



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DESDE LA
PLANTA "LA ESPERANZA" HASTA EL TANQUE "EL VERGEL"

SARITAMA SARITAMA CARMEN VALERIA
INGENIERA CIVIL

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DESDE LA
PLANTA "LA ESPERANZA" HASTA EL TANQUE "EL VERGEL"

SARITAMA SARITAMA CARMEN VALERIA
INGENIERA CIVIL

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DESDE LA PLANTA "LA
ESPERANZA" HASTA EL TANQUE "EL VERGEL"

SARITAMA SARITAMA CARMEN VALERIA
INGENIERA CIVIL

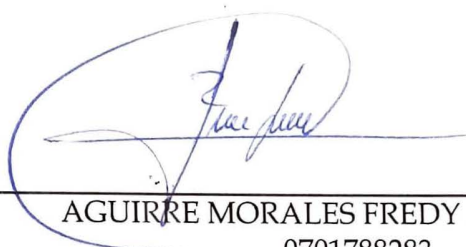
AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

MACHALA, 19 DE FEBRERO DE 2020

MACHALA
19 de febrero de 2020

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DESDE LA PLANTA "LA ESPERANZA" HASTA EL TANQUE "EL VERGEL", hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

0701788283

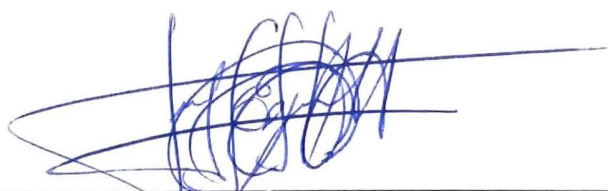
TUTOR - ESPECIALISTA 1



CARRILLO LANDIN ANGEL ANTONIO

0701210668

ESPECIALISTA 2



ESPINOZA URGILES FREDY LEONARDO

0301365516

ESPECIALISTA 3

Fecha de impresión: miércoles 19 de febrero de 2020 - 15:56

ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DESDE LA PLANTA "LA ESPERANZA" HASTA EL TANQUE "EL VERGEL"

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

< 1%

★ Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote

Trabajo del estudiante

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, SARITAMA SARITAMA CARMEN VALERIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DESDE LA PLANTA "LA ESPERANZA" HASTA EL TANQUE "EL VERGEL", otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 19 de febrero de 2020



SARITAMA SARITAMA CARMEN VALERIA
0705516383

RESUMEN

El acceso al agua potable es un derecho universal, aunque en la actualidad no todos tienen acceso a ella. En la ciudad de Machala este servicio es permanentemente interrumpido debido a las múltiples averías que se producen en el sistema de tuberías que conducen y distribuyen el agua potable.

El agua potable que consumen los ciudadanos de Machala proviene de dos fuentes: del río Casacay (superficial) y de 15 pozos profundos (subterránea). El sistema regional de agua potable aporta aproximadamente el 35% del total de agua que llega a los diversos sectores de la ciudad.

La línea de conducción, desde la planta potabilizadora La Esperanza hasta el tanque El Vergel es el objeto de análisis en cuanto a la presión ocasionadas por el flujo del agua a través de las tuberías, los factores abordados son: el cálculo de las pérdidas por fricción, pérdidas menores y la estimación de sobrepresiones por el golpe de ariete.

Obteniendo como resultado que los daños y averías que se han suscitado en los últimos años es debido a las sobrepresiones que ocurren entre la abscisa 4+900 a la 5+604 a causa de la manipulación de la válvula de mariposa ubicada a 3743 m desde la planta potabilizadora. Además, se aborda la relación que existe entre las fibras de amianto presentes en los conductos de asbesto cemento con la generación de enfermedades en las personas que consumen agua transportada por estos conductos.

Palabras clave: tuberías, pérdida de energía, presión, asbesto cemento, golpe de ariete.

ABSTRACT

Access to drinking water is a universal right, although not everyone now has access to it. In the city of Machala this service is permanently interrupted due to the multiple failures that occur in the system of pipes that lead and distribute drinking water.

The drinking water consumed by the citizens of Machala comes from two sources: the Casacay river (surface) and 15 deep wells (underground). The regional drinking water system provides approximately 35% of the total water that reaches the various sectors of the city.

The conduction line, from the La Esperanza water treatment plant to the El Vergel tank, is the object of analysis regarding the pressure caused by the flow of water through the pipes, the factors addressed are: the calculation of friction losses, minor losses and the estimation of overpressures due to water hammer.

Obtaining as a result that the damages and failures that have occurred in recent years are due to overpressures that occur between the abscissa 4 + 900 to 5 + 604 due to the manipulation of the butterfly valve located 3743 m from the water treatment plant. In addition, the relationship between asbestos fibers present in asbestos cement ducts with the generation of diseases in people who consume water transported by these ducts is addressed.

Keywords: pipes, loss of energy, pressure, asbestos cement, water hammer.

CONTENIDO

CUBIERTA

PORTADA

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

REPORTE DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA

RESUMEN VI

ABSTRACT.....VII

CONTENIDO VIII

LISTA DE TABLAS X

LISTA DE FIGURAS..... X

LISTA DE ANEXOS..... X

INTRODUCCIÓN 1

DESARROLLO 2

1. Antecedentes 2

2. Funcionamiento del sistema regional de agua potable..... 3

2.1 Fuente de abastecimiento (captación) y sistema de conducción..... 3

2.2 Planta de Potabilización “La Esperanza”..... 4

2.3 Sistema de conducción de agua potable 6

2.4 Tanque de almacenamiento El Vergel 6

3. Análisis de la conducción desde la planta potabilizadora La Esperanza hasta el tanque de reserva El Vergel. 7

3.1 Descripción 7

3.2 Condiciones de análisis..... 7

3.3 Requerimientos 8

4. Metodología 8

4.1 Cálculo de pérdidas de energía 8

Pérdidas por fricción	9
Pérdidas locales por accesorios	9
4.2 Golpe de Ariete	11
4.3 Análisis descriptivo de la tubería existente.....	13
CONCLUSIONES	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
ANEXOS	18

