

“Influencia de Parámetros físicos en el dimensionamiento de Sistema de aducción de agua potable debido a Transitorios Hidráulicos”

PLAN DE DISERTACIÓN

Postgrado en Ingeniería de Recursos Hídricos – Hidráulica y Mecánica de Fluidos

Ing. Amb. Ana Laura Zarza Reyes

Orientador

Dr. Marcelo G. Marques

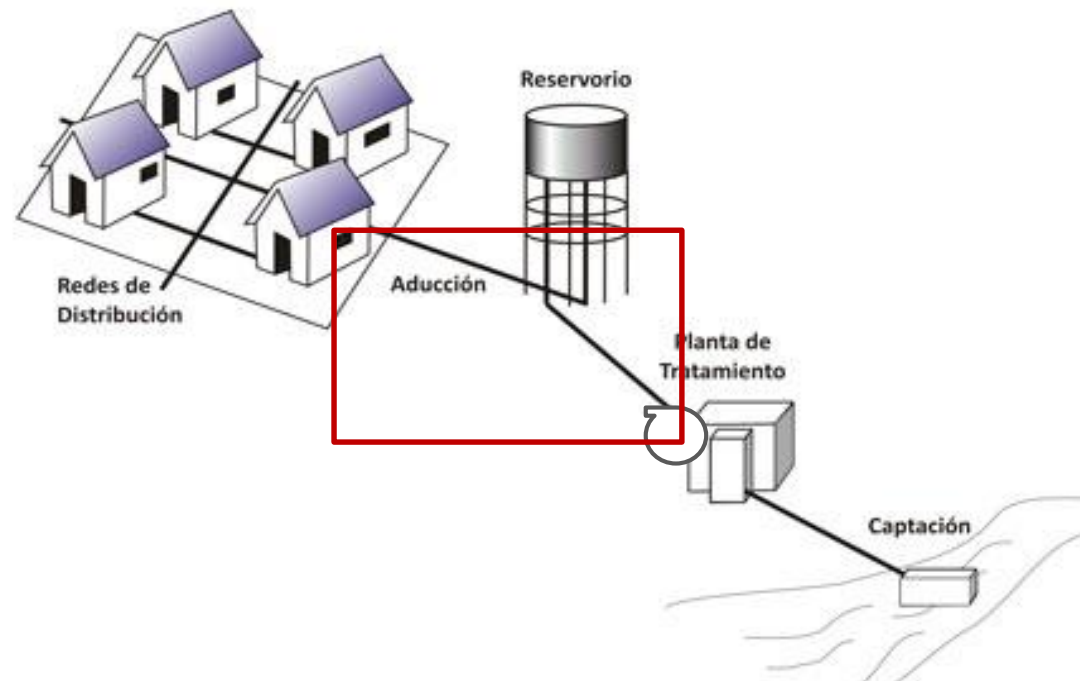
Co-orientador

Dr. Luiz Augusto Magalhães Endres

Diciembre - 2017

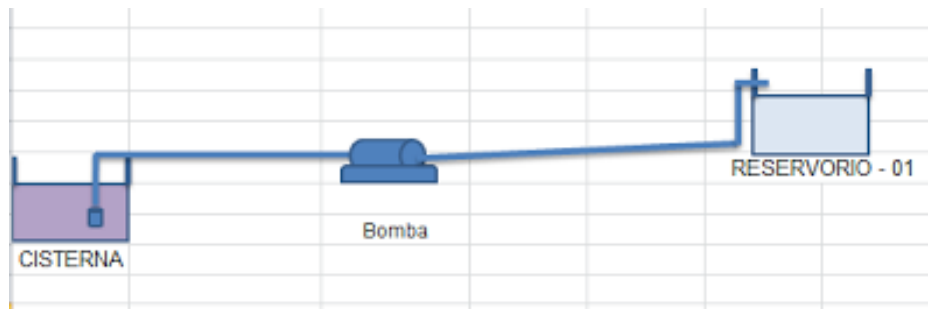
Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

Un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable consiste en el conjunto de obras necesarias para captar, tratar, almacenar, conducir y distribuir el agua desde fuentes naturales, ya sean subterráneas o superficiales, hasta las viviendas de los habitantes u otros usuarios, ya apta para su consumo.



Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

Uno de los procesos más delicados corresponde a la ADUCCION del agua, sobre todo si es por bombeo, considerando que se trata de infraestructuras con componentes de construcción civil y electromecánica que representan grandes inversiones económicas.



