266,01
1228,02	210,30	1228,02	236,59	1228,02	262,88
1228,02	207,80	1228,02	233,77	1228,02	259,75
1228,02	205,30	1228,02	230,96	1228,02	256,62
1228,02	202,79	1228,02	228,14	1228,02	253,49
1228,02	200,29	1228,02	225,33	1228,02	250,36
1228,02	197,79	1228,02	222,51	1228,02	247,23
1228,02	195,28	1228,02	219,69	1228,02	244,10
1228,02	192,78	1228,02	216,88	1228,02	240,97
1228,02	190,27	1228,02	214,06	1228,02	237,84
1228,02	187,77	1228,02	211,24	1228,02	234,71
1228,02	185,27	1228,02	208,43	1228,02	231,58
1228,02	182,76	1228,02	205,61	1228,02	228,45
1228,02	180,26	1228,02	202,79	1228,02	225,33
1228,02	177,76	1228,02	199,98	1228,02	222,20
1228,02	175,25	1228,02	197,16	1228,02	219,07
1228,02	172,75	1228,02	194,34	1228,02	215,94
1228,02	170,25	1228,02	191,53	1228,02	212,81
1228,02	167,74	1228,02	188,71	1228,02	209,68
1228,02	165,24	1228,02	185,89	1228,02	206,55
1228,02	162,73	1228,02	183,08	1228,02	203,42
1228,02	160,23	1228,02	180,26	1228,02	200,29
1228,02	157,73	1228,02	177,44	1228,02	197,16
1228,02	155,22	1228,02	174,63	1228,02	194,03
1228,02	152,72	1228,02	171,81	1228,02	190,90
1228,02	150,22	1228,02	168,99	1228,02	187,77
1228,02	147,71	1228,02	166,18	1228,02	184,64
1228,02	145,21	1228,02	163,36	1228,02	181,51
1228,02	142,71	1228,02	160,54	1228,02	178,38
1228,02	140,20	1228,02	157,73	1228,02	175,25
1228,02	137,70	1228,02	154,91	1228,02	172,12
1228,02	135,20	1228,02	152,09	1228,02	168,99
1228,02	132,69	1228,02	149,28	1228,02	165,86
1228,02	130,19	1228,02	146,46	1228,02	162,73
1228,02	127,68	1228,02	143,64	1228,02	159,61
1228,02	125,18	1228,02	140,83	1228,02	156,48
1228,02	122,68	1228,02	138,01	1228,02	153,35
1228,02	120,17	1228,02	135,20	1228,02	150,22
1228,02	117,67	1228,02	132,38	1228,02	147,09
1228,02	115,17	1228,02	129,56	1228,02	143,96
1228,02	112,66	1228,02	126,75	1228,02	140,83
1228,02	110,16	1228,02	123,93	1228,02	137,70
1228,02	107,66	1228,02	121,11	1228,02	134,57
1228,02	105,15	1207,08	116,28	1158,62	124,01
1181,01	98,72	1112,91	104,65	1072,84	112,10
1091,78	89,03	1035,49	95,00	1001,75	102,12
1018,01	80,94	970,69	86,83	941,87	93,61

955,98	74,06	915,65	79,80	890,72	86,26
903,08	68,12	868,30	73,69	846,51	79,82
857,41	62,93	827,12	68,29	807,91	74,12
817,58	58,34	790,97	63,50	773,89	69,03
782,52	54,24	758,97	59,19	743,68	64,44
751,41	50,55	730,42	55,28	716,66	60,27
723,61	47,21	704,80	51,73	692,35	56,46
698,59	44,15	681,65	48,47	670,34	52,96
675,97	41,34	660,64	45,46	650,31	49,72
655,39	38,75	641,46	42,67	631,99	46,71
636,58	36,34	623,88	40,07	615,18	43,90
619,31	34,09	607,69	37,63	599,67	41,26
603,40	31,98	592,74	35,35	585,33	38,78
588,67	30,00	578,86	33,19	572,00	36,44
574,99	28,13	565,95	31,15	559,58	34,22
562,24	26,36	553,89	29,22	547,96	32,12
550,32	24,68	542,60	27,38	537,07	30,11
539,15	23,08	531,98	25,62	526,83	28,19
528,63	21,55	521,98	23,94	517,17	26,36
518,71	20,09	512,53	22,34	508,03	24,60
509,32	18,69	503,57	20,79	499,36	22,91
500,41	17,34	495,06	19,30	491,12	21,28
491,94	16,05	486,95	17,87	483,26	19,70
483,84	14,80	479,20	16,49	475,74	18,19
476,10	13,59	471,77	15,15	468,53	16,72
468,65	12,42	464,62	13,85	461,58	15,29
461,48	11,29	457,73	12,60	454,88	13,91
454,54	10,19	451,05	11,38	448,38	12,57
447,80	9,13	444,55	10,20	442,06	11,27
441,22	8,10	438,20	9,05	435,88	10,00
434,76	7,09	431,97	7,93	429,80	8,76
428,37	6,11	425,79	6,84	423,79	7,56
422,01	5,16	419,63	5,77	417,78	6,39
415,58	4,24	413,41	4,74	411,70	5,25
408,99	3,34	407,02	3,73	405,46	4,13
402,06	2,46	400,30	2,75	398,89	3,05
394,44	1,61	392,90	1,80	391,65	2,00
385,27	0,79	383,98	0,88	382,92	0,98
370,18	0,00	369,26	0,00	368,50	0,00

V=2,75 [m/s]		V=3,0 [m/s]	
a	329,27	a	329,27
DH	92,30	DH	100,70
L	135,66	L	137,48

a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1228,02	344,25	1228,02	375,54
1228,02	340,80	1228,02	371,79
1228,02	337,36	1228,02	368,03
1228,02	333,92	1228,02	364,28
1228,02	330,48	1228,02	360,52
1228,02	327,03	1228,02	356,77
1228,02	323,59	1228,02	353,01
1228,02	320,15	1228,02	349,25
1228,02	316,71	1228,02	345,50
1228,02	313,26	1228,02	341,74
1228,02	309,82	1228,02	337,99
1228,02	306,38	1228,02	334,23
1228,02	302,94	1228,02	330,48
1228,02	299,49	1228,02	326,72
1228,02	296,05	1228,02	322,97
1228,02	292,61	1228,02	319,21
1228,02	289,17	1228,02	315,46
1228,02	285,72	1212,31	307,71
1072,55	246,54	1015,69	254,70
928,28	210,78	889,40	220,31
829,88	186,11	801,42	196,07
758,46	167,97	736,61	177,96
704,27	153,99	686,88	163,84
661,73	142,84	647,52	152,47
627,46	133,68	615,58	143,07
599,25	125,99	589,14	135,12
575,62	119,41	566,90	128,29
555,54	113,68	547,92	122,32
538,27	108,64	531,54	117,04
523,24	104,14	517,25	112,31
510,06	100,09	504,68	108,04
498,40	96,40	493,54	104,14
488,00	93,02	483,59	100,56
478,68	89,91	474,64	97,25
470,28	87,01	466,57	94,17
462,65	84,30	459,23	91,28
455,71	81,76	452,54	88,57
449,36	79,36	446,41	86,01
443,52	77,09	440,78	83,57
438,15	74,92	435,58	81,26
433,17	72,86	430,77	79,04
428,56	70,88	426,30	76,92
424,27	68,98	422,14	74,88
420,27	67,15	418,26	72,91
416,53	65,39	414,63	71,01

413,02	63,68	411,22	69,17
409,72	62,02	408,02	67,38
406,62	60,41	405,00	65,64
403,70	58,85	402,16	63,95
400,93	57,32	399,47	62,30
398,32	55,83	396,92	60,69
395,84	54,37	394,50	59,12
393,48	52,95	392,21	57,57
391,24	51,55	390,02	56,06
389,11	50,18	387,94	54,57
387,08	48,83	385,96	53,11
385,14	47,50	384,06	51,68
383,28	46,20	382,25	50,27
381,50	44,92	380,51	48,87
379,80	43,65	378,85	47,50
378,16	42,40	377,25	46,15
376,59	41,17	375,71	44,81
375,08	39,96	374,24	43,49
373,63	38,75	372,81	42,18
372,23	37,56	371,44	40,89
370,87	36,39	370,12	39,61
369,57	35,22	368,84	38,35
368,30	34,07	367,60	37,10
367,08	32,93	366,40	35,86
365,90	31,80	365,24	34,63
364,75	30,67	364,12	33,41
363,64	29,56	363,03	32,20
362,56	28,46	361,97	30,99
361,50	27,36	360,94	29,80
360,48	26,27	359,93	28,62
359,48	25,19	358,95	27,44
358,51	24,12	358,00	26,27
357,56	23,05	357,06	25,11
356,63	21,99	356,15	23,96
355,72	20,94	355,26	22,81
354,83	19,89	354,38	21,67
353,95	18,85	353,52	20,54
353,09	17,82	352,68	19,41
352,24	16,79	351,84	18,29
351,41	15,76	351,02	17,18
350,58	14,74	350,21	16,06
349,76	13,73	349,41	14,96
348,95	12,72	348,61	13,86
348,15	11,71	347,82	12,76
347,34	10,71	347,02	11,67
346,53	9,71	346,23	10,59
345,72	8,72	345,43	9,51