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Captación del Sistema Regional del río Casacay	2
TABLA 2. Fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad de Machala.....	2
TABLA 3. Caudal de agua correspondiente al cantón El Guabo	5
TABLA 4. Caudal de agua correspondiente al cantón Pasaje	6
TABLA 5. Resumen de las características de las tuberías existentes.....	8
TABLA 6. Coeficiente C para estimar las pérdidas por fricción.....	9
TABLA 7. Coeficiente K para estimar las pérdidas menores.....	10
TABLA 8. Accesorios que generan cambios por golpe de ariete.....	11
TABLA 9. Coeficiente de K para calcular la celeridad de onda	12
TABLA 10. Características de las tuberías.....	12
TABLA 11. Resumen de las averías desde la PPLE al tanque El Vergel	14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema regional de agua potable	3
Figura 2. Captación en el río Casacay	4
Figura 3. Ubicación de la planta potabilizadora La Esperanza.....	5
Figura 4. Ubicación del tanque El Vergel.....	7

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cálculo de pérdidas y presiones	18
Anexo B. Cálculo del golpe de ariete	22
Anexo C. Perfil de terreno y línea piezométrica.....	25
Anexo D. Detalle de sobrepresión por golpe de ariete.	26

INTRODUCCIÓN

El agua es un líquido vital para la existencia de todo ser vivo sea este: animal, vegetal o los seres humanos y el acceso a la misma aumenta la esperanza de vida. Un agua apta para el consumo humano es aquella que está libre de contaminantes que puedan afectar la salud, por ello es necesario el control y regularización de todas las obras de ingeniería presentes desde la captación del recurso hasta que el agua es suministrada a los consumidores [1].

La dotación del agua potable con total regularidad, asegura una estabilidad y desarrollo de los pueblos, por ende las autoridades al mando deben generar múltiples estudios y proyectos direccionados a garantizar la provisión de la misma y el costo de este servicio debe ser cubierto por los usuarios y el gobierno [2].

La empresa Aguas Machala E. P. es la responsable de proveer el agua potable a la ciudad de Machala, a pesar de contar con dos fuentes principales para la captación de agua cruda como son la del río Casacay y de los 15 pozos profundos, esta necesidad básica no se cumple en su totalidad para todos los habitantes.

Un sistema de distribución de agua consiste en una serie de elementos conectados que transportan agua desde las fuentes hasta los clientes [3]. El sistema de distribución de agua potable proveniente de la cuenca del río Casacay está determinada por tres tramos principales como son: captación- planta potabilizadora La Esperanza (PPLE), PPLE- tanque de reserva El Vergel y la línea de conducción desde el tanque El Vergel hasta unirse con la línea de distribución de la ciudad de Machala.

El objetivo de este proyecto es analizar el tramo dos que va desde la PPLE hasta el tanque El Vergel, en cuanto a la verificación de presiones, golpe de ariete y las características cualitativas de la tubería, para así determinar el estado en el que se encuentra.

El análisis se lo realizó en hojas de cálculo de Excel Microsoft 2013 y se utilizó EPANET 2.0 para la comprobación de los resultados ya que este programa proporciona un entorno amigable para la edición de los datos de entrada de la red, realiza simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, y muestra los resultados en mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isolíneas [4].

DESARROLLO

1. Antecedentes

La fuente hídrica de estudio en la presente investigación es la del sistema Casacay- La Esperanza- El Vergel que conforma la denominada captación del Sistema Regional del río Casacay, la cual tiene permitido por la Secretaria General del Agua (SENAGUA), una captación de 850 l/s de agua cruda, la cual no es destinada en su totalidad para el cantón Machala, sino también para el cantón Pasaje y El Guabo, como se describe a continuación.

TABLA 1. Captación del Sistema Regional del río Casacay

Cantón	Caudal (l/s)
Machala	450
Pasaje	225
El Guabo	175
Total	850

Fuente: Aguas Machala EP

La siguiente tabla muestra la producción total y la disponible de agua para la ciudad de Machala según la fuente de abastecimiento.

TABLA 2. Fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad de Machala

N°	Sistema	Fuente	Producción Total		Producción disponible para Machala	
			l/s	m ³ /d	l/s	m ³ /d
1	Casacay- La Esperanza- El Vergel	Superficial, río Casacay	850	73440	450	38880
2	8 pozos profundos (Aguas y servicios de El Oro)	Subterránea	450	38880	450	38880
3	7 pozos profundos (Municipalidad)	Subterránea	400	34560	400	34560
Total			1700	146880	1300	112320

Fuente: Aguas Machala EP

Según datos estadísticos del INEC la población en año 2010 es de 245972 habitantes en el cantón Machala y con ello se estima la población futura de 279609 habitantes en el presente año y de acuerdo a los datos obtenidos la producción de agua disponible es 1300 l/s sin considerar las pérdidas de caudal sean estas por fugas o conexiones clandestinas, lo que da como resultado una dotación bruta per-cápita de 401,70 lpps (litros por persona por día), que sería suficiente para satisfacer la demanda de agua en su totalidad.

2. Funcionamiento del sistema regional de agua potable

Este proyecto fue construido entre los años 1983 y 1988, y operativamente en servicio en el año 1990. Las distintas obras civiles del sistema regional que dota agua potable a Machala se ubican en Pasaje, la captación y la planta potabilizadora y en El Guabo, el tanque de reserva El Vergel.

Figura 1. Sistema regional de agua potable



Elaborada: Autor

2.1 Fuente de abastecimiento (captación) y sistema de conducción.

La captación está ubicada transversalmente en el lecho del río Casacay a 151,40 msnm en las coordenadas N9631079,02 - E643787,76.

Figura 2. Captación en el río Casacay



La captación en el río Casacay se una a la PPLE mediante tuberías de asbesto cemento cuya longitud es 7,40 km, con diámetros que van desde 900 mm hasta los 800 mm.

La captación de agua cruda en la fuente es de 850 l/s y debido al mal estado de la tubería y conexiones clandestinas que existen a los largo de la conducción, se presenta un coeficiente de pérdida de caudal de 8% determinado mediante lecturas en los macro-medidores existentes, por ende el caudal de llegada a la PPLE es de 782 l/s.

2.2 Planta de Potabilización “La Esperanza”

Ubicada en la parroquia El Progreso del cantón Pasaje, el sitio se encuentra en la parte sureste de la ciudad de Machala aproximadamente a 20,18 Km del sector El Cambio, emplazada a 120 msnm. Esta planta es del tipo convencional por gravedad en su mayor parte, con los procesos de: mezcla rápida, floculación hidráulica, sedimentación convencional, filtración y cloración; y su capacidad nominal de diseño es de 1000 l/s.