El desempeño hidráulico de las aductoras debe ser MONITOREADO DE FORMA PERIÓDICA

Transiente hidráulico o Golpe de ariete

Variaciones y permutaciones de energía cinética en energía de presión, y viceversa, provocando fluctuaciones de caudal y presión en el escurrimiento.

- Ligar/desligar bombas
- Abrir/cerrar válvulas
- Cambios de nivel de Reservoirio
- Rupturas en tubería



TRANSIENTE HIDRAULICO O GOLPE DE ARIETE



- Fluctuaciones de caudal y presión
- Cavitación
- Separación de la columna líquida
- Avería o ruptura de las instalaciones

**ESTUDIO DE
PRESIONES Y
VELOCIDADES**

Objetivo General

Evaluar la influencia de parámetros físicos de un sistema de aducción de agua potable sobre la oscilación de presión durante la ocurrencia de un transiente hidráulico (golpe de ariete) debido a parada brusca de bombeo, de manera a complementar criterios para proyectos de diseño.

Objetivos Específicos (Resumen)

- ➔ Determinar parámetros físicos a ser evaluados.
- ➔ Realizar simulaciones variando los diferentes parámetros físicos
- ➔ Aplicar metodologías simplificadas
- ➔ Analizar y comparar resultados
- ➔ Complementación de criterios técnicos de diseño habitualmente considerados en proyectos
- ➔ Validar los criterios

Temas Principales



Transientes hidráulicos en conductos cerrados.



Métodos de Resolución.



Programas para simulación de transiente.



Influencia de parámetros físicos de diseño de aductoras durante el golpe de ariete.



Guías de Diseño para Sistemas de Impulsión de Agua Potable.

Transientes hidráulicos en conductos cerrados

Fenómenos que ocurren cuando las ***condiciones de flujo permanente de un fluido confinado (velocidad) son perturbadas bruscamente***, produciéndose finalmente fluctuaciones en la presión del sistema.



El comportamiento oscilatorio de la presión a causa de las perturbaciones en el flujo puede describirse como una ***sucesión alternada de picos de presión, positivos y negativos (ondas de sobrepresión y depresión)***.



GOLPE DE ARIETE

Transientes hidráulicos en conductos cerrados

Ecuaciones Básicas de Transiente

Celeridad de la onda

Tubería no deformable

$$c = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}$$

Donde:

ε : módulo de compresibilidad del fluido,

ρ la densidad del fluido,

D : Diámetro de la tubería;

e : Espesor de la tubería;

E : Módulo de Elasticidad del material;

β : Coeficiente que considera efectos de inicio entre tuberías y puede ser tomado con valor 1 en el caso de tratarse de una única tubería.

Tubería "elástica"

$$c = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \beta * \frac{\varepsilon * D}{E * e}}}$$

Transientes hidráulicos en conductos cerrados

Ecuaciones Fundamentales

Ecuación de Continuidad

$$\frac{\partial p}{\partial t} + V * \frac{\partial p}{\partial x} + \rho * c^2 * \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

Ecuación de Momento

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V * \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{\rho} * \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{f * V * |V|}{2 * D} = 0$$

CONSIDERACIONES

- El fluido es levemente compresible;
- El conducto posee paredes linealmente elásticas;
- El flujo es unidimensional. Y la presión p al final del volumen de control es uniforme;
- La velocidad radial, debido a expansiones o contracciones, es muy pequeña y por lo tanto despreciable. Sin embargo, otros efectos de la expansión y contracción son considerados;
- La distancia x , la velocidad V , y la descarga Q son considerados positivos en la dirección del flujo;
- las pérdidas de carga para una determinada velocidad de flujo durante un evento transitorio son las mismas que aquellas verificadas para un escurrimiento permanente.