344,90	7,73	344,62	8,43
344,06	6,75	343,80	7,36
343,20	5,77	342,95	6,29
342,30	4,80	342,07	5,23
341,35	3,83	341,13	4,17
340,32	2,86	340,12	3,12
339,14	1,90	338,96	2,07
337,66	0,95	337,49	1,03
335,05	0,00	334,93	0,00

9.6.2 Caso diferentes perfiles de velocidad del Acero-PVC D1=249 [mm] y D2=232 [mm]

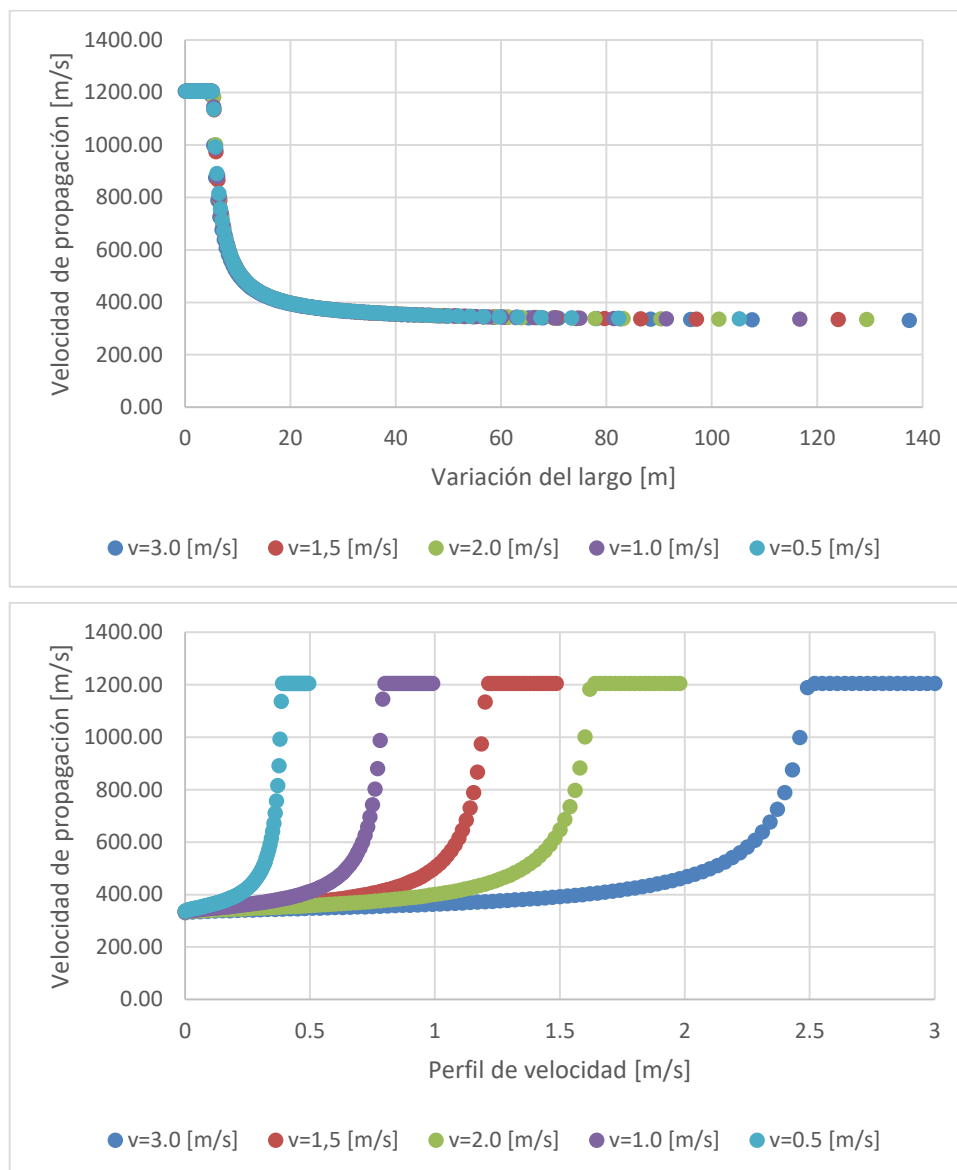


Gráfico 31: Velocidad de propagación Acero-PVC D1=249 [mm] y D2=232 [mm] en variación de largo y perfil de velocidad. Fuente: Elaboración Propia.

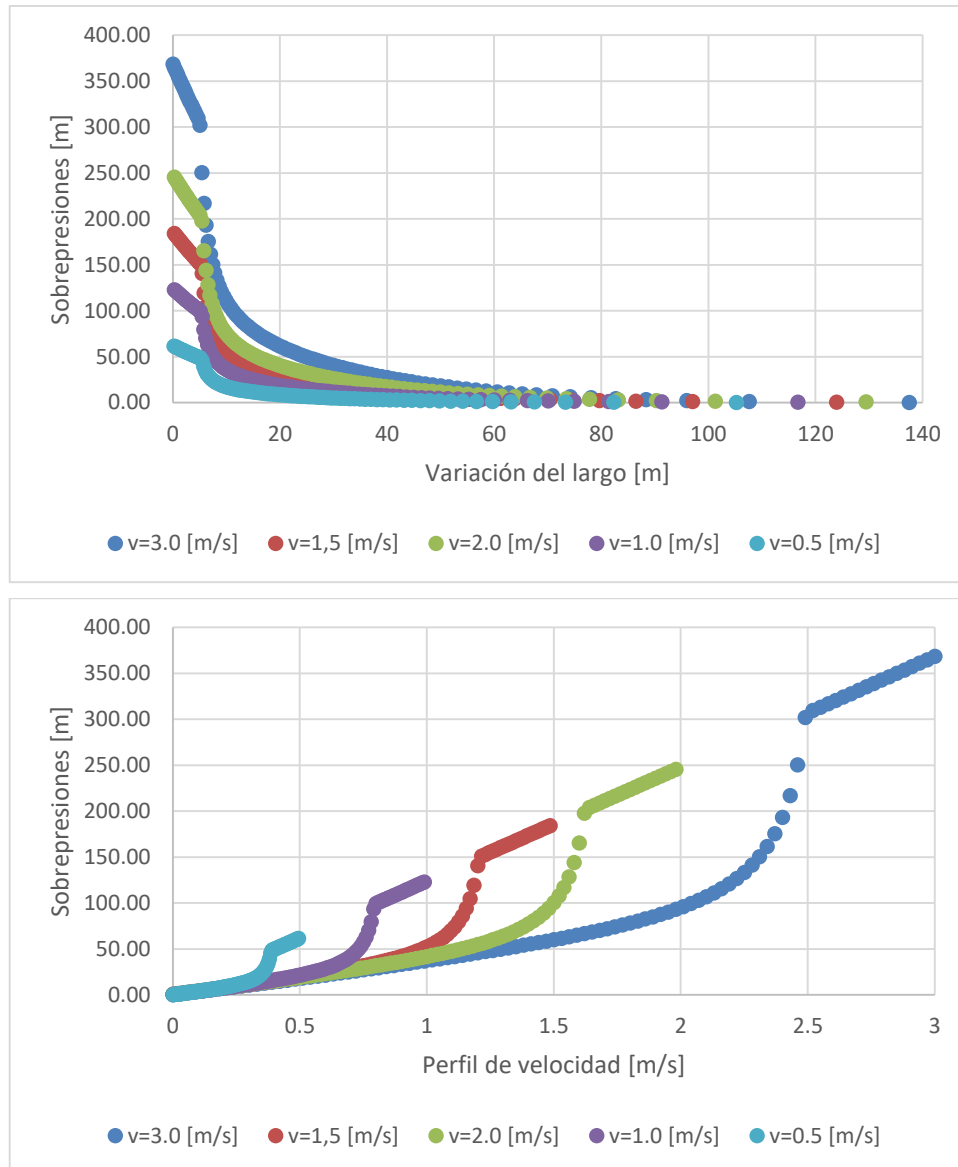


Gráfico 32: Subpresiones de Allievi con las velocidades de propagación propuesta Acero-PVC D1=249 [mm] y D2=232 [mm] en diferentes parámetros. Fuente: Elaboración Propia.