Figura 3. Ubicación de la planta potabilizadora La Esperanza



Fuente: Google Maps

50 m

Antes del ingreso a la PPLE hay un derivación a manera de cajón repartidor al que se une la tubería de poliéster reforzada con fibra de vidrio (PRFV) de 500 mm de diámetro que conduce 60 l/s de agua cruda a la planta de tratamiento El Vergel del cantón El Guabo y los 115 l/s que restan de la concesión de agua de este cantón, es otorgada a los sectores que se encuentran aledaños de la línea de conducción, después del tanque El Vergel.

TABLA 3. Caudal de agua correspondiente al cantón El Guabo

Sector	Tipo de Agua	Caudal (l/s)
PPLE	cruda	60
El Guabo	potable	70
Tillales	potable	30
Las Malvinas	potable	5
La Iberia	potable	10
Total		175

Fuente: Aguas Machala EP

En la actualidad en promedio la planta potabilizadora trata únicamente 722 l/s que se almacenan en un tanque de 2500 m³ de capacidad contiguo a la planta, para luego ser conducida hacia el tanque de reserva El Vergel.

2.3 Sistema de conducción de agua potable

La red de conducción está integrada por 7609 m de tubería de asbesto cemento con más de 20 años de operación y 784 m de hierro dúctil relativamente nuevo, con diámetros que varían desde los 700 hasta los 800 mm, y longitud total desde la PPLE hasta el tanque de reserva El Vergel es de 8,393 km.

Desde el tanque de reserva existente en PPLE sale un caudal de agua tratada de 722 l/s, al iniciar la conducción se distribuye 205 l/s por una válvula de compuerta hacia el cantón Pasaje y a lo largo de conducción se reduce 20 l/s del caudal debido a las tomas de agua potable para otros dos sectores del mismo cantón.

TABLA 4. Caudal de agua correspondiente al cantón Pasaje

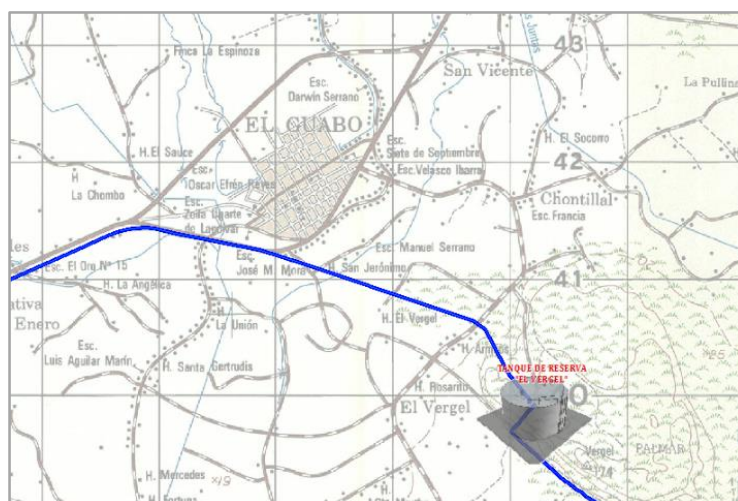
Sector	Tipo de Agua	Caudal l/s
Pasaje	potable	205
El Progreso	potable	10
Rosa de Oro	potable	5
Caña Quemada	potable	5
Total		225

Fuente: Aguas Machala EP

2.4 Tanque de almacenamiento El Vergel

Este tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 10000 m³, compuesto por dos cámaras rectangulares de 5000 m³ cada una. Dicho tanque se encuentra ubicado en el Cerro El Vergel, jurisdicción del cantón El Guabo emplazado a 89,25 msnm, al este de la ciudad de Machala a 11,09 km del sector El Cambio. El caudal que llega a este tanque es de 497 l/s.

Figura 4. Ubicación del tanque El Vergel



3. Análisis de la conducción desde la planta potabilizadora La Esperanza hasta el tanque de reserva El Vergel.

3.1 Descripción

El análisis de la línea de conducción desde la PPLE hasta el tanque El Vergel se realiza mediante los datos del perfil topográfico otorgados por la Empresa Aguas Machala EP.

3.2 Condiciones de análisis

Caudal de operación = 722,00 l/s = 0,722 m³/s

Cota a la salida de la PPLE= 120,00 msnm

Cota a la entrada al tanque El Vergel = 89,25 msnm

Desnivel = 30,75 m

Longitud de la conducción = 8393 m

3.3 Requerimientos

Referente a los datos de material y diámetro de las tuberías, la información otorgada por la empresa pública de agua de la ciudad, Aguas Machala E.P., se presenta a continuación.

TABLA 5. Resumen de las características de las tuberías existentes

Tramo Planta de Potabilización La Esperanza - Tanque de almacenamiento EL Vergel					
Tubería			Abscisa	Longitud (m)	Observaciones
Material	Diámetro (mm)	Clase			
AC	800	15	0+000		
AC	800	15	3+743	3743	
AC	700	20	5+604	1861	
HD	700	-	6+036	432	Potrero Hcda. Encalada
AC	700	20	7+337	1701	
HD	700	-	8+089	352	Llega al codo 90° para subir a los tanques de el Vergel
AC	700	20	8+393	304	Subida al tanque de el Vergel
Total				8393	m

Fuente: Aguas Machala EP

En base a dicha información se requiere comprobar las presiones de trabajo en la red, considerando las pérdidas por fricción y pérdidas menores producidas por accesorios (codos, válvulas de desagüe y compuerta, entrada y salida de la tubería, tes). Además efectuar la comprobación por golpe de ariete debido al cierre de las válvulas y realizar una descripción cualitativa de la tubería.

4. Metodología

4.1 Cálculo de pérdidas de energía

El flujo del agua que circula a través de las tuberías genera rozamiento independientemente del material de las mismas, esta fricción que el fluido experimenta con las paredes rugosas del tubo y la presencia de accesorios se manifiestan en las pérdidas de energía [5].

Pérdidas por fricción

Las principales pérdidas, también conocidas como pérdidas por fricción surgen debido a la resistencia ejercida por la capa límite formado en las paredes de la tubería y el agua que en ella fluye [6].