Métodos de Resolución

Condiciones de Contorno

Al imponerse *condiciones para el instante inicial del periodo de tiempo objeto de estudio y límites del dominio considerado*, se consigue obtener soluciones particulares al sistema de ecuación planteado por las ecuaciones

Métodos Simplificados

Ecuación de Michaud

$$\Delta H = \frac{2 * L * V}{g * T}$$

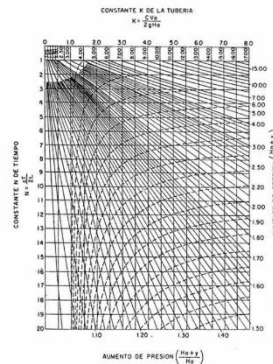
Ecuación de Joukowsky

$$\Delta p = -\rho c \Delta V$$

Método gráfico de Parmakian

Métodos gráfico de Allievi

Métodos numérico de Allievi



Métodos Numéricos

Método de Diferencias Finitas

Método de Elementos Finitos

Método de Características

Otros

Programas para Resolución de Transiente

- Gran cantidad de programas computacionales para el análisis del fenómeno de golpe de ariete;
- Útiles para definir sistemas de protección para las instalaciones;
- Basados en alguno de los métodos numéricos descritos anteriormente;
- Cada programa posee funciones y herramientas diferentes dependiendo del público para quien fue desarrollado.

PIPENET

Método de Características

HAMMER

Método de Características

ALLIEVI

Método de Características

HYTRAN

Método de Características.

HYPRESS

Método de Diferencias Finitas.

WANDA

Método de Características

FLOWMASTER

Método de Características

SURGE2000

Método de Características

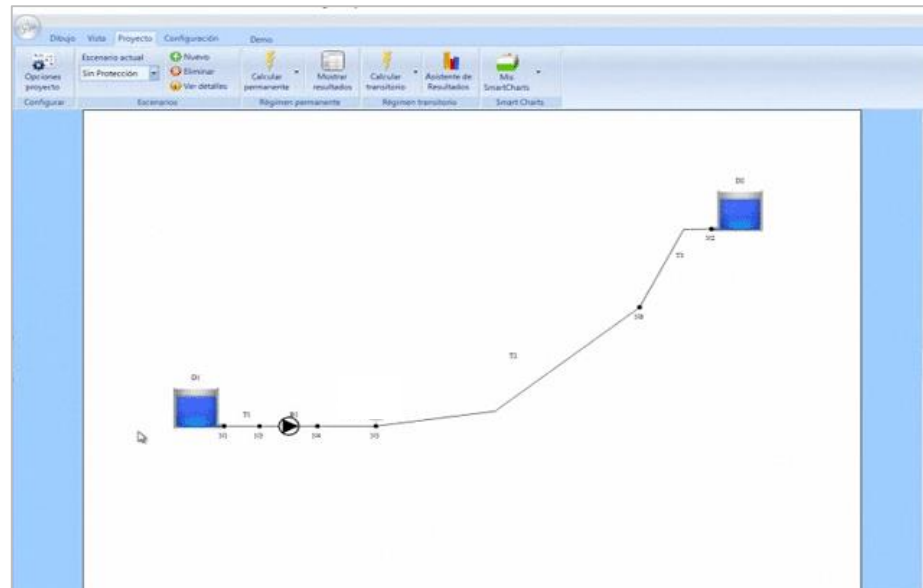
WHAMO

Método de Diferencias Finitas

Programas para Resolución de Transiente

ALLIEVI

- Paquete informático desarrollado por técnicos y profesionales de la Universidad Politécnica de Valencia
- Permite importar redes de Epanet y AutoCAD, siendo de licencia gratuita.



Influencia de parámetros físicos de Diseño

INVESTIGACIONES EN EL AREA...

Diámetro interno

Provenzano, P.G. (2015).
Influence of Pipe-Diameter on
Water Hammer Phenomenon.
Journal of Mechanics
Engineering and Automation, 5,
(370-376).



Los resultados muestran una **relación no lineal entre el primer pico de sobrepresión, el más crítico, y el diámetro interno de la tubería**. Ésta es una relación exponencial decreciente que se puede expresar por la fórmula $y = 63,98^{-0,0038x}$.

Material

Provenzano, P.G. Influencia del Material
de la Conducción en el Desarrollo del
Golpe de Ariete. Mecánica Computacional
Vol. XXXII. Asociación Argentina de
mecánica Computacional, Mendoza,
Argentina, 2013. (1347-1361).