V=0,5 [m/s]		V=0,75 [m/s]		V=1,0 [m/s]	
a	324,46	a	324,46	a	324,46
DH	16,54	DH	24,81	DH	33,07
L	105,21	L	111,69	L	116,68
a promedio	DH Allievi	a promedio	DH Allievi	a promedio	DH Allievi
m/s	m	m/s	m	m/s	m
1204,47	61,39	1204,47	92,08	1204,47	122,78
1204,47	60,78	1204,47	91,16	1204,47	121,55
1204,47	60,16	1204,47	90,24	1204,47	120,32
1204,47	59,55	1204,47	89,32	1204,47	119,10

1204,47	58,93	1204,47	88,40	1204,47	117,87
1204,47	58,32	1204,47	87,48	1204,47	116,64
1204,47	57,71	1204,47	86,56	1204,47	115,41
1204,47	57,09	1204,47	85,64	1204,47	114,19
1204,47	56,48	1204,47	84,72	1204,47	112,96
1204,47	55,86	1204,47	83,80	1204,47	111,73
1204,47	55,25	1204,47	82,88	1204,47	110,50
1204,47	54,64	1204,47	81,96	1204,47	109,27
1204,47	54,02	1204,47	81,03	1204,47	108,05
1204,47	53,41	1204,47	80,11	1204,47	106,82
1204,47	52,80	1204,47	79,19	1204,47	105,59
1204,47	52,18	1204,47	78,27	1204,47	104,36
1204,47	51,57	1204,47	77,35	1204,47	103,14
1204,47	50,95	1204,47	76,43	1204,47	101,91
1204,47	50,34	1204,47	75,51	1204,47	100,68
1204,47	49,73	1204,47	74,59	1204,47	99,45
1204,47	49,11	1204,47	73,67	1144,53	93,34
1204,47	48,50	1112,79	67,21	987,77	79,55
1136,34	45,18	970,57	57,88	880,24	69,99
992,24	38,94	870,79	51,26	801,88	62,94
890,53	34,50	796,92	46,30	742,24	57,50
814,89	31,15	740,02	42,43	695,32	53,16
756,43	28,53	694,84	39,31	657,44	49,59
709,89	26,41	658,10	36,73	626,22	46,60
671,97	24,66	627,63	34,55	600,04	44,04
640,46	23,18	601,95	32,67	577,77	41,82
613,87	21,90	580,01	31,04	558,59	39,86
591,12	20,79	561,04	29,60	541,90	38,12
571,44	19,81	544,49	28,31	527,24	36,55
554,24	18,93	529,91	27,14	514,26	35,12
539,09	18,13	516,97	26,09	502,69	33,82
525,63	17,41	505,41	25,12	492,31	32,62
513,59	16,75	495,01	24,22	482,94	31,51
502,76	16,14	485,62	23,39	474,44	30,47
492,97	15,58	477,08	22,61	466,70	29,50
484,07	15,05	469,29	21,89	459,61	28,58
475,94	14,55	462,15	21,20	453,10	27,71
468,49	14,09	455,58	20,55	447,10	26,89
461,63	13,65	449,52	19,93	441,54	26,11
455,30	13,23	443,90	19,34	436,39	25,36
449,44	12,83	438,69	18,78	431,60	24,64
443,99	12,45	433,83	18,24	427,12	23,95
438,91	12,08	429,30	17,72	422,94	23,28
434,17	11,73	425,05	17,22	419,02	22,64
429,73	11,39	421,07	16,74	415,33	22,02
425,56	11,06	417,33	16,27	411,86	21,41
421,64	10,75	413,80	15,82	408,59	20,83

417,95	10,44	410,47	15,38	405,49	20,25
414,46	10,14	407,32	14,95	402,56	19,70
411,17	9,85	404,33	14,53	399,79	19,15
408,04	9,57	401,50	14,12	397,15	18,62
405,07	9,29	398,81	13,72	394,64	18,10
402,26	9,02	396,25	13,33	392,25	17,59
399,57	8,76	393,81	12,95	389,97	17,09
397,01	8,50	391,48	12,57	387,79	16,60
394,57	8,25	389,26	12,20	385,71	16,12
392,24	8,00	387,13	11,84	383,72	15,65
390,00	7,75	385,09	11,48	381,80	15,18
387,86	7,51	383,13	11,13	379,97	14,72
385,81	7,28	381,25	10,78	378,20	14,26
383,83	7,04	379,44	10,44	376,51	13,82
381,93	6,81	377,70	10,11	374,87	13,37
380,11	6,59	376,03	9,77	373,29	12,94
378,35	6,36	374,41	9,45	371,77	12,51
376,65	6,14	372,85	9,12	370,30	12,08
375,00	5,93	371,34	8,80	368,88	11,66
373,42	5,71	369,88	8,48	367,50	11,24
371,88	5,50	368,46	8,17	366,17	10,82
370,39	5,29	367,09	7,86	364,87	10,41
368,94	5,08	365,75	7,55	363,62	10,01
367,54	4,87	364,46	7,24	362,39	9,60
366,17	4,67	363,20	6,94	361,20	9,21
364,85	4,46	361,97	6,64	360,05	8,81
363,55	4,26	360,78	6,34	358,91	8,41
362,29	4,06	359,61	6,05	357,81	8,02
361,05	3,86	358,47	5,76	356,73	7,64
359,85	3,67	357,35	5,46	355,67	7,25
358,67	3,47	356,25	5,17	354,64	6,87
357,51	3,28	355,18	4,89	353,62	6,49
356,37	3,09	354,12	4,60	352,62	6,11
355,24	2,90	353,08	4,32	351,63	5,74
354,14	2,71	352,06	4,04	350,66	5,36
353,04	2,52	351,04	3,76	349,69	4,99
351,96	2,33	350,03	3,48	348,74	4,62
350,89	2,15	349,03	3,20	347,79	4,25
349,81	1,96	348,04	2,93	346,84	3,89
348,74	1,78	347,04	2,65	345,90	3,53
347,66	1,59	346,04	2,38	344,94	3,16
346,58	1,41	345,02	2,11	343,98	2,81
345,47	1,23	343,99	1,84	343,00	2,45
344,33	1,05	342,93	1,57	341,99	2,09
343,15	0,87	341,83	1,31	340,95	1,74
341,91	0,70	340,67	1,04	339,84	1,39
340,55	0,52	339,41	0,78	338,63	1,04

339,01	0,35	337,97	0,52	337,26	0,69
337,08	0,17	336,16	0,26	335,54	0,34
333,70	0,00	333,00	0,00	332,52	0,00

V=1,25 [m/s]		V=1,5 [m/s]		V=1,75 [m/s]	
a	324,46	a	324,46	a	324,46
DH	41,34	DH	49,61	DH	57,88
L	120,60	L	123,96	L	126,82
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1204,47	153,47	1204,47	184,17	1204,47	214,86
1204,47	151,94	1204,47	182,33	1204,47	212,72
1204,47	150,41	1204,47	180,49	1204,47	210,57
1204,47	148,87	1204,47	178,64	1204,47	208,42
1204,47	147,34	1204,47	176,80	1204,47	206,27
1204,47	145,80	1204,47	174,96	1204,47	204,12
1204,47	144,27	1204,47	173,12	1204,47	201,97
1204,47	142,73	1204,47	171,28	1204,47	199,82
1204,47	141,20	1204,47	169,44	1204,47	197,68
1204,47	139,66	1204,47	167,59	1204,47	195,53
1204,47	138,13	1204,47	165,75	1204,47	193,38
1204,47	136,59	1204,47	163,91	1204,47	191,23
1204,47	135,06	1204,47	162,07	1204,47	189,08
1204,47	133,52	1204,47	160,23	1204,47	186,93
1204,47	131,99	1204,47	158,39	1204,47	184,78
1204,47	130,45	1204,47	156,54	1204,47	182,63
1204,47	128,92	1204,47	154,70	1204,47	180,49
1204,47	127,38	1204,47	152,86	1204,47	178,34
1204,47	125,85	1204,47	151,02	1204,47	176,19
1204,47	124,31	1133,67	140,41	1072,70	155,00
1056,86	107,73	974,42	119,19	931,85	132,99
925,62	93,18	866,46	104,66	834,64	117,62
833,32	82,82	788,44	94,03	763,50	106,24
764,87	75,04	729,42	85,88	709,19	97,41
712,06	68,96	683,21	79,39	666,35	90,34
670,09	64,04	646,04	74,09	631,71	84,52
635,93	59,96	615,50	69,64	603,10	79,61
607,58	56,52	589,95	65,85	579,09	75,41
583,68	53,55	568,26	62,56	558,63	71,75
563,24	50,96	549,62	59,67	541,00	68,52
545,57	48,66	533,43	57,09	525,65	65,64
530,14	46,61	519,22	54,78	512,15	63,04
516,55	44,76	506,66	52,68	500,20	60,68
504,48	43,07	495,48	50,76	489,53	58,51