El valor de esta pérdida será estimando con la ecuación de Hazen- Williams.

$$H_f = \frac{10,674 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}}$$

Dónde: H_f= pérdida de carga [m/m]

Q= caudal [m³/s]

L= longitud [m]

D= diámetro [m]

C= coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes de los tubos

La tabla siguiente muestra los valores de C para asbesto cemento y hierro dúctil, que son los materiales de la tubería en análisis.

TABLA 6. Coeficiente C para estimar las pérdidas por fricción

Tubos	Nuevos	Usados ± 10 años	Usados ± 20 años
Asbesto cemento	140	130	120
Hierro dúctil	140	110	99

Fuente: Manual de hidráulica, Azevedo Netto

Pérdidas locales por accesorios

La magnitud de las pérdidas de energía por la presencia de accesorios en sistemas a presión tales como: líneas de conducción en plantas industriales, redes internas de distribución en centrales geotérmicas, redes de distribución de agua a poblaciones, sistemas de riego está dado por el valor que toma el coeficiente K [7].

Las pérdidas menores son ocasionadas por los diversos accesorios que se utilizan a lo largo de la tubería tales como: válvulas, codos, tes, derivaciones, entre otros. En esta ocasión utilizaremos el método del coeficiente de resistencia K.

La ecuación a utilizar para estimar está dada de la siguiente manera:

$$Hm = K \frac{v^2}{2g}$$

Dónde: Hm= pérdidas menores [m]

v= velocidad del fluido [m/s]

g= gravedad [m/s²]

K= coeficiente de resistencia [adimensional]

La siguiente tabla muestra los valores de k para algunos accesorios y situaciones que se presentan en la tubería.

TABLA 7. Coeficiente K para estimar las pérdidas menores

Elemento	K
Reducción gradual	0.15
Ampliación gradual	0.3
Codo de 90°	0.4
Válvula abierta:	
de mariposa - ángulo	5
de compuerta	0.2
de globo-bola	10
Te de paso directo	0.6
Te de paso lateral	1.3
Te salida bilateral	1.8
Entrada normal al tubo	0.5
Entrada de borda	1
Salida del tubo	1
Existencia de pequeña derivación	0.03

Fuente: Manual de hidráulica, Azevedo Netto

El aire atrapado en conductos a presión, generalmente en los puntos más elevados de la línea de conducción, puede reducir de forma importante el transporte de agua [8]. El ingreso del aire a las tuberías es inevitable por labores de mantenimiento, limpieza o reparaciones y el correcto funcionamiento de las válvulas de aire es fundamental para

evitar problemas estructurales por colapso en las líneas de tuberías y en los demás dispositivos y accesorios [9].

Por ello es importante mencionar que el análisis de la ubicación y funcionamiento de estas válvulas no ha sido considerado, ya que no se conoce si su instalación es adecuada y además no se dispone del perfil de la tubería existente.

4.2 Golpe de Ariete

El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que se manifiesta a través de los grandes cambios de presión cuando la velocidad de un fluido es alterada a causa de la manipulación o falla de los dispositivos hidráulicos, cambios en la demanda de agua, errores humanos y demás [10].

TABLA 8. Accesorios que generan cambios por golpe de ariete

Distancia desde PPLE	Cota m	Descripción	Tipo de Válvula
21	114.58	Válvula 1: Machala	Compuerta
3743	43,59	Válvula 2: Reductora	Mariposa

Los problemas del golpe de ariete están representados por la presión y la velocidad en la tubería [11]. La propagación de la onda de celeridad está dada por la siguiente expresión;

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k(D/e)}}$$

Dónde: C= velocidad de onda [m/s]

D= diámetro [mm]

e= espesor del tubo [mm]

k=coeficiente adimensional

El coeficiente K es igual a $10^6/E$, donde E es el coeficiente de módulo de elasticidad (kg/m^2) del material de la tubería, a continuación se muestra el valor de K para los materiales más utilizados en tuberías.

TABLA 9. Coeficiente de K para calcular la celeridad de onda

Material de la tubería	K
Acero	0,5
Hierro fundido	1
Concreto	5
Asbesto-cemento	4,4
Plástico	18

Fuente: Manual de hidráulica, Azevedo Netto

Las características de las tuberías necesarias para la estimación del golpe de ariete son las que se muestran a continuación

TABLA 10. Características de las tuberías

Material	Diámetro	Espesor	Presión de trabajo	
	mm	mm	kg/cm²	mca
AC 15	800	57	7.5	75
AC 20	700	68	10	100
HD 25	700	8.8	32.63	326

Para tiempo de cierre, que es el intervalo entre el inicio y fin de la ejecución de la maniobra, sea cierre total o parcial de la válvula, se usa la siguiente expresión

$$T = \frac{2 * Lc}{C}$$

Dónde: T: tiempo de cierre [s]
 Lc: longitud crítica [m]
 C: velocidad de onda [m/s]

El aumento de presión por el golpe de ariete está dado por:

Fórmula de Michaud, para una conducción corta, es decir $T > 2L/C$:

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

Fórmula de Allievi, para una conducción larga, es decir $T < 2L/C$:

$$\Delta H = \frac{C * V}{g}$$

4.3 Análisis descriptivo de la tubería existente

El sistema de red de conducción en el tramo de estudio, como lo es desde la PPLE hasta el tanque El Vergel, ha presentado una serie de roturas y fugas de agua, debido a múltiples factores que van desde las sobrepresiones (debido al funcionamiento mismo del sistema), inadecuado manejo por parte de los operarios, tiempo de vida útil de la tubería, entre otras.

El deterioro de las obras de ingeniería disminuye la calidad del agua que llega a los usuarios y afectan a la eficiencia física del sistema. No obstante, debido al factor económico, es imposible rehabilitar o renovar el sistema en su totalidad [12].

El tiempo de vida útil de la tubería de asbesto cemento, material predominante en la línea de conducción, ha incidido a la problemática que ha suscitado en los últimos años y en la necesidad de resolver las múltiples averías y roturas, con el objeto de retornar el servicio en el menor plazo de tiempo posible se hacen reparaciones mediante el corte de la zona dañada y la instalación de un tramo de tubería nuevo [13].

La gran mayoría de las tuberías que integran este sistema regional de agua potable se encuentran enterradas a una profundidad superior a 1 m, lo que hace muy difícil verificar el estado en el que se encuentran.