Se observan oscilaciones más moderadas de presión cuando el módulo de Young del material presenta valores menores (materiales de tipo poliméricos). **Se observa que el primer pico de presión para una tubería de aluminio es del orden de tres veces respecto al primer pico de presión para una tubería de polietileno.**

Guías de Diseño para Sistemas de Impulsión de Agua Potable

- Guía de Diseño para Líneas de conducción e impulsión de Sistemas de abastecimiento de agua rural (OPS/CEPIS, 2004)
- Bombas e Instalações de Bombeamento (Macyntire, 1997)



CRITERIOS TÉCNICOS GENERALES Y DE DISEÑO

- Estimación del Caudal de Diseño;
- Selección de Diámetro;
- Rango de Velocidades;
- Selección de tubería;
- Estimación de la altura dinámica total;
- Cálculo de Golpe de Ariete

INTRODUCCIÓN	OBJETIVOS	REVISION BIBLIOGRÁFICA	METODOLOGÍA	CRONOGRAMA	RESULTADOS ESPERADOS
--------------	-----------	------------------------	--------------------	------------	----------------------

Metodología de Trabajo

1ra Parte – Definición de parámetros de estudio

2da Parte – Simulación y Análisis de resultados

3ra Parte – Definición de Criterios técnicos de Diseño

4ta Parte – Estudio de Caso

Metodología de Trabajo

1ra Parte – Definición de parámetros de estudio

Objetivo	Producto	Metodología
Determinación de parámetros físicos a ser analizados.	Parámetros físicos a evaluar	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica acerca de: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Parámetros físicos y su influencia en la ocurrencia de golpe de ariete en sistemas de aducción;</i> - <i>Guías de diseño para líneas de aducción de agua potable.</i> • Definición de parámetros de estudio y sus variaciones.
Definición de esquema de aducción para modelación hidráulica.	Esquema de aducción para simulaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de esquemas de aducción proyectados y/o instalados en Sistemas de Distribución de Agua Potable en el medio. • Definición y descripción de esquema de aducción para simulaciones.

INTRODUCCIÓN	OBJETIVOS	REVISION BIBLIOGRÁFICA	METODOLOGÍA	CRONOGRAMA	RESULTADOS ESPERADOS
--------------	-----------	------------------------	-------------	------------	----------------------

Metodología de Trabajo - 1ra Parte

Determinación de parámetros físicos a ser analizados.

Se establecen como parámetros físicos a analizar:

- **Diámetro** de la aductora de agua potable (D);
- **Velocidad** de flujo de agua en la aductora (V);
- **Desnivel geométricos** (H);
- **Relación entre Longitud de aductora y Densidad geométrica** (L/H);
- **Material**;

De forma a obtener resultados representativos, se definen el número de variaciones de cada parámetro como sigue:

- 3 Diámetros (300 mm, 400 mm, 500 mm);
- 1 velocidad (1,2 m/s);
- 2 AMT (50 m e 100 m);
- 4 Relaciones L/H (15; 18,5; 25; 30), lo que supone Longitudes de aductora de 925, 1250, 1500, 1850 Y 2500 m, considerando únicamente 3 Relaciones en cada AMT;
- 1 Material (HF).

Así, se tendrían **18 simulaciones** ($3*1*2*3*1 = 18$).

Metodología de Trabajo - 1ra Parte

Determinación de parámetros físicos a ser analizados.

Definición de esquema de aducción para modelación hidráulica.

- Esquema hidráulico simple a desnivel. Dos esquemas diferentes (A y B) para lograr caudales deseados
- El bombeo será realizado **por un solo conjunto bomba-motor**, con los accesorios estándares para estaciones de bombeo pero **sin válvulas u otros sistemas de protección anti-ariete**.
- **Bomba del tipo centrifuga no ahogada.**

The screenshot displays a hydraulic modeling software interface. The top menu bar includes 'Dibujo', 'Vista', 'Proyecto', and 'Configuración'. The toolbar contains various icons for selection, basic operations, reservoirs, retention, valves, protection, and layout. The main workspace shows a schematic of a pump station with two reservoirs (D1 and D2) connected by a pipe (T1) to a pump (M1). The bottom panel shows a data table for the pump station.

Estación de bombeo - Datos básicos					Instalación				Rotación			Parada/Arranque						
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	Inicial	Inst. par.	Nuevo arr	Inst. arr.	Duración	Nueva par	Inst. par.
B1	N2	N3	0	1	Por puntos	No	SI	No	1750	1750	5,3	Calc.	En marc	No				