493,70	41,52	485,45	48,99	479,96	56,51
484,00	40,09	476,41	47,35	471,31	54,65
475,23	38,75	468,22	45,82	463,47	52,91
467,26	37,51	460,75	44,38	456,32	51,28
459,99	36,34	453,93	43,03	449,78	49,75
453,32	35,24	447,67	41,75	443,76	48,29
447,19	34,19	441,89	40,54	438,22	46,90
441,53	33,19	436,56	39,38	433,08	45,58
436,29	32,24	431,61	38,28	428,32	44,32
431,42	31,33	427,00	37,22	423,89	43,10
426,88	30,46	422,71	36,20	419,75	41,93
422,64	29,62	418,69	35,21	415,88	40,80
418,68	28,81	414,93	34,26	412,25	39,71
414,96	28,02	411,40	33,34	408,84	38,65
411,46	27,26	408,07	32,45	405,63	37,63
408,16	26,52	404,94	31,58	402,60	36,63
405,05	25,81	401,97	30,73	399,74	35,65
402,11	25,11	399,17	29,91	397,03	34,70
399,32	24,42	396,51	29,10	394,46	33,78
396,68	23,76	393,99	28,31	392,01	32,87
394,17	23,10	391,59	27,54	389,69	31,98
391,77	22,46	389,30	26,79	387,48	31,11
389,49	21,84	387,12	26,05	385,37	30,25
387,32	21,22	385,04	25,32	383,35	29,41
385,24	20,62	383,05	24,60	381,42	28,58
383,25	20,02	381,15	23,89	379,58	27,76
381,34	19,44	379,32	23,20	377,81	26,96
379,52	18,86	377,57	22,52	376,11	26,17
377,76	18,29	375,89	21,84	374,47	25,38
376,07	17,73	374,27	21,17	372,90	24,61
374,45	17,18	372,71	20,52	371,39	23,85
372,88	16,63	371,20	19,87	369,93	23,10
371,38	16,09	369,75	19,22	368,52	22,35
369,92	15,55	368,35	18,59	367,16	21,61
368,51	15,03	367,00	17,96	365,85	20,88
367,15	14,50	365,69	17,33	364,58	20,16
365,83	13,98	364,42	16,72	363,34	19,44
364,55	13,47	363,19	16,10	362,15	18,73
363,31	12,96	361,99	15,50	360,98	18,03
362,10	12,46	360,83	14,90	359,85	17,33
360,93	11,96	359,70	14,30	358,76	16,64
359,78	11,46	358,60	13,71	357,69	15,95
358,67	10,97	357,53	13,12	356,64	15,27
357,59	10,48	356,48	12,54	355,62	14,59
356,53	9,99	355,46	11,96	354,63	13,92
355,49	9,51	354,46	11,38	353,65	13,25
354,47	9,03	353,48	10,81	352,70	12,58

353,47	8,56	352,51	10,24	351,76	11,92
352,50	8,08	351,57	9,68	350,84	11,27
351,53	7,61	350,64	9,11	349,94	10,61
350,58	7,15	349,72	8,56	349,05	9,96
349,65	6,68	348,82	8,00	348,17	9,32
348,72	6,22	347,92	7,45	347,29	8,67
347,80	5,76	347,03	6,90	346,43	8,03
346,89	5,30	346,15	6,35	345,57	7,40
345,98	4,85	345,27	5,81	344,71	6,76
345,07	4,40	344,39	5,27	343,85	6,13
344,15	3,95	343,50	4,73	342,99	5,51
343,22	3,50	342,60	4,19	342,11	4,88
342,28	3,05	341,69	3,66	341,22	4,26
341,31	2,61	340,75	3,13	340,30	3,64
340,30	2,17	339,77	2,60	339,35	3,03
339,23	1,73	338,74	2,07	338,34	2,41
338,07	1,29	337,61	1,55	337,24	1,80
336,75	0,86	336,33	1,03	335,99	1,20
335,08	0,43	334,72	0,51	334,42	0,60
332,17	0,00	331,89	0,00	331,66	0,00

V=2,0 [m/s]		V=2,25 [m/s]		V=2,5 [m/s]	
a	324,46	a	324,46	a	324,46
DH	66,15	DH	74,42	DH	82,69
L	129,41	L	131,69	L	133,76
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1204,47	245,56	1204,47	276,25	1204,47	306,95
1204,47	243,10	1204,47	273,49	1204,47	303,88
1204,47	240,65	1204,47	270,73	1204,47	300,81
1204,47	238,19	1204,47	267,97	1204,47	297,74
1204,47	235,74	1204,47	265,20	1204,47	294,67
1204,47	233,28	1204,47	262,44	1204,47	291,60
1204,47	230,83	1204,47	259,68	1204,47	288,53
1204,47	228,37	1204,47	256,92	1204,47	285,46
1204,47	225,91	1204,47	254,15	1204,47	282,39
1204,47	223,46	1204,47	251,39	1204,47	279,32
1204,47	221,00	1204,47	248,63	1204,47	276,25
1204,47	218,55	1204,47	245,87	1204,47	273,19
1204,47	216,09	1204,47	243,10	1204,47	270,12
1204,47	213,64	1204,47	240,34	1204,47	267,05
1204,47	211,18	1204,47	237,58	1204,47	263,98
1204,47	208,73	1204,47	234,82	1204,47	260,91
1204,47	206,27	1204,47	232,05	1204,47	257,84

1204,47	203,81	1204,47	229,29	1204,47	254,77
1182,91	197,76	1130,69	212,65	1088,41	227,45
1001,31	165,35	966,10	179,48	937,11	193,44
881,95	143,84	856,23	157,11	834,80	170,19
797,50	128,45	777,67	140,91	761,01	153,21
734,61	116,82	718,70	128,58	705,26	140,19
685,95	107,68	672,81	118,82	661,66	129,84
647,17	100,27	636,07	110,88	626,62	121,36
615,54	94,12	606,00	104,24	597,85	114,27
589,25	88,90	580,93	98,60	573,79	108,21
567,05	84,39	559,70	93,71	553,38	102,95
548,06	80,45	541,49	89,42	535,84	98,32
531,62	76,95	525,71	85,61	520,61	94,20
517,24	73,82	511,88	82,18	507,26	90,49
504,57	70,98	499,68	79,08	495,45	87,12
493,32	68,39	488,83	76,24	484,94	84,04
483,25	66,01	479,11	73,62	475,52	81,19
474,20	63,81	470,36	71,20	467,03	78,55
466,01	61,75	462,43	68,94	459,34	76,09
458,56	59,83	455,23	66,82	452,33	73,77
451,76	58,02	448,64	64,83	445,93	71,59
445,53	56,32	442,59	62,94	440,05	69,53
439,79	54,69	437,03	61,14	434,63	67,56
434,49	53,15	431,89	59,43	429,62	65,69
429,58	51,67	427,12	57,80	424,98	63,90
425,02	50,26	422,69	56,23	420,66	62,18
420,78	48,90	418,56	54,72	416,63	60,52
416,81	47,59	414,70	53,26	412,86	58,92
413,09	46,32	411,09	51,86	409,34	57,37
409,61	45,09	407,69	50,49	406,02	55,87
406,33	43,91	404,50	49,17	402,91	54,42
403,24	42,75	401,49	47,88	399,97	53,00
400,32	41,62	398,65	46,63	397,19	51,62
397,57	40,53	395,96	45,41	394,56	50,28
394,95	39,46	393,41	44,21	392,07	48,96
392,47	38,41	391,00	43,05	389,71	47,67
390,12	37,38	388,70	41,90	387,46	46,41
387,87	36,38	386,51	40,78	385,32	45,17
385,74	35,39	384,42	39,68	383,28	43,95
383,70	34,42	382,43	38,59	381,33	42,76
381,75	33,47	380,53	37,53	379,46	41,58
379,88	32,53	378,71	36,48	377,68	40,42
378,09	31,60	376,96	35,45	375,97	39,28
376,38	30,69	375,29	34,43	374,33	38,16
374,73	29,80	373,68	33,43	372,75	37,05
373,15	28,91	372,13	32,43	371,24	35,95
371,63	28,03	370,64	31,45	369,78	34,87

370,16	27,17	369,21	30,49	368,38	33,80
368,75	26,31	367,83	29,53	367,02	32,74
367,38	25,47	366,49	28,58	365,71	31,69
366,06	24,63	365,20	27,64	364,44	30,65
364,78	23,80	363,95	26,71	363,22	29,62
363,55	22,98	362,74	25,79	362,03	28,60
362,35	22,16	361,57	24,88	360,88	27,59
361,19	21,35	360,43	23,97	359,77	26,59
360,06	20,55	359,33	23,08	358,68	25,59
358,96	19,76	358,25	22,19	357,63	24,61
357,89	18,97	357,21	21,30	356,60	23,63
356,85	18,19	356,19	20,42	355,60	22,66
355,84	17,41	355,19	19,55	354,63	21,69
354,84	16,64	354,22	18,69	353,68	20,73
353,88	15,87	353,27	17,83	352,74	19,78
352,93	15,11	352,34	16,97	351,83	18,83
352,00	14,35	351,43	16,12	350,94	17,89
351,09	13,60	350,54	15,28	350,06	16,95
350,19	12,85	349,66	14,44	349,20	16,02
349,31	12,11	348,80	13,60	348,35	15,09
348,44	11,37	347,95	12,77	347,52	14,17
347,58	10,63	347,11	11,94	346,69	13,25
346,73	9,90	346,27	11,12	345,87	12,34
345,89	9,17	345,45	10,30	345,06	11,43
345,05	8,44	344,62	9,49	344,25	10,53
344,21	7,72	343,80	8,67	343,44	9,63
343,37	7,00	342,98	7,87	342,64	8,73
342,53	6,28	342,15	7,06	341,82	7,84
341,67	5,57	341,32	6,26	341,00	6,95
340,80	4,86	340,46	5,47	340,16	6,07
339,91	4,16	339,59	4,67	339,30	5,19
338,98	3,46	338,67	3,88	338,40	4,31
337,99	2,76	337,71	3,10	337,45	3,44
336,92	2,06	336,65	2,32	336,42	2,57
335,70	1,37	335,45	1,54	335,24	1,71
334,16	0,68	333,95	0,77	333,76	0,85
331,46	0,00	331,30	0,00	331,15	0,00

