



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores
Aragón



**ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA REUBICAR
UN TRAMO DE LA LÍNEA DE
CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA
PLANTA MADÍN AL TANQUE LOMAS
VERDES BAJO, EN NAUCALPAN EDO. DE
MÉX.**

**T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
QUE PRESENTA :
PEDRO CASTRO CASTRO**

Asesor de tesis:

Ing. Patrocinio Arroyo Hernández

Junio del 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A continuación haré una lista con los nombres de las personas responsables de que haya cumplido en mi persona el deseo de todo estudiante: **Titularse**

Silvia Castro Gutiérrez, mi madre por su constante apoyo y por haberme enseñado a nunca darme por vencido en los momentos difíciles, por haberme inculcado la costumbre de perseguir mis sueños pese a las adversidades que en el camino me encontré.

Eréndira González González por todo su apoyo brindado incondicionalmente para la realización de este proyecto, por soportar los disgustos causados por mí a lo largo de este tiempo, por su insistencia en que realizara y terminara este proyecto.

Mis hermanos Ana, Mauricio, Marcela, Remedios, Marco Antonio, la familia que no escogí, pero si así fuera los escogería de nuevo... y a Carlos Slim también.

A todas las personas de CONAGUA con las que conviví y de los que aprendí mucho, por el apoyo brindado, y sus consejos para lograr este proyecto.

A Eva Vargas por sus valiosos consejos y por levantar mi ánimo cuando este decayó.

Al Ing. Patrocinio por dedicar su tiempo para la elaboración de este proyecto.

**Agradezco el rodearme de tantas personas
por que de ellas aprendo que lo aprendido
nunca será suficiente.**

Pedro Castro Castro

Í N D I C E

P á g .

Introducción	1
Objetivos	2
Alcances	2
I. Características de la zona en estudio	3
I.1. Localización y ubicación geográfica	4
I.2. Descripción del sistema de conducción	5
I.3. Situación actual y planteamiento del problema	7
I.4. Alternativas de solución	8
I.5. Estudios básicos de proyecto	9
II. Fundamentos teóricos	11
II.1. Manning	12
II.2. Ecuación de continuidad	13
II.3. Pérdidas por fricción	14
II.4. Pérdidas locales	15
II.5. Golpe de ariete	16
II.6. Determinación del espesor por presión interna	23
II.7. Revisión por presión interna	24
II.8. Revisión de espesor por carga muerta (relleno)	24
II.9. Revisión por deflexión vertical	25
II.10. Revisión por pandeo	25

II.11.	Limites de aceptación del pandeo	26
II.12.	Revisión de esfuerzo por sismo	27
II.13.	Cálculo del esfuerzo longitudinal debido a la presión interna	28
II.14.	Esfuerzos actuantes	29
III.	Memoria de cálculo hidráulica	30
	Propuesta en tubería de acero	31
III.1.	Cálculo de sobre presión por golpe de ariete	35
III.2.	Revisión de espesor	35
III.3.	Revisión por presión interna	36
III.4.	Revisión de espesor por carga muerta (relleno)	36
III.5.	Revisión por deflexión vertical	37
III.6.	Revisión por pandeo	38
III.7.	Revisión de esfuerzo por sismo	39
	Propuesta en tubería de PEAD	42
III.8.	Cálculo de sobre presión por golpe de ariete	46
III.9.	Revisión de espesor	46
III.10.	Revisión de espesor por carga muerta (relleno) y carga viva	47
III.11.	Revisión por deflexión vertical	49
IV.	Conclusiones y recomendaciones	52
	Anexos	55
	Bibliografía	63

I N T R O D U C C I Ó N

El agua es indispensable para la vida y por ello el hombre, en muchos casos ha buscado para su establecimiento los lugares que le ofrecen mayores comodidades y facilidades para el desarrollo de sus múltiples actividades, procurando tener cerca una fuente de abastecimiento de agua, pero no siempre ha podido conseguirlo por razones diversas teniendo que establecerse en sitios que quizá no fueron los mejores para su desenvolvimiento. Y por esta razón que surgió la necesidad de conducir el agua desde lugares apartados.

Fue precisamente la necesidad de conducir el agua de lugares apartados, lo que dio lugar a los acueductos.