Metodología de Trabajo

2da Parte – Simulación y Análisis de resultados

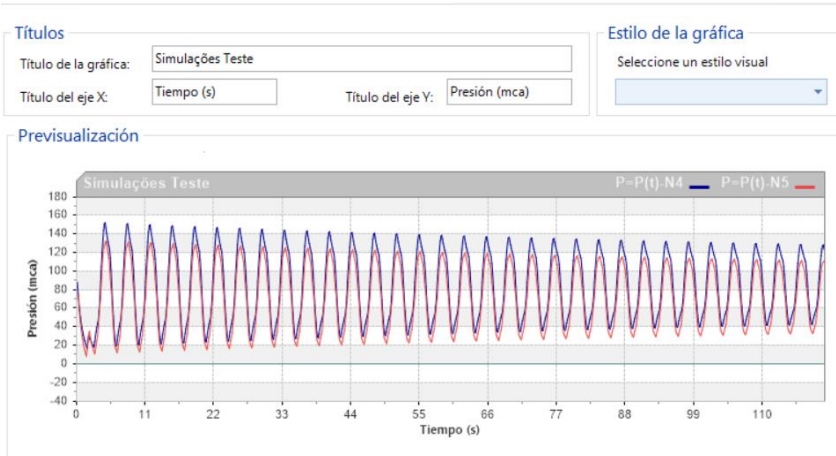
Objetivo	Producto	Metodología
Realización de simulaciones de transiente variando los diferentes parámetros físicos escogidos, sin dispositivos de protección.	Modelos hidráulicos verificados	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de modelo en ALLIEVI. • Simulación de escenarios diferenciados en régimen permanente. • Simulación de escenarios diferenciados en régimen transiente. • Verificación y anotación de resultados de simulación (variación de presión durante transiente hidráulico).
Análisis de sensibilidad de resultados obtenidos de simulaciones.	Tablas y gráficos explicativos. Relaciones matemáticas. Grafico de envolventes.	<ul style="list-style-type: none"> • Cruce y ordenamiento de resultados de simulaciones • Elaboración de gráficos y tablas indicativas para parámetros estudiados • Esbozo de conclusiones técnicas de acuerdo a resultados obtenidos.
Comparación de resultados de simulaciones (conclusiones) con resultados de metodología simplificada aplicada.	Tablas explicativas y gráficos explicativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica acerca de: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Metodologías simplificadas de cálculo para transientes hidráulicos.</i> • Selección de metodología simplificada para aplicación al cálculo de transiente según esquema de aducción definido. • Aplicación de metodología simplificada seleccionada. • Cruce y ordenamiento de resultados. • Elaboración de tablas explicativas.

INTRODUCCIÓN	OBJETIVOS	REVISION BIBLIOGRÁFICA	METODOLOGÍA	CRONOGRAMA	RESULTADOS ESPERADOS
--------------	-----------	------------------------	-------------	------------	----------------------

Metodología de Trabajo - 2da Parte

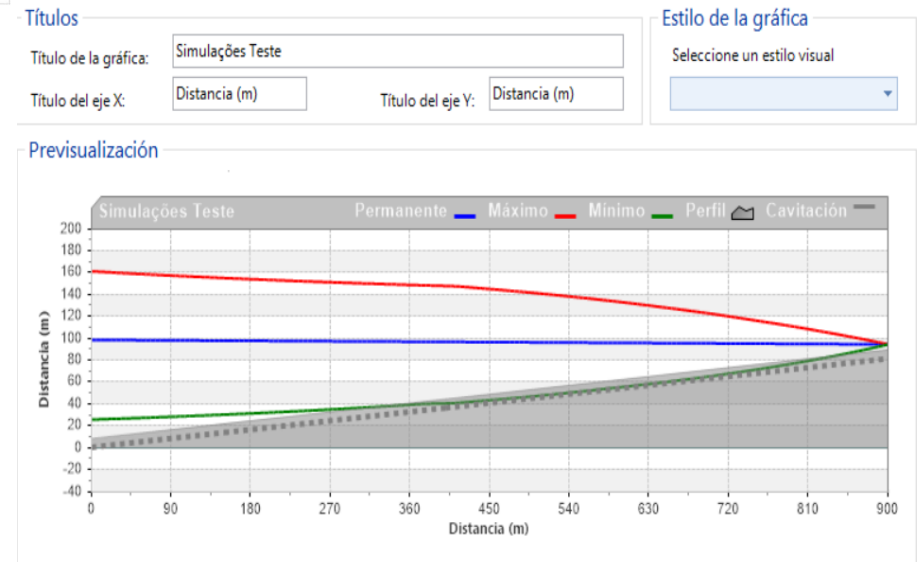
Sistema	Material	Espesor de la pared (mm)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)	Velocidad (m/s)	Caudal	Longitud de tubería (m)	AMT (m)	Relación (L/H)
1.1.A	H°F°	4,6	300	300	326	1,2	84,82	925	50	18,5
1.2.A	H°F°	4,6	300	300	326	1,2	84,82	1250	50	25
1.3.A	H°F°	4,6	300	300	326	1,2	84,82	1500	50	30
2.1.A	H°F°	4,8	400	400	429	1,2	150,79	925	50	18,5
2.2.A	H°F°	4,8	400	400	429	1,2	150,79	1250	50	25
2.3.A	H°F°	4,8	400	400	429	1,2	150,79	1500	50	30
3.1.A	H°F°	5,6	500	500	532	1,2	235,61	925	50	18,5
3.2.A	H°F°	5,6	500	500	532	1,2	235,61	1250	50	25
3.3.A	H°F°	5,6	500	500	532	1,2	235,61	1500	50	30
1.1.B	H°F°	4,6	300	300	326	1,2	84,82	1500	100	15
1.2.B	H°F°	4,6	300	300	326	1,2	84,82	1850	100	18,5
1.3.B	H°F°	4,6	300	300	326	1,2	84,82	2500	100	25
2.1.B	H°F°	4,8	400	400	429	1,2	150,79	1500	100	15
2.2.B	H°F°	4,8	400	400	429	1,2	150,79	1850	100	18,5
2.3.B	H°F°	4,8	400	400	429	1,2	150,79	2500	100	25
3.1.B	H°F°	5,6	500	500	532	1,2	235,61	1500	100	15
3.2.B	H°F°	5,6	500	500	532	1,2	235,61	1850	100	18,5
3.3.B	H°F°	5,6	500	500	532	1,2	235,61	2500	100	25