V=2,75 [m/s]		V=3,0 [m/s]	
a	324,46	a	324,46
DH	90,95	DH	99,22
L	135,66	L	137,48
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m

1204,47	337,64	1204,47	368,34
1204,47	334,27	1204,47	364,66
1204,47	330,89	1204,47	360,97
1204,47	327,52	1204,47	357,29
1204,47	324,14	1204,47	353,61
1204,47	320,76	1204,47	349,92
1204,47	317,39	1204,47	346,24
1204,47	314,01	1204,47	342,56
1204,47	310,63	1204,47	338,87
1204,47	307,26	1204,47	335,19
1204,47	303,88	1204,47	331,51
1204,47	300,50	1204,47	327,82
1204,47	297,13	1204,47	324,14
1204,47	293,75	1204,47	320,46
1204,47	290,37	1204,47	316,77
1204,47	287,00	1204,47	313,09
1204,47	283,62	1204,47	309,41
1204,47	280,24	1189,21	301,85
1053,31	242,12	997,93	250,25
912,70	207,24	874,74	216,68
816,60	183,13	788,78	192,97
746,76	165,38	725,37	175,24
693,70	151,68	676,68	161,41
652,03	140,74	638,10	150,26
618,43	131,76	606,78	141,03
590,76	124,20	580,85	133,22
567,58	117,74	559,02	126,51
547,87	112,12	540,39	120,64
530,91	107,16	524,30	115,44
516,16	102,73	510,27	110,79
503,21	98,74	497,92	106,59
491,75	95,12	486,97	102,76
481,53	91,79	477,19	99,23
472,37	88,72	468,40	95,97
464,11	85,87	460,46	92,94
456,61	83,20	453,25	90,10
449,78	80,70	446,67	87,42
443,54	78,33	440,64	84,89
437,80	76,09	435,10	82,50
432,51	73,96	429,99	80,21
427,62	71,92	425,26	78,03
423,08	69,97	420,86	75,94
418,86	68,10	416,77	73,92
414,92	66,30	412,95	71,98
411,24	64,56	409,37	70,11
407,79	62,87	406,02	68,29
404,55	61,24	402,87	66,53

401,49	59,65	399,90	64,82
398,62	58,11	397,10	63,15
395,90	56,60	394,45	61,52
393,32	55,13	391,95	59,93
390,88	53,69	389,57	58,38
388,56	52,28	387,31	56,85
386,36	50,90	385,16	55,36
384,26	49,55	383,11	53,89
382,26	48,22	381,16	52,45
380,35	46,91	379,29	51,04
378,52	45,63	377,51	49,64
376,77	44,36	375,80	48,27
375,09	43,11	374,16	46,91
373,48	41,88	372,58	45,58
371,94	40,66	371,07	44,26
370,45	39,46	369,61	42,95
369,02	38,27	368,21	41,66
367,64	37,10	366,86	40,39
366,30	35,94	365,56	39,13
365,02	34,79	364,30	37,88
363,77	33,65	363,08	36,64
362,57	32,52	361,90	35,42
361,41	31,41	360,76	34,20
360,28	30,30	359,65	33,00
359,18	29,20	358,58	31,80
358,11	28,11	357,53	30,61
357,08	27,03	356,52	29,44
356,07	25,95	355,53	28,27
355,09	24,89	354,56	27,11
354,13	23,83	353,62	25,95
353,19	22,77	352,70	24,81
352,28	21,73	351,81	23,67
351,38	20,69	350,93	22,54
350,50	19,65	350,06	21,41
349,64	18,62	349,22	20,29
348,79	17,60	348,38	19,18
347,96	16,58	347,56	18,07
347,13	15,57	346,75	16,97
346,32	14,56	345,96	15,87
345,51	13,56	345,16	14,78
344,72	12,56	344,38	13,69
343,92	11,57	343,60	12,61
343,13	10,58	342,82	11,53
342,33	9,60	342,03	10,46
341,53	8,62	341,25	9,39
340,72	7,64	340,45	8,33
339,90	6,67	339,64	7,27

339,05	5,70	338,80	6,22
338,16	4,74	337,93	5,17
337,23	3,78	337,01	4,12
336,21	2,83	336,01	3,08
335,05	1,88	334,87	2,05
333,59	0,94	333,43	1,02
331,02	0,00	330,90	0,00

9.6.3 Caso diferentes perfiles de velocidad del Acero-PVC D1=552 [mm] y D2=584 [mm]

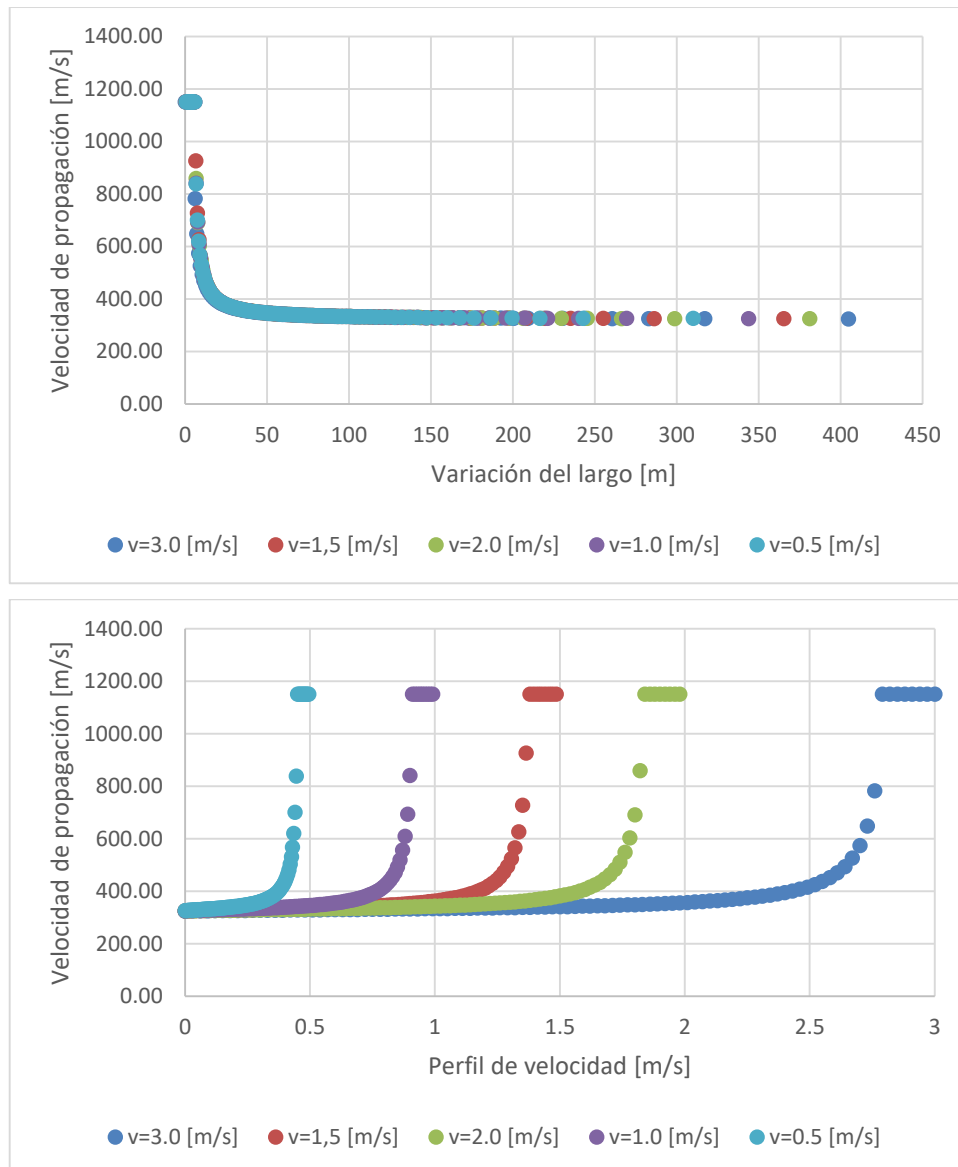


Gráfico 33: Velocidad de propagación Acero-PVC D1=552 [mm] y D2=584 [mm] en variación de largo y perfil de velocidad. Fuente: Elaboración Propia.