La imposibilidad, en aquellos tiempos, de conducir el agua a presión, obligó a realizar obras de ingeniería para conducir el agua por gravedad en forma de canal cerrado o abierto con pendientes hidráulicas muy pequeñas, las cuales fueron consideradas como verdaderas obras de ingeniería.

Estos acueductos conducían el agua a través de túneles en las montañas y soportadas por enormes arcos de piedra en los valles.

Los municipios de Tlalnepantla, Atizapan de Zaragoza y Naucalpan, entre los más complejos por ubicarse en ellos gran parte del desarrollo industrial, tienen entre sus múltiples problemas, la proporción del suministro de agua potable a una población que en los últimos años ha vivido un acelerado crecimiento y por lo tanto ha generado una gran demanda del servicio, situación que ha ocasionado a su vez, el requerimiento de un equipamiento y una infraestructura cada vez más compleja y costosa.

O B J E T I V O S

G E N E R A L

Exponer los aspectos más relevantes del análisis hidráulico en la conducción de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

P A R T I C U L A R

La elaboración del análisis hidráulica para la sustitución de 304 m de tubería de 762 mm de diámetro de la línea de conducción de la planta potabilizadora Madín hacia el tanque de distribución Lomas Verde Bajo en Naucalpan.

A L C A N C E S

Presentar las herramientas necesarias así como algunos conceptos en la aplicación de problemas de hidráulica. En particular en el desarrollo de líneas de conducción con el fin de crear nueva infraestructura.

I. Características de la zona en estudio

I.1. Localización y ubicación geográfica

Transitando por el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico) de sur a norte, pasando por el Toreo de Cuatro Caminos, como a 3.4 km, se encuentra un trébol que es la desviación a Chiluca - Lomas Verdes, esta vialidad es el Boulevard del centro, se corre hasta el entronque con el Paseo Lomas Verdes aproximadamente 4.6 km, y se continua hasta la glorieta de la Concordia que esta como a 0.5 km, posteriormente se da vuelta a la derecha rumbo a Valle Escondido y Chiluca y a 1.0 km, se encuentra la Planta Potabilizadora Madín.

Ubicada en las coordenadas geográficas $99^{\circ} 15' 39''$ Longitud oeste y $19^{\circ} 31' 37''$ Latitud norte de Greenwich, sobre el río Tlalnepantla y en la parte baja del poblado denominado Nuevo Madín, al poniente de Ciudad Satélite, dentro del Valle de México.