Metodología de Trabajo - 2da Parte



Ejemplo de gráficos de variación en el tiempo

Ejemplo de grafico extremos (envoltorias)



Metodología de Trabajo

3ra Parte – Complementación de Criterios técnicos de Diseño

Objetivo	Producto	Metodología
Complementación de criterios técnicos para dimensionamiento de sistemas de aducción de agua potable considerando la ocurrencia de transientes.	Criterios técnicos complementados con gráficos de relación ajustados	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión extensiva de tablas y gráficos elaborados. • Revisión bibliográfica acerca de: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Guías de diseño para líneas de aducción de agua potable.</i> • Complementación de criterios técnicos de dimensionamiento de sistemas de aducción de agua potable con conclusiones técnicas de simulaciones de transiente

4ta Parte – Estudio de Caso

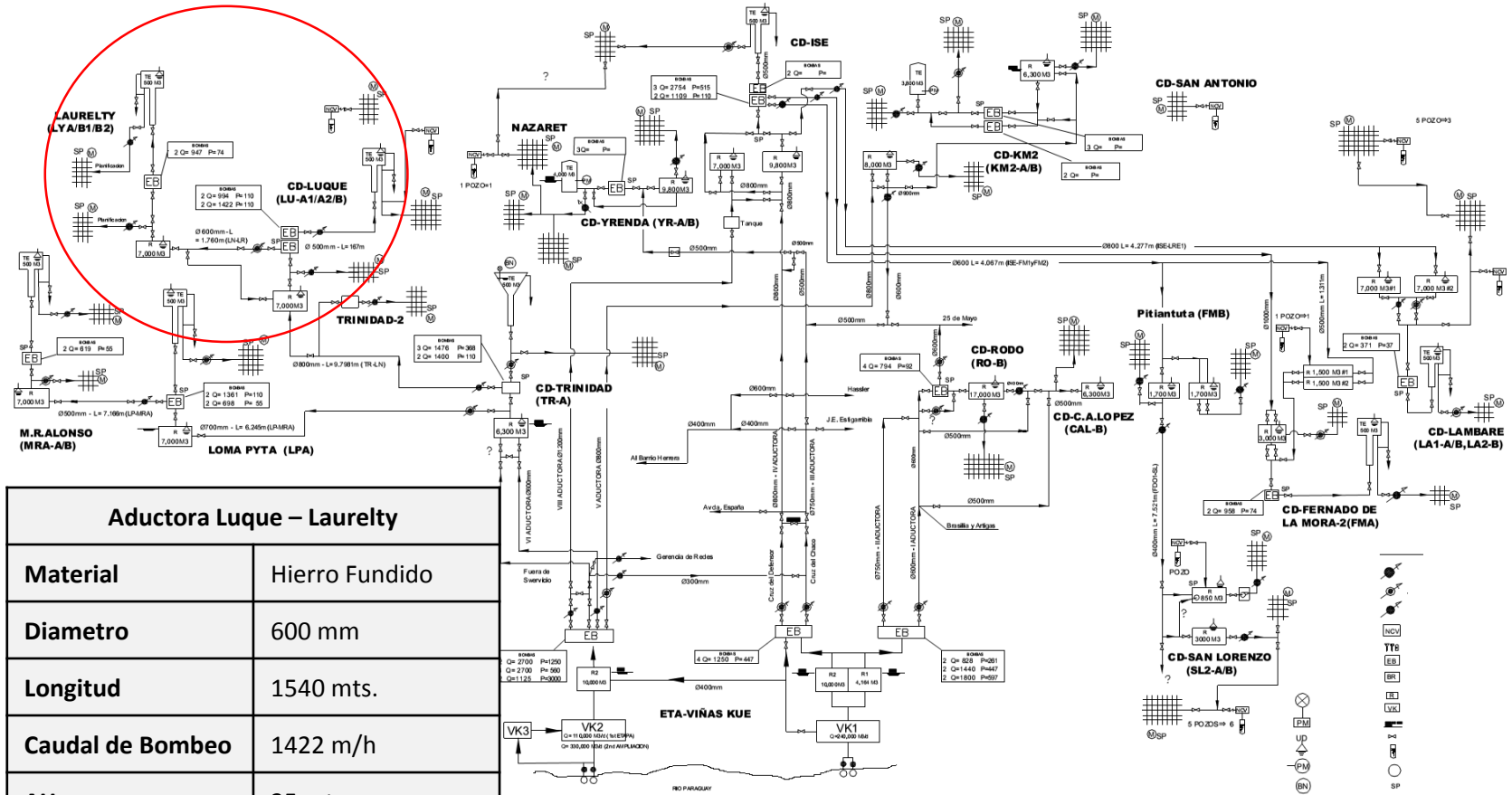