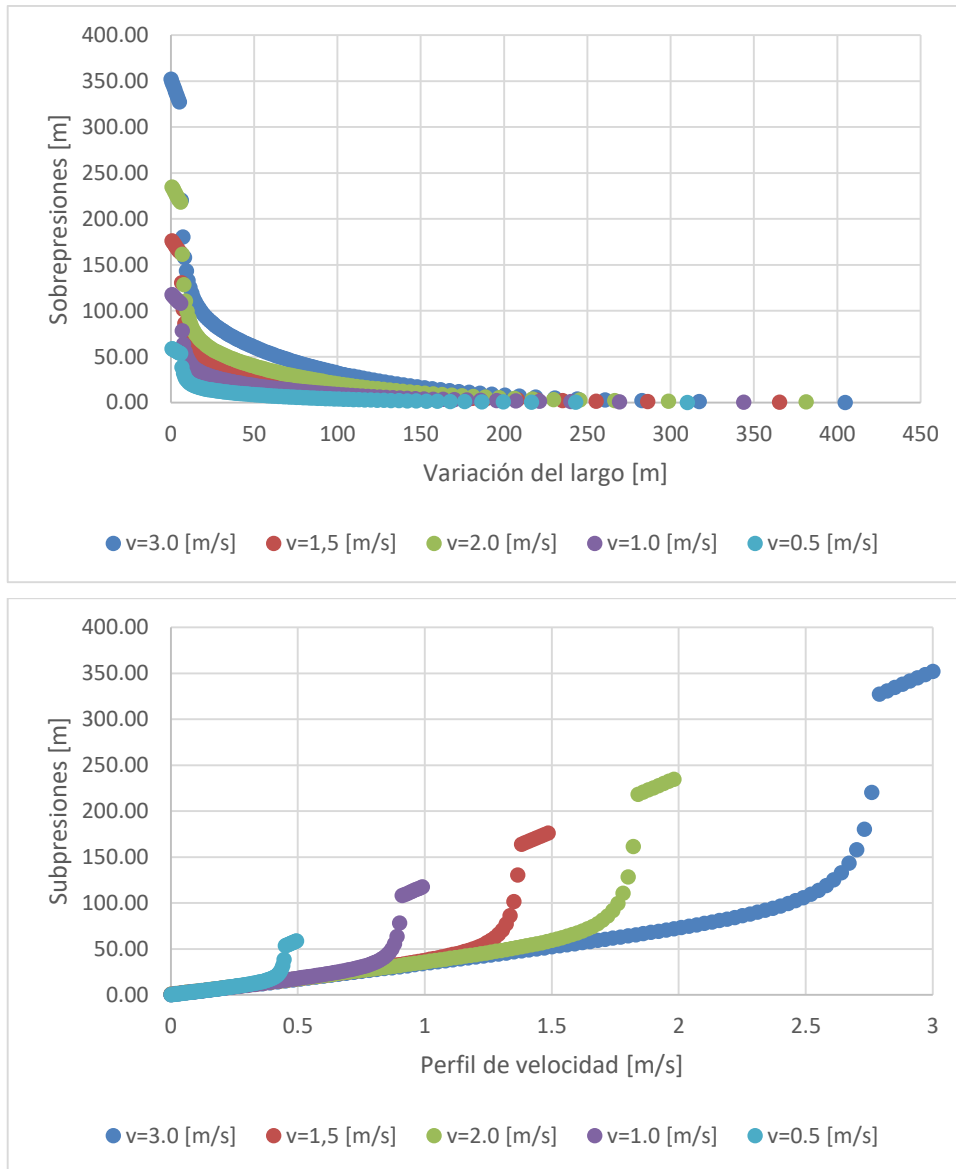


Gráfico 34: Subpresiones de Allievi con las velocidades de propagación propuesta Acero-PVC D1=552 [mm] y D2=584 [mm] en diferentes parámetros. Fuente: Elaboración Propia.

V=0,5 [m/s]		V=0,75 [m/s]		V=1,0 [m/s]	
a	323,53	a	323,53	a	323,53
DH	16,49	DH	24,74	DH	32,98
L	310,05	L	329,33	L	343,79
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1151,22	58,68	1151,22	88,01	1151,22	117,35
1151,22	58,09	1151,22	87,13	1151,22	116,18
1151,22	57,50	1151,22	86,25	1151,22	115,00
1151,22	56,92	1151,22	85,37	1151,22	113,83

1151,22	56,33	1151,22	84,49	1151,22	112,66
1151,22	55,74	1151,22	83,61	1151,22	111,48
1151,22	55,16	1151,22	82,73	1151,22	110,31
1151,22	54,57	1151,22	81,85	1151,22	109,14
1151,22	53,98	1151,22	80,97	1151,22	107,96
1151,22	53,40	905,68	63,01	841,83	78,09
839,48	38,51	730,02	50,23	693,24	63,60
701,66	31,83	634,85	43,20	610,02	55,34
621,14	27,86	575,17	38,70	556,82	49,95
568,32	25,20	534,23	35,53	519,86	46,10
531,02	23,28	504,41	33,16	492,70	43,19
503,26	21,80	481,72	31,30	471,89	40,89
481,80	20,63	463,87	29,79	455,44	39,00
464,71	19,66	449,46	28,52	442,10	37,41
450,78	18,84	437,59	27,43	431,08	36,03
439,20	18,13	427,63	26,48	421,81	34,83
429,43	17,51	419,16	25,64	413,90	33,75
421,08	16,95	411,87	24,88	407,08	32,78
413,84	16,45	405,53	24,18	401,14	31,89
407,52	15,99	399,95	23,54	395,91	31,08
401,96	15,57	395,02	22,95	391,27	30,31
397,01	15,18	390,62	22,40	387,14	29,60
392,59	14,81	386,68	21,88	383,42	28,92
388,61	14,46	383,12	21,38	380,07	28,28
385,01	14,13	379,89	20,91	377,02	27,67
381,74	13,81	376,95	20,46	374,25	27,09
378,76	13,51	374,26	20,03	371,70	26,52
376,02	13,22	371,79	19,61	369,37	25,98
373,51	12,95	369,51	19,21	367,21	25,45
371,18	12,68	367,41	18,82	365,22	24,94
369,03	12,41	365,45	18,44	363,37	24,45
367,03	12,16	363,63	18,07	361,64	23,96
365,17	11,91	361,94	17,71	360,03	23,49
363,43	11,67	360,35	17,36	358,53	23,02
361,80	11,43	358,87	17,01	357,12	22,57
360,28	11,20	357,47	16,67	355,80	22,12
358,84	10,97	356,16	16,34	354,55	21,68
357,49	10,75	354,92	16,01	353,37	21,25
356,21	10,53	353,75	15,69	352,26	20,83
355,01	10,31	352,64	15,37	351,21	20,41
353,87	10,10	351,59	15,05	350,21	19,99
352,78	9,89	350,60	14,74	349,26	19,58
351,75	9,68	349,65	14,44	348,36	19,18
350,77	9,48	348,75	14,13	347,50	18,77
349,84	9,27	347,89	13,83	346,69	18,38
348,95	9,07	347,07	13,53	345,91	17,98
348,10	8,87	346,28	13,24	345,16	17,59

347,29	8,67	345,53	12,94	344,44	17,20
346,51	8,48	344,81	12,65	343,76	16,82
345,77	8,28	344,12	12,37	343,10	16,44
345,05	8,09	343,46	12,08	342,47	16,06
344,36	7,90	342,83	11,79	341,87	15,68
343,70	7,71	342,22	11,51	341,28	15,31
343,07	7,52	341,63	11,23	340,72	14,93
342,45	7,33	341,06	10,95	340,18	14,56
341,86	7,14	340,51	10,67	339,66	14,20
341,29	6,96	339,98	10,40	339,15	13,83
340,74	6,77	339,47	10,12	338,67	13,46
340,21	6,59	338,98	9,85	338,20	13,10
339,69	6,41	338,50	9,58	337,74	12,74
339,19	6,22	338,03	9,30	337,30	12,38
338,71	6,04	337,58	9,03	336,87	12,02
338,24	5,86	337,15	8,76	336,45	11,66
337,78	5,68	336,72	8,50	336,04	11,30
337,34	5,50	336,31	8,23	335,65	10,95
336,91	5,32	335,91	7,96	335,27	10,59
336,49	5,15	335,52	7,70	334,89	10,24
336,08	4,97	335,14	7,43	334,53	9,89
335,68	4,79	334,76	7,17	334,18	9,54
335,29	4,61	334,40	6,90	333,83	9,19
334,91	4,44	334,05	6,64	333,49	8,84
334,54	4,26	333,70	6,38	333,16	8,49
334,17	4,09	333,36	6,12	332,83	8,14
333,82	3,91	333,02	5,86	332,51	7,80
333,46	3,74	332,70	5,60	332,20	7,45
333,12	3,57	332,38	5,34	331,89	7,10
332,78	3,39	332,06	5,08	331,59	6,76
332,45	3,22	331,75	4,82	331,30	6,42
332,12	3,05	331,44	4,56	331,00	6,07
331,79	2,87	331,14	4,30	330,71	5,73
331,47	2,70	330,84	4,05	330,42	5,39
331,15	2,53	330,54	3,79	330,14	5,05
330,84	2,36	330,24	3,53	329,86	4,71
330,52	2,19	329,95	3,28	329,58	4,37
330,21	2,02	329,66	3,02	329,30	4,03
329,90	1,85	329,36	2,77	329,01	3,69
329,58	1,68	329,07	2,52	328,73	3,35
329,26	1,51	328,77	2,26	328,45	3,01
328,94	1,34	328,46	2,01	328,16	2,68
328,61	1,17	328,15	1,76	327,86	2,34
328,26	1,00	327,83	1,50	327,55	2,00
327,91	0,84	327,50	1,25	327,23	1,67
327,53	0,67	327,15	1,00	326,89	1,33
327,11	0,50	326,76	0,75	326,52	1,00