Del registro de daños y averías otorgado por la empresa Aguas Machala EP, desde el 24 de octubre de 2015 hasta el lunes 9 de diciembre de 2019, se han cuantificado un total de 40 reparaciones en todo el sistema regional de agua potable, con un total de 107 m de tubería remplazada, lo que da como resultado 1273,24 horas de suspensión del servicio de agua.

En el tramo de estudio se localizaron 17 averías, a continuación se muestra un resumen desglosado por año. Cabe recalcar que las reparaciones fueron por rotura o fuga en la tubería.

TABLA 11. Resumen de las averías desde la PPLE al tanque El Vergel

Año	Nº de reparaciones	Longitud instalada (m)	Horas de suspensión del agua	Tramo/abscisa de reparación
2015	1	6,0	32,00	Cerca de la PPLE
2016	1	5,0	16,00	0+369
2017	5	17,9	308,00	5+000 al 5+105
2018	4	11,5	78,83	4+465 al 5+264
2019	6	-	120,00	PPLE- El Vergel
	17	40,4	554,83	

En las tuberías de asbesto cemento el modo de la solución de las averías como el desgaste de las paredes de las mismas provocan que al momento de la circulación de fluidos, en este caso de agua (potable o cruda) se esparzan fibras de amianto o asbesto, que representa gran peligrosidad para la salud humana y no son detectables al instante, lo que agrava la situación para las personas que consumen de estas aguas.

A nivel mundial existe controversia debido al uso de tubería y estructuras de asbesto en acueductos y su posible relación con la incidencia de cáncer gástrico (CG) [14]. El nivel máximo permisible de las fibras de amianto o asbesto es de 7 millones por litro según la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EEUU), lo cual no significa que para cifras menores a estas no exista el riesgo de contraer enfermedades relacionadas con la presencia de estas fibras.

Las fibras de asbesto también se desprenden de la matriz de cemento, a causa de las decenas de años de servicio, la hidrólisis-lixiviación del cemento, por la agresión de factores físico-químicos, etc., esto repercute a que estas tuberías a lo largo de los años vayan perdiendo paulatinamente sección (hasta 8 mm en 40 años de servicio) [13].

CONCLUSIONES

- La presión residual en el tanque de reserva El Vergel es de 13,20 mca. La presión estática máxima es igual a 100,56 mca ubicado en la abscisa 7+900. La presión de trabajo en las tuberías es siempre mayor, excepto en la abscisa 3+700- 3+743 y 7+500, donde la presión estática es superior hasta un 2% de presión de trabajo.
- Para el correcto funcionamiento de las redes de conducción es de vital importancia el análisis por golpe de ariete, ya que este provoca sobrepresiones que son la causa de los principales problemas de roturas y fugas.
- Para la válvula 1 ubicada en la abscisa 0+021, el tiempo mínimo de cierre es de 0,4 segundos, para tiempo inferiores a este se generarían sobrepresiones en el tramo que va desde la abscisa 0+000 a la 3+743; y para la válvula 2 ubicada en la abscisa 3+743 se recomienda tiempo de cierre mayor a 50 segundos, para garantizar que la sobrepresión por golpe de ariete sea mínima.
- La sobrepresión por golpe de ariete es superior a la presión de trabajo en el tramo 4+900 al 5+604 y del 6+036 al 7+737, mientras que la máxima se ubica en la abscisa 5+900 con un valor de 107,7 mca.
- Las averías ocasionadas entre los años 2017 al 2019 se encuentra entre las abscisas 5+000 a la 5+300 lo que significa que las roturas y fugas han sido ocasionadas por la sobrepresión debido al golpe de ariete.
- Las tuberías de asbesto cemento desde la PPLE al tanque El Vergel, ya cumplieron con su vida útil, por ello regularmente se presentan averías como roturas o fugas lo que ocasiona el desprendimiento y suspensión de fibras de amianto en el interior de la tubería, lo que implica un riesgo en la salud para los que consumen agua potable transportada por estos conductos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Gómez Gutiérrez, M. J. Miralles, I. Corbella y S. García , «La calidad sanitaria del agua de consumo,» *Gaceta Sanitaria*, vol. 30, nº S1, pp. 63-68, 2016.
- [2] L. A. Bohórquez Caldera, «Bioética del derecho al agua potable.,» *EL ÁGORA USB*, vol. 16, nº 1, pp. 287-304, 2016.
- [3] F. J. Martínez Solano, P. L. Iglesias Rey, D. Mora Melía y V. S. Fuertes Miquel, «Exact skeletonization method in water distribution systems for hydraulic and quality models,» *Procedia Engineering*, vol. 186, pp. 286- 293, 2017.
- [4] L. A. Rossman, D. Water Supply, D. Water Resources, L. National Risk Management Research y A. U.S. Environmental Protection, «EPANET 2 USER'S MANUAL,» Universidad Politécnica de València, España, 2000.
- [5] A. I. Anaya Durand, G. I. Cauich Segovia, O. Funabazama Bárcenas y V. A. Gracia Medrano Bravo, «Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías,» *Ingeniería Química*, vol. 25, nº 2, pp. 128- 134, 2014.
- [6] M. Annan y E. A. Gooda, «Effect of minor losses during steady flow in transmission pipelines – Case study “ water transmission system upgrade in Northern Saudi Arabia ”,» *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, nº 4, pp. 4299- 4305, 2018.
- [7] J. J. Villegas León, A. López Lambraño, J. G. Morales Nava, M. Pliego Díaz, C. Fuentes y A. López Ramos, «Expresiones analíticas del coeficiente de pérdidas de energía en dispositivos de reducción del diámetro bajo régimen forzado,» *Revista de Ingeniería*, pp. 24- 31, 2015.
- [8] O. Pozos Estrada, O. A. Fuentes, A. Sánchez, E. A. Rodal y F. De Luna, «Análisis de los efectos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en acueductos a bombeo,» *Revista Internacional de Métodos Numericos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 33, nº 1-2, pp. 79- 89, 2017.

- [9] O. E. Coronado Hernández , V. S. Fuertes Miquel, P. L. Iglesias Rey y D. Mora Mélia, «Parámetros significativos durante los procesos de vaciado en conducciones de agua,» *Ingeniería del agua*, vol. 22, n° 3, pp. 141-152, 2018.
- [10] T. I. Consultores, «Water hammer in a pipe network due to a fast valve closure Golpe de ariete en una red de tuberías debido al cierre rápido de una válvula,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 33, n° 2, pp. 193- 200, 2018.
- [11] M. Kandil, A. M. Kamal y T. A. El-Sayed, «Effect of pipematerials on water hammer,» *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 179, 2020.
- [12] V. Verduzco, J. Garatuza y S. Díaz, «Priorización de necesidades de reemplazo de tuberías usando SIG y evaluación multicriterio,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 6, n° 1, pp. 99-120, 2015.
- [13] A. B. Reyes, P. Báez Baquet y P. Puche Vergara, «Informe acerca del amianto presente en las tuberías de abastecimiento de agua y saneamiento en España , y sus consecuencias para la salud,» *Amianto por un tubo*, España, 2014.
- [14] D. A. Mora Alvarado, «A nivel mundial existe controversia debido al uso de tubería y estructuras de asbesto en acueductos y su posible relación con la incidencia de cáncer gástrico (CG).,» *Revista Costaricense de la salud*, vol. 13, n° 24, pp. 1409-1429, 2014.

ANEXOS

Anexo A. Cálculo de pérdidas y presiones

Abscisas	Cota de Terreno	Longitud (m)	Caudal (l/s)	D interior (mm)	Material	C_{H-W}	K	Velocidad (m/s)	H_m (m)	H_f (m)	H_T (m)	HT Acum. (m)	Presión (mca)	
0+00	Terreno	(m)	(l/s)	(mm)				(m/s)	m	m	m	(m)	Din.	Est.
0+000	120,00	0,00	722	800	AC	120	0	1,44	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0+021	114,58	21,00	722	800	AC	120	0	1,44	0	0,05	0,05	0,05	5,37	5,42
0+100	95,39	79,00	517	800	AC	120	1,8	1,03	0,1	0,10	0,20	0,25	24,36	24,61
0+200	62,25	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	0,38	57,37	57,75
0+300	60,80	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	0,51	58,69	59,20
0+400	62,43	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	0,64	56,93	57,57
0+500	62,55	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	0,77	56,68	57,45
0+600	62,75	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	0,90	56,35	57,25
0+700	60,46	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	1,03	58,51	59,54
0+800	57,59	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	1,16	61,25	62,41
0+900	57,42	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	1,29	61,29	62,58
1+000	58,18	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	1,42	60,40	61,82
1+100	58,15	100,00	517	800	AC	120	10	1,03	0,54	0,13	0,67	2,09	59,76	61,85
1+200	58,97	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	2,22	58,81	61,03
1+300	58,21	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	2,35	59,44	61,79
1+400	59,11	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	2,48	58,41	60,89
1+500	58,79	100,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,13	0,13	2,61	58,60	61,21
1+514	58,75	14,00	517	800	AC	120	0	1,03	0	0,02	0,02	2,63	58,62	61,25
1+600	56,65	86,00	507	800	AC	120	0,63	1,01	0,03	0,11	0,14	2,77	60,58	63,35
1+700	57,11	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	2,90	59,99	62,89

Abcisas	Cota de	Longitud	Caudal	D	Material	C_{H-W}	K	Velocidad	H_m	H_f	H_T	HT	Presión (mca)	
0+00	Terreno	(m)	(l/s)	interior				(m/s)	m	m	m	Acum.	Din.	Est.
				(mm)								(m)		
1+800	58,52	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,03	58,45	61,48
1+900	58,44	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,16	58,40	61,56
2+000	57,75	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,29	58,96	62,25
2+100	57,86	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,42	58,72	62,14
2+200	57,91	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,55	58,54	62,09
2+300	57,33	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,68	58,99	62,67
2+400	56,07	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,81	60,12	63,93
2+500	55,06	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	3,94	61,00	64,94
2+600	54,96	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,07	60,97	65,04
2+700	53,57	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,20	62,23	66,43
2+800	52,43	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,33	63,24	67,57
2+900	52,02	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,46	63,52	67,98
3+000	51,59	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,59	63,82	68,41
3+100	50,35	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,72	64,93	69,65
3+200	48,78	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,85	66,37	71,22
3+300	47,54	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	4,98	67,48	72,46
3+400	46,71	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	5,11	68,18	73,29
3+500	46,40	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	5,24	68,36	73,60
3+600	45,41	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	5,37	69,22	74,59
3+700	44,14	100,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,13	0,13	5,50	70,36	75,86
3+743	43,59	43,00	507	800	AC	120	0	1,01	0	0,05	0,05	5,55	70,86	76,41
3+800	42,90	57,00	507	700	AC	120	5,15	1,32	0,46	0,14	0,60	6,15	70,95	77,10
3+900	41,11	100,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,24	0,24	6,39	72,50	78,89
4+000	39,84	100,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,24	0,24	6,63	73,53	80,16

Abscisas	Cota de	Longitud	Caudal	D	Material	C_{H-W}	K	Velocidad	H_m	H_f	H_T	HT	Presión (mca)	
0+00	Terreno	(m)	(l/s)	interior				(m/s)	m	m	m	Acum.	Din.	Est.
				(mm)								(m)		
4+100	38,57	100,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,24	0,24	6,87	74,56	81,43
4+200	38,02	100,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,24	0,24	7,11	74,87	81,98
4+300	36,64	100,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,24	0,24	7,35	76,01	83,36
4+400	34,70	100,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,24	0,24	7,59	77,71	85,30
4+464	34,81	64,00	507	700	AC	120	0	1,32	0	0,16	0,16	7,75	77,44	85,19
4+500	34,88	36,00	497	700	AC	120	1,26	1,29	0,11	0,08	0,19	7,94	77,18	85,12
4+600	33,93	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	8,17	77,90	86,07
4+700	32,77	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	8,40	78,83	87,23
4+800	32,04	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	8,63	79,33	87,96
4+900	31,03	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	8,86	80,11	88,97
5+000	30,43	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	9,09	80,48	89,57
5+100	28,70	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	9,32	81,98	91,30
5+200	28,16	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	9,55	82,29	91,84
5+300	27,34	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	9,78	82,88	92,66
5+400	26,07	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	10,01	83,92	93,93
5+500	25,10	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	10,24	84,66	94,90
5+600	23,24	100,00	497	700	AC	120	0,6	1,29	0,05	0,23	0,28	10,52	86,24	96,76
5+604	23,23	4,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,01	0,01	10,53	86,24	96,77
5+700	22,27	96,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,26	0,26	10,79	86,94	97,73
5+800	21,64	100,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,28	0,28	11,07	87,29	98,36
5+900	20,56	100,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,28	0,28	11,35	88,09	99,44
6+000	20,55	100,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,28	0,28	11,63	87,82	99,45
6+036	20,59	36,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,10	0,10	11,73	87,68	99,41
6+100	20,71	64,00	497	700	AC	120	0,6	1,29	0,05	0,15	0,20	11,93	87,36	99,29

Abscisas	Cota de Terreno	Longitud (m)	Caudal (l/s)	D interior (mm)	Material	C_{H-W}	K	Velocidad (m/s)	H_m (m)	H_f (m)	H_T (m)	HT Acum. (m)	Presión (mca)	
0+00	Terreno	(m)	(l/s)	(mm)				(m/s)	m	m	m	(m)	Din.	Est.
6+200	20,57	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	12,16	87,27	99,43
6+300	20,32	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	12,39	87,29	99,68
6+400	22,11	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	12,62	85,27	97,89
6+500	24,94	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	12,85	82,21	95,06
6+600	22,08	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	13,08	84,84	97,92
6+700	21,83	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	13,31	84,86	98,17
6+800	21,88	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	13,54	84,58	98,12
6+900	21,52	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	13,77	84,71	98,48
7+000	24,23	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	14,00	81,77	95,77
7+100	23,69	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	14,23	82,08	96,31
7+200	22,24	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	14,46	83,30	97,76
7+300	20,36	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	14,69	84,95	99,64
7+400	20,92	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	14,92	84,16	99,08
7+500	19,55	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	15,15	85,30	100,45
7+600	20,22	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	15,38	84,40	99,78
7+700	20,86	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	15,61	83,53	99,14
7+737	20,44	37,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,09	0,09	15,70	83,86	99,56
7+800	19,81	63,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,17	0,17	15,87	84,32	100,19
7+900	19,44	100,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,28	0,28	16,15	84,41	100,56
8+000	20,49	100,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,28	0,28	16,43	83,08	99,51
8+089	31,49	89,00	497	700	HD	110	0	1,29	0	0,25	0,25	16,68	71,83	88,51
8+100	32,85	11,00	497	700	AC	120	1	1,29	0,08	0,03	0,11	16,79	70,36	87,15
8+200	82,75	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	17,02	20,23	37,25
8+300	86,02	100,00	497	700	AC	120	0	1,29	0	0,23	0,23	17,25	16,73	33,98
8+393	89,25	93,00	497	700	AC	120	1	1,29	0,08	0,22	0,30	17,55	13,20	30,75

Anexo B. Cálculo del golpe de ariete

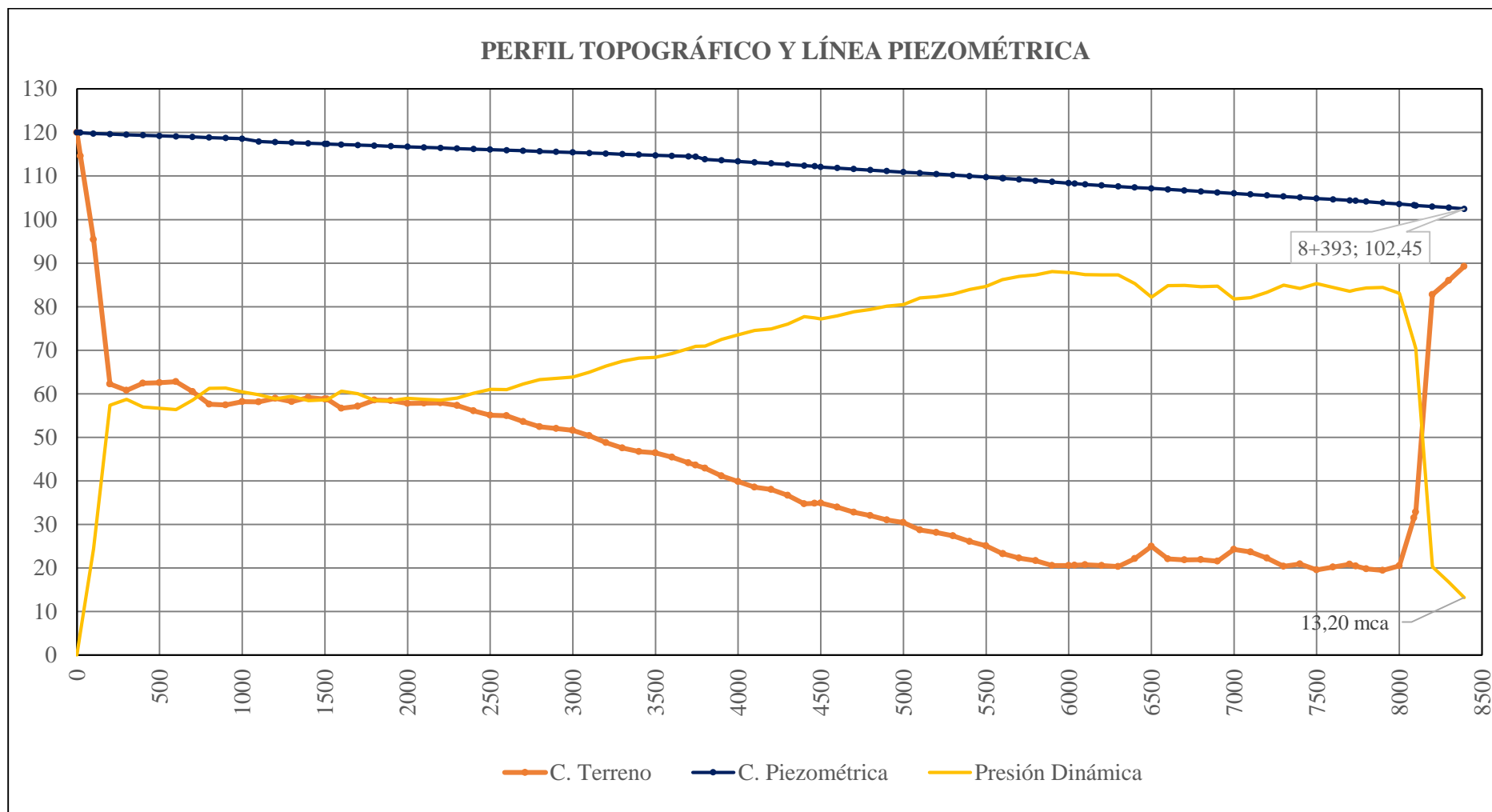
Los resultados mostrados en la siguiente tabla corresponden al análisis para los tiempos de cierre de las válvulas descritos a continuación: TV1= 0,5 seg y TV2= 50 seg.

GOLPE DE ARIETE									
Abscisas	Clase de tubería	Espesor "e"	K	C	Longitud	Lc	Δ Ha	Presión total	Presión de trabajo
		mm		m/s	m	m	mca	m	m
0+021	AC 15	57	4,4	943,69	21	2359,23	1,23	6,65	75
0+100	AC 15				100		1,20	25,81	75
0+200	AC 15				200		1,16	58,91	75
0+300	AC 15				300		1,13	60,33	75
0+400	AC 15				400		1,10	58,67	75
0+500	AC 15				500		1,06	58,51	75
0+600	AC 15				600		1,03	58,28	75
0+700	AC 15				700		1,00	60,54	75
0+800	AC 15				800		0,96	63,37	75
0+900	AC 15				900		0,93	63,51	75
1+000	AC 15				1000		0,90	62,72	75
1+100	AC 15				1100		0,86	62,71	75
1+200	AC 15				1200		0,83	61,86	75
1+300	AC 15				1300		0,80	62,59	75
1+400	AC 15				1400		0,76	61,65	75
1+500	AC 15				1500		0,73	61,94	75
1+514	AC 15				1514		0,73	61,98	75
1+600	AC 15				1600		0,70	64,05	75
1+700	AC 15				1700		0,66	63,55	75
1+800	AC 15				1800		0,63	62,11	75
1+900	AC 15				1900		0,60	62,16	75
2+000	AC 15				2000		0,57	62,82	75
2+100	AC 15				2100		0,53	62,67	75
2+200	AC 15				2200		0,50	62,59	75
2+300	AC 15				2300		0,47	63,14	75
2+400	AC 15				2400		0,43	64,36	75
2+500	AC 15				2500		0,40	65,34	75
2+600	AC 15				2600		0,37	65,41	75
2+700	AC 15				2700		0,33	66,76	75
2+800	AC 15				2800		0,30	67,87	75
2+900	AC 15				2900		0,27	68,25	75
3+000	AC 15				3000		0,23	68,64	75
3+100	AC 15				3100		0,20	69,85	75
3+200	AC 15				3200		0,17	71,39	75
3+300	AC 15				3300		0,13	72,59	75
3+400	AC 15				3400		0,10	73,39	75
3+500	AC 15				3500		0,07	73,67	75
3+600	AC 15				3600		0,03	74,62	75
3+700	AC 15				3700		0,00	75,86	75

Abcisas	Clase de tubería	Espesor "e" mm	K	C m/s	Longitud m	Lc m	Δ Ha mca	Presión total m	Presión de trabajo m
3+743	AC 15	57	4,4	943,69	3743	23592,25	15,41	91,82	75
3+800	AC 20				57		15,22	92,32	100
3+900	AC 20				157		14,89	93,78	100
4+000	AC 20				257		14,56	94,72	100
4+100	AC 20				357		14,23	95,66	100
4+200	AC 20				457		13,9	95,88	100
4+300	AC 20				557		13,56	96,92	100
4+400	AC 20				657		13,23	98,53	100
4+464	AC 20				721		13,02	98,21	100
4+500	AC 20				757		12,9	98,02	100
4+600	AC 20				857		12,57	98,64	100
4+700	AC 20				957		12,24	99,47	100
4+800	AC 20				1057		11,91	99,87	100
4+900	AC 20				1157		11,58	100,55	100
5+000	AC 20				1257		11,24	100,81	100
5+100	AC 20				1357		10,91	102,21	100
5+200	AC 20				1457		10,58	102,42	100
5+300	AC 20				1557		10,25	102,91	100
5+400	AC 20				1657		9,92	103,85	100
5+500	AC 20				1757		9,59	104,49	100
5+600	AC 20				1857		9,26	106,02	100
5+604	AC 20				1861		9,24	106,01	100
5+700	HD 25				1957		8,92	106,65	326
5+800	HD 25				2057		8,59	106,95	326
5+900	HD 25				2157		8,26	107,70	326
6+000	HD 25				2257		7,93	107,38	326
6+036	HD 25				2293		7,81	107,22	326
6+100	AC 20				2357		7,6	106,89	100
6+200	AC 20				2457		7,27	106,70	100
6+300	AC 20				2557		6,94	106,62	100
6+400	AC 20				2657		6,6	104,49	100
6+500	AC 20				2757		6,27	101,33	100
6+600	AC 20				2857		5,94	103,86	100
6+700	AC 20				2957		5,61	103,78	100
6+800	AC 20				3057		5,28	103,40	100
6+900	AC 20				3157		4,95	103,43	100
7+000	AC 20				3257		4,62	100,39	100
7+100	AC 20				3357		4,28	100,59	100
7+200	AC 20				3457		3,95	101,71	100
7+300	AC 20				3557		3,62	103,26	100
7+400	AC 20				3657		3,29	102,37	100

Abcisas	Clase de tubería	Espesor "e" mm	K	C m/s	Longitud m	Lc m	Δ Ha mca	Presión total m	Presión de trabajo m
7+500	AC 20				3757		2,96	103,41	100
7+600	AC 20				3857		2,63	102,41	100
7+700	AC 20				3957		2,3	101,44	100
7+737	AC 20				3994		2,17	101,73	100
7+800	HD 25				4057		1,97	102,16	326
7+900	HD 25				4157		1,63	102,19	326
8+000	HD 25				4257		1,3	100,81	326
8+089	HD 25				4346		1,01	89,52	326
8+100	AC 20				4357		0,97	88,12	100
8+200	AC 20				4457		0,64	37,89	100
8+300	AC 20				4557		0,31	34,29	100
8+393	AC 20				4650		0	30,75	100

Anexo C. Perfil de terreno y línea piezométrica



Anexo D. Detalle de sobrepresión por golpe de ariete.