Objetivo	Producto	Metodología
Validación técnica de criterios.	Criterios validados técnicamente	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de un caso de estudio. • Realización de simulaciones atendiendo criterios definidos y complementados. • Ajuste de criterios

Metodología de Trabajo - 4ta Parte



R-11: 2014-9-11

SISTEMA DE AGUA POTABLE AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE ASUNCION



Aductora Luque – Laurelty	
Material	Hierro Fundido
Diametro	600 mm
Longitud	1540 mts.
Caudal de Bombeo	1422 m ³ /h
ΔH	25 mts

BOMBAS
#cent, Q en m³/h-P en W

Resultados Esperados

Exemplo de envoltorio de extremos. (Tassinari, 2017)

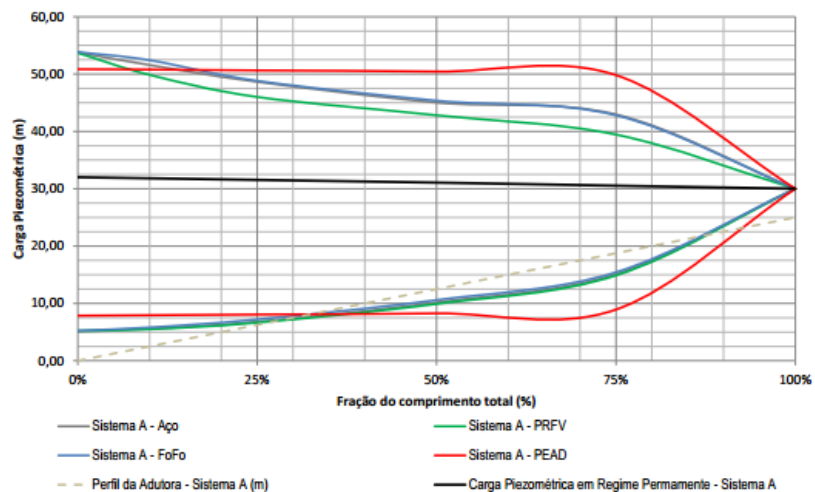


Figura 5.5. Resultados das simulações diagnósticas para o Sistema A: Envoltórias de extremos de carga piezométrica ao longo da adutora obtidas nas simulações em regime transiente para diferentes materiais