326,64	0,33	326,31	0,50	326,10	0,66
326,04	0,17	325,75	0,25	325,56	0,33
324,98	0,00	324,75	0,00	324,60	0,00

V=1,25 [m/s]		V=1,5 [m/s]		V=1,75 [m/s]	
a	323,53	a	323,53	a	323,53
DH	41,23	DH	49,47	DH	57,72
L	355,58	L	365,31	L	373,74
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1151,22	146,69	1151,22	176,03	1151,22	205,37
1151,22	145,22	1151,22	174,27	1151,22	203,31
1151,22	143,76	1151,22	172,51	1151,22	201,26
1151,22	142,29	1151,22	170,75	1151,22	199,20
1151,22	140,82	1151,22	168,99	1151,22	197,15
1151,22	139,36	1151,22	167,23	1151,22	195,10
1151,22	137,89	1151,22	165,47	1151,22	193,04
1151,22	136,42	1151,22	163,71	1151,22	190,99
977,77	114,62	927,31	130,45	889,45	145,97
754,37	87,47	728,22	101,33	707,99	114,93
643,63	73,81	626,88	86,27	613,70	98,53
577,49	65,49	565,47	76,95	555,94	88,26
533,51	59,82	524,29	70,55	516,92	81,15
502,16	55,67	494,74	65,81	488,79	75,86
478,68	52,45	472,51	62,13	467,54	71,73
460,43	49,87	455,18	59,16	450,94	68,38
445,84	47,72	441,28	56,68	437,59	65,57
433,91	45,89	429,90	54,56	426,64	63,17
423,98	44,30	420,39	52,71	417,49	61,07
415,57	42,89	412,34	51,07	409,72	59,20
408,36	41,63	405,43	49,59	403,05	57,52
402,12	40,48	399,44	48,25	397,26	55,98
396,65	39,42	394,19	47,01	392,18	54,57
391,83	38,44	389,55	45,86	387,69	53,25
387,54	37,53	385,42	44,79	383,69	52,02
383,71	36,67	381,73	43,78	380,11	50,86
380,25	35,85	378,40	42,82	376,89	49,75
377,13	35,08	375,39	41,90	373,96	48,70
374,28	34,34	372,64	41,02	371,30	47,69
371,68	33,63	370,14	40,18	368,87	46,72
369,30	32,94	367,84	39,37	366,64	45,78
367,11	32,28	365,72	38,58	364,58	44,88
365,08	31,63	363,76	37,82	362,68	43,99
363,21	31,01	361,95	37,08	360,92	43,14

361,46	30,40	360,26	36,36	359,28	42,30
359,84	29,80	358,69	35,65	357,75	41,48
358,32	29,22	357,22	34,96	356,32	40,68
356,90	28,65	355,85	34,28	354,98	39,89
355,57	28,09	354,56	33,61	353,73	39,12
354,31	27,54	353,34	32,96	352,55	38,36
353,13	27,00	352,20	32,31	351,43	37,62
352,02	26,46	351,12	31,68	350,38	36,88
350,96	25,94	350,10	31,05	349,39	36,15
349,96	25,42	349,13	30,43	348,45	35,43
349,02	24,90	348,21	29,82	347,55	34,72
348,11	24,40	347,34	29,21	346,70	34,02
347,26	23,89	346,51	28,61	345,90	33,32
346,44	23,40	345,72	28,02	345,12	32,63
345,66	22,90	344,96	27,43	344,39	31,95
344,92	22,41	344,24	26,84	343,69	31,27
344,21	21,93	343,55	26,27	343,01	30,60
343,53	21,45	342,89	25,69	342,37	29,93
342,87	20,97	342,26	25,12	341,75	29,26
342,25	20,50	341,65	24,55	341,16	28,60
341,65	20,03	341,07	23,99	340,59	27,95
341,07	19,56	340,51	23,43	340,05	27,30
340,51	19,09	339,97	22,87	339,52	26,65
339,97	18,63	339,45	22,32	339,01	26,00
339,46	18,17	338,94	21,77	338,52	25,36
338,96	17,71	338,46	21,22	338,05	24,72
338,47	17,25	337,99	20,67	337,59	24,09
338,01	16,80	337,54	20,13	337,15	23,46
337,56	16,34	337,10	19,59	336,72	22,83
337,12	15,89	336,67	19,05	336,31	22,20
336,70	15,44	336,26	18,51	335,91	21,57
336,28	15,00	335,86	17,97	335,52	20,95
335,88	14,55	335,48	17,44	335,14	20,33
335,50	14,11	335,10	16,91	334,77	19,71
335,12	13,66	334,73	16,38	334,41	19,09
334,75	13,22	334,38	15,85	334,07	18,47
334,39	12,78	334,03	15,32	333,73	17,86
334,04	12,34	333,69	14,80	333,40	17,25
333,70	11,91	333,36	14,27	333,07	16,64
333,37	11,47	333,03	13,75	332,76	16,03
333,04	11,03	332,72	13,23	332,45	15,42
332,73	10,60	332,41	12,71	332,15	14,81
332,41	10,17	332,11	12,19	331,85	14,21
332,11	9,73	331,81	11,67	331,56	13,60
331,81	9,30	331,52	11,15	331,28	13,00
331,51	8,87	331,23	10,64	331,00	12,40
331,22	8,44	330,95	10,12	330,72	11,80

330,94	8,01	330,67	9,61	330,45	11,20
330,65	7,58	330,40	9,09	330,18	10,60
330,38	7,16	330,12	8,58	329,92	10,01
330,10	6,73	329,86	8,07	329,66	9,41
329,83	6,30	329,59	7,56	329,40	8,81
329,55	5,88	329,33	7,05	329,14	8,22
329,28	5,45	329,06	6,54	328,88	7,63
329,01	5,03	328,80	6,03	328,62	7,03
328,74	4,61	328,54	5,53	328,37	6,44
328,47	4,19	328,27	5,02	328,11	5,85
328,19	3,76	328,00	4,51	327,85	5,26
327,91	3,34	327,73	4,01	327,58	4,67
327,63	2,92	327,45	3,50	327,31	4,09
327,33	2,50	327,17	3,00	327,03	3,50
327,03	2,08	326,87	2,50	326,74	2,91
326,70	1,67	326,55	2,00	326,43	2,33
326,34	1,25	326,20	1,50	326,09	1,75
325,93	0,83	325,80	1,00	325,70	1,16
325,41	0,41	325,30	0,50	325,20	0,58
324,49	0,00	324,40	0,00	324,33	0,00

V=2,0 [m/s]		V=2,25 [m/s]		V=2,5 [m/s]	
a	323,53	a	323,53	a	323,53
DH	65,96	DH	74,21	DH	82,45
L	381,20	L	387,90	L	394,00
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m
1151,22	234,70	1151,22	264,04	1151,22	293,38
1151,22	232,36	1151,22	261,40	1151,22	290,45
1151,22	230,01	1151,22	258,76	1151,22	287,51
1151,22	227,66	1151,22	256,12	1151,22	284,58
1151,22	225,32	1151,22	253,48	1151,22	281,64
1151,22	222,97	1151,22	250,84	1151,22	278,71
1151,22	220,62	1151,22	248,20	1151,22	275,78
1151,22	218,27	1151,22	245,56	1151,22	272,84
859,69	161,25	835,48	176,29	815,28	191,15
691,69	128,33	678,17	141,54	666,71	154,61
602,96	110,63	593,95	122,61	586,25	134,46
548,10	99,45	541,49	110,53	535,80	121,53
510,82	91,65	505,67	102,06	501,21	112,40
483,85	85,82	479,65	95,71	476,01	105,54
463,41	81,25	459,89	90,71	456,84	100,12
447,40	77,53	444,38	86,63	441,76	95,69
434,51	74,41	431,88	83,21	429,59	91,96