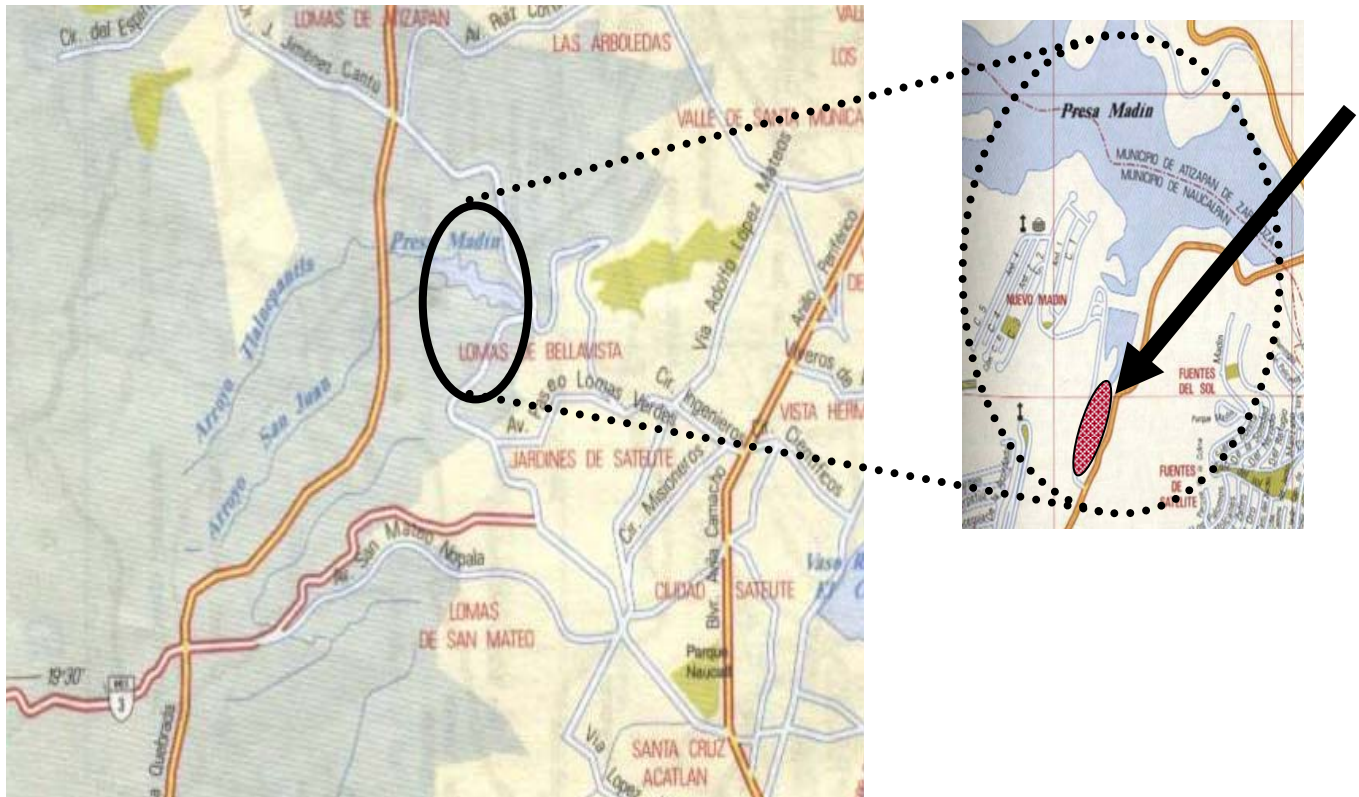


Fig. 1.1.1 Ubicación de la planta potabilizadora Madín.

I.2. Descripción del sistema de conducción



Fig. 1.2.1 Equipos de bombeo instalados en la planta potabilizadora Madín

La planta potabilizadora “Madín” cuenta con un sistema de cuatro bombas centrífugas verticales de 350 y 300 hp. de potencia. La capacidad instalada es del orden de 650 l/s, (la cual se alcanza con solo tres equipos en funcionamiento). La alimentación de agua a esta planta potabilizadora se realiza a partir de la presa “Madín” la cual es alimentada por el cauce del río Tlalnepantla y otras fuentes de menor importancia.



Fig. 1.2.2 Bomba vertical de dos impulsores de 350 hp.

En la planta funciona normalmente un equipo de bombeo, con lo cual el gasto de operación es del orden de los 210 l/s. Y que para los momentos en los que el organismo operador (CAEM) requiere de una demanda mayor, se ponen en funcionamiento simultánea mas equipos de bombeo.



Fig. 1.2.3 Medidor volumétrico de agua

La línea de succión de los equipos es de 406 mm (16") de diámetro y conectan a un múltiple de descarga de 762 mm (30") de diámetro, todo con tubería de acero, para conectar con la línea de conducción al tanque "Lomas Verdes Bajo" con tubería de concreto de 762 mm (30") de diámetro, que es justamente un tramo de esta línea la que se pretende sustituir.

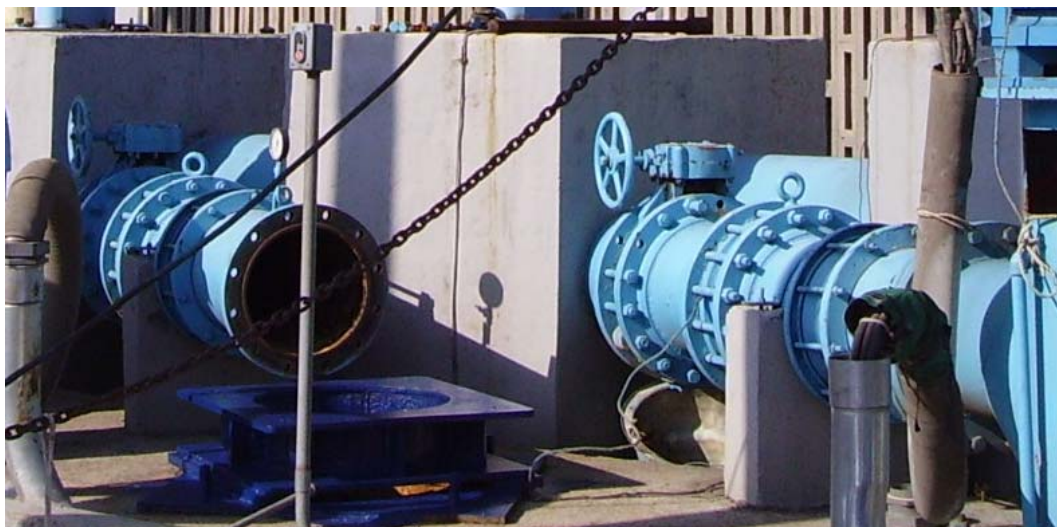


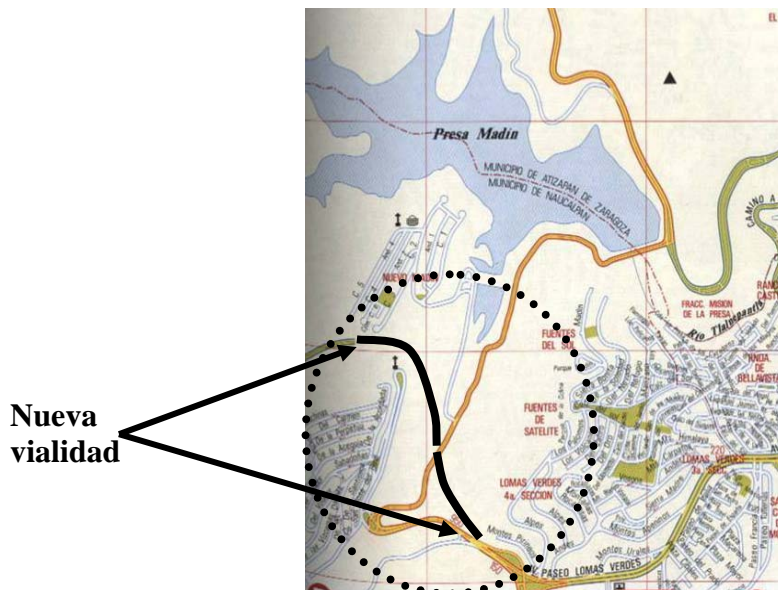
Fig. 1.2.4 Múltiples de descarga a la línea de conducción de concreto fuera de la planta.



Fig. 1.2.5 Medición de diámetro de columnas de succión del cárcamo de bombeo.

1.3. Situación actual y planteamiento del problema

Recientemente, se construye una nueva vialidad cercana a esta planta el “libramiento Chamapa -Toluca” en la cual una de sus vialidades cruza por la línea de conducción de 30” que conduce agua hacia el tanque Lomas Verdes Bajo, por lo que es necesario reubicar un tramo de la línea de conducción para que de esta manera no interfiera con dicha vialidad.



I.4. **Alternativas de solución**

Para este caso se estudiarán dos alternativas de conducción, una a base de tubería de acero, y otra a base de tubería de polietileno de alta densidad (PEAD.) ambas de diámetro de 30"

Ventajas y desventajas de las tuberías de PEAD

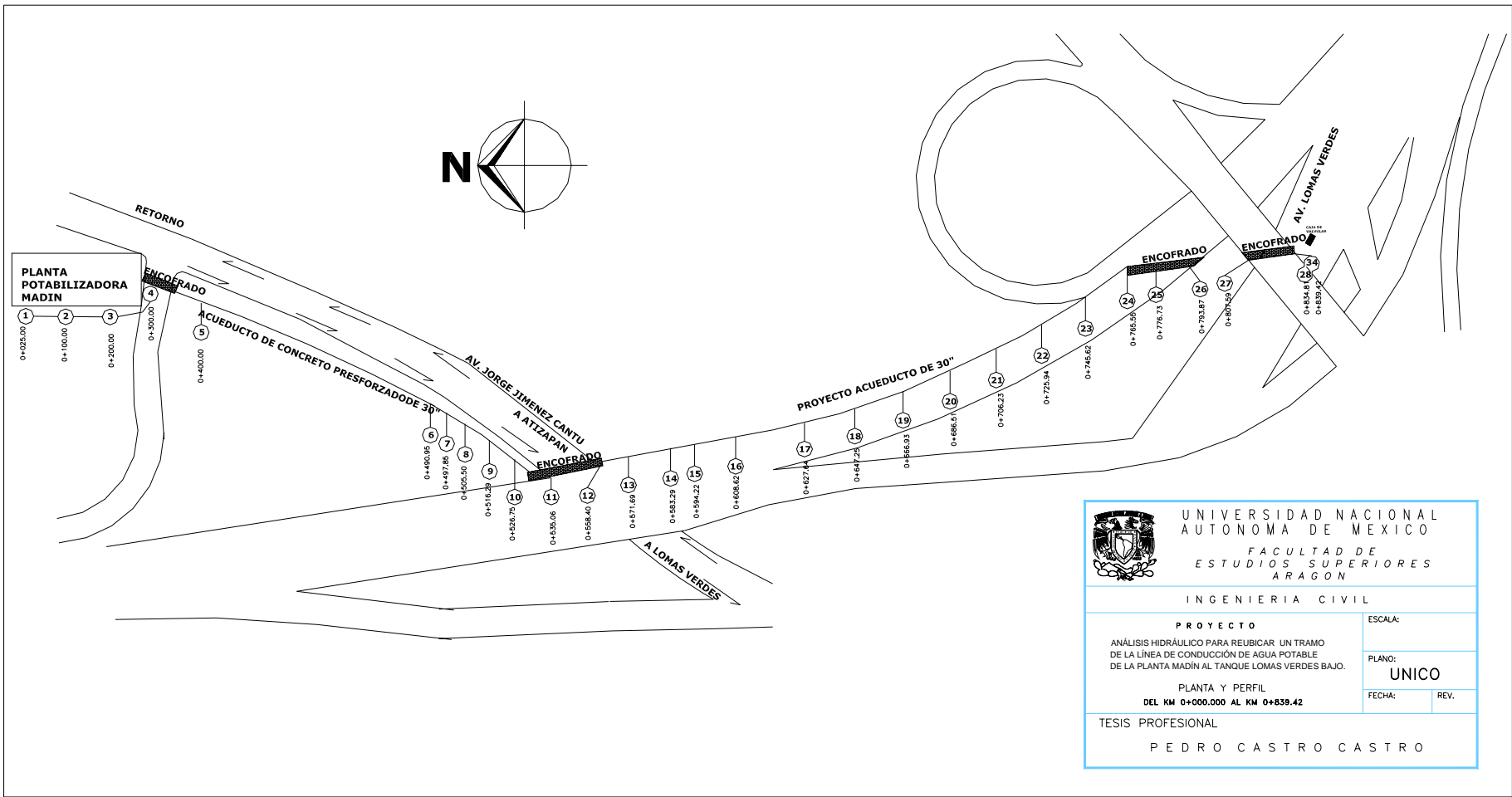
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Bajo costo.<input checked="" type="checkbox"/> Resistencia mecánica alta.<input checked="" type="checkbox"/> Resistencia a la corrosión y al ataque químico de ácidos, y soluciones salinas. mayores.<input checked="" type="checkbox"/> Instalación, rápida, fácil y económica<input checked="" type="checkbox"/> Por su ligereza, el almacenamiento y transporte de la tubería se facilita notablemente.<input checked="" type="checkbox"/> Pesa ocho veces menos que el acero y tres veces menos que el fibrocemento.<input checked="" type="checkbox"/> Alta flexibilidad.	<ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Alto costo en diámetros de 200 mm y mayores.<input checked="" type="checkbox"/> Las propiedades mecánicas de las tuberías se afectan si quedan expuestas a los rayos solares por un período prolongado.<input checked="" type="checkbox"/> La unión de las tuberías requiere mano de obra altamente especializada para su unión.

Ventajas y desventajas de las tuberías de acero

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">☑ Resistencia para soportar cargas de maquinaria y estructuras.☑ La propiedad de permitir grandes deformaciones (Ductilidad) a cambios de temperatura sin llegar