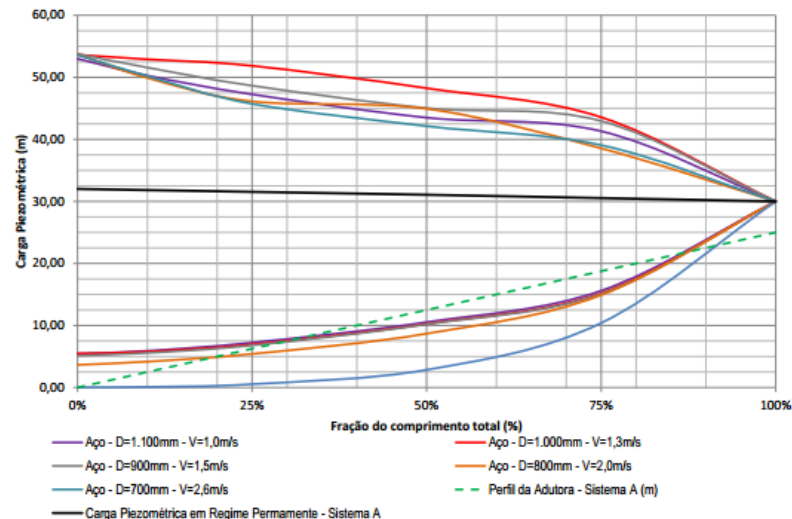


Figura 5.9. Resultados das simulações de análise de sensibilidade quanto à velocidade do escoamento para o Sistema A: Envoltórias de extremos de carga piezométrica ao longo da adutora obtidas nas simulações em regime transiente para diferentes diâmetros de adutora

Análisis de Sensibilidad

Resultados Esperados

Ejemplo de gráficos de relación (Ajuste). (Tassinari, 2017)

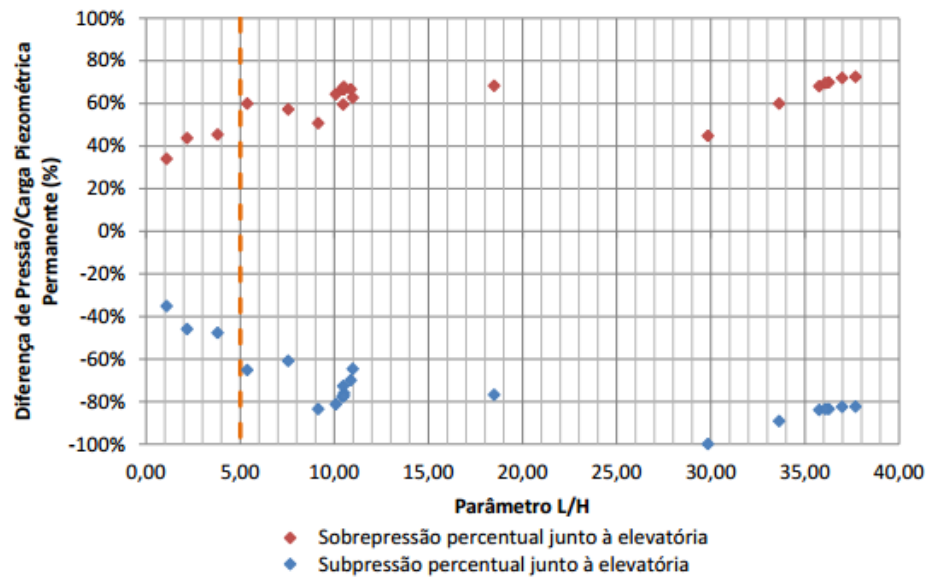


Figura 5.17. Relação entre o parâmetro L/H e as pressões extremas na seção da adutora junto à elevatória

Resultados Esperados

La presentación de la Disertación se encuentra programada para las primeras semanas del mes de mayo de 2018.

Beneficios

El principal beneficio del presente estudio se dará en los **criterios técnicos de diseño habitualmente utilizados en el medio, que podrán ser complementados** de manera a que la selección de un factor se base además en el conocimiento de las implicancias del fenómeno transitorios, **buscando la menor afectación de la infraestructura y menores costos de implementación de sistemas de aducción de agua potable.**

INTRODUCCIÓN	OBJETIVOS	REVISION BIBLIOGRÁFICA	METODOLOGÍA	CRONOGRAMA	RESULTADOS ESPERADOS
--------------	-----------	---------------------------	-------------	------------	-------------------------

Muchas Gracias!