423,92	71,73	421,59	80,26	419,56	88,74
415,05	69,39	412,97	77,67	411,15	85,92
407,52	67,30	405,64	75,36	404,00	83,39
401,05	65,41	399,33	73,27	397,84	81,11
395,42	63,69	393,85	71,36	392,48	79,02
390,49	62,10	389,04	69,60	387,77	77,08
386,12	60,61	384,78	67,95	383,61	75,27
382,24	59,23	380,99	66,41	379,89	73,58
378,75	57,91	377,58	64,95	376,56	71,97
375,61	56,67	374,51	63,56	373,56	70,45
372,76	55,48	371,73	62,24	370,83	68,99
370,17	54,34	369,20	60,97	368,35	67,59
367,80	53,24	366,88	59,74	366,07	66,24
365,62	52,18	364,75	58,56	363,99	64,93
363,62	51,15	362,79	57,41	362,06	63,67
361,76	50,15	360,98	56,30	360,29	62,43
360,04	49,18	359,29	55,21	358,63	61,23
358,44	48,23	357,73	54,15	357,10	60,06
356,95	47,30	356,27	53,11	355,67	58,92
355,56	46,39	354,90	52,10	354,33	57,79
354,25	45,50	353,63	51,10	353,07	56,69
353,03	44,62	352,43	50,12	351,90	55,60
351,88	43,76	351,30	49,15	350,79	54,53
350,79	42,91	350,23	48,20	349,74	53,48
349,76	42,07	349,22	47,26	348,75	52,44
348,79	41,24	348,27	46,33	347,82	51,41
347,87	40,43	347,37	45,41	346,93	50,40
347,00	39,62	346,52	44,51	346,09	49,39
346,17	38,82	345,70	43,61	345,29	48,40
345,38	38,02	344,93	42,72	344,53	47,41
344,62	37,24	344,19	41,84	343,81	46,44
343,90	36,46	343,48	40,97	343,12	45,47
343,22	35,69	342,81	40,10	342,45	44,51
342,56	34,92	342,17	39,24	341,82	43,56
341,93	34,16	341,55	38,39	341,21	42,61
341,33	33,40	340,96	37,54	340,63	41,67
340,75	32,65	340,39	36,69	340,08	40,73
340,19	31,90	339,84	35,86	339,54	39,80
339,66	31,16	339,32	35,02	339,02	38,88
339,14	30,42	338,81	34,19	338,53	37,96
338,64	29,69	338,33	33,37	338,05	37,04
338,16	28,96	337,86	32,55	337,59	36,13
337,70	28,23	337,40	31,73	337,14	35,23
337,26	27,50	336,96	30,91	336,71	34,32
336,82	26,78	336,54	30,10	336,29	33,42
336,41	26,06	336,13	29,30	335,89	32,53
336,00	25,35	335,73	28,49	335,50	31,63

335,61	24,63	335,35	27,69	335,12	30,74
335,23	23,92	334,97	26,89	334,75	29,86
334,86	23,21	334,61	26,09	334,39	28,97
334,50	22,50	334,26	25,30	334,05	28,09
334,15	21,80	333,91	24,51	333,71	27,21
333,80	21,10	333,58	23,72	333,38	26,34
333,47	20,40	333,25	22,93	333,06	25,46
333,15	19,70	332,93	22,14	332,75	24,59
332,83	19,00	332,62	21,36	332,44	23,72
332,52	18,30	332,32	20,58	332,14	22,85
332,22	17,61	332,02	19,80	331,85	21,99
331,93	16,92	331,73	19,02	331,57	21,12
331,64	16,23	331,45	18,24	331,29	20,26
331,35	15,54	331,17	17,47	331,01	19,40
331,07	14,85	330,90	16,70	330,74	18,54
330,80	14,16	330,63	15,92	330,48	17,69
330,53	13,48	330,36	15,15	330,22	16,83
330,26	12,79	330,10	14,39	329,96	15,98
330,00	12,11	329,85	13,62	329,71	15,12
329,74	11,43	329,59	12,85	329,46	14,27
329,49	10,75	329,34	12,09	329,21	13,42
329,23	10,07	329,09	11,32	328,96	12,58
328,98	9,39	328,84	10,56	328,72	11,73
328,73	8,71	328,59	9,80	328,48	10,88
328,48	8,04	328,35	9,04	328,23	10,04
328,22	7,36	328,10	8,28	327,99	9,19
327,97	6,69	327,85	7,52	327,75	8,35
327,71	6,01	327,60	6,76	327,50	7,51
327,45	5,34	327,34	6,01	327,25	6,67
327,19	4,67	327,08	5,25	326,99	5,83
326,91	4,00	326,81	4,50	326,73	5,00
326,63	3,33	326,53	3,74	326,45	4,16
326,32	2,66	326,23	2,99	326,15	3,32
325,99	1,99	325,91	2,24	325,83	2,49
325,61	1,33	325,53	1,49	325,46	1,66
325,12	0,66	325,06	0,75	325,00	0,83
324,27	0,00	324,21	0,00	324,17	0,00

V=2,75 [m/s]		V=3,0 [m/s]	
a	323,53	a	323,53
DH	90,70	DH	98,94
L	399,60	L	404,78
a promedio m/s	DH Allievi m	a promedio m/s	DH Allievi m

1151,22	322,72	1151,22	352,06
1151,22	319,49	1151,22	348,53
1151,22	316,26	1151,22	345,01
1151,22	313,04	1151,22	341,49
1151,22	309,81	1151,22	337,97
1151,22	306,58	1151,22	334,45
1151,22	303,35	1151,22	330,93
1151,22	300,13	1151,22	327,41
798,09	205,83	783,21	220,35
656,81	167,55	648,15	180,37
579,55	146,22	573,65	157,89
530,84	132,44	526,44	143,28
497,31	122,68	493,84	132,90
472,82	115,31	469,98	125,04
454,16	109,49	451,76	118,81
439,45	104,71	437,39	113,69
427,57	100,68	425,77	109,37
417,77	97,20	416,17	105,63
409,54	94,14	408,11	102,34
402,54	91,40	401,24	99,39
396,51	88,92	395,32	96,72
391,26	86,65	390,17	94,26
386,65	84,54	385,64	91,99
382,56	82,58	381,63	89,86
378,92	80,73	378,05	87,87
375,65	78,98	374,84	85,97
372,70	77,31	371,94	84,17
370,03	75,72	369,31	82,45
367,59	74,19	366,91	80,79
365,36	72,72	364,72	79,19
363,31	71,29	362,70	77,64
361,42	69,91	360,84	76,14
359,67	68,56	359,12	74,68
358,05	67,25	357,53	73,25
356,54	65,97	356,04	71,86
355,13	64,71	354,65	70,50
353,82	63,48	353,36	69,16
352,58	62,27	352,14	67,84
351,43	61,08	351,00	66,55
350,34	59,91	349,93	65,28
349,31	58,75	348,92	64,02
348,34	57,61	347,96	62,78
347,42	56,49	347,05	61,56
346,54	55,37	346,20	60,35
345,72	54,27	345,38	59,15
344,93	53,18	344,61	57,96
344,18	52,10	343,87	56,79

343,47	51,03	343,16	55,62
342,79	49,97	342,49	54,46
342,14	48,91	341,85	53,32
341,51	47,87	341,24	52,18
340,92	46,83	340,65	51,05
340,34	45,80	340,09	49,92
339,80	44,77	339,54	48,80
339,27	43,75	339,02	47,69
338,76	42,73	338,52	46,59
338,27	41,72	338,04	45,49
337,80	40,72	337,58	44,39
337,34	39,72	337,13	43,30
336,91	38,72	336,70	42,22
336,48	37,73	336,28	41,13
336,07	36,74	335,87	40,06
335,67	35,76	335,48	38,99
335,29	34,78	335,10	37,92
334,92	33,80	334,73	36,85
334,55	32,82	334,38	35,79
334,20	31,85	334,03	34,73
333,86	30,88	333,69	33,68
333,53	29,92	333,36	32,62
333,20	28,96	333,04	31,57
332,89	28,00	332,73	30,53
332,58	27,04	332,43	29,48
332,28	26,08	332,13	28,44
331,98	25,13	331,84	27,40
331,70	24,18	331,56	26,36
331,42	23,23	331,28	25,33
331,14	22,28	331,01	24,29
330,87	21,33	330,74	23,26
330,61	20,39	330,48	22,23
330,34	19,45	330,22	21,21
330,09	18,51	329,97	20,18
329,84	17,57	329,72	19,16
329,59	16,63	329,48	18,14
329,34	15,69	329,23	17,12
329,09	14,76	328,99	16,10
328,85	13,83	328,75	15,08
328,61	12,90	328,52	14,06
328,37	11,97	328,28	13,05
328,13	11,04	328,04	12,04
327,89	10,11	327,81	11,03
327,65	9,18	327,57	10,02
327,41	8,26	327,33	9,01
327,16	7,34	327,08	8,00
326,91	6,41	326,83	7,00

326,65	5,49	326,58	5,99
326,37	4,57	326,31	4,99
326,08	3,66	326,02	3,99
325,77	2,74	325,71	2,99
325,40	1,82	325,35	1,99
324,94	0,91	324,89	0,99
324,12	0,00	324,09	0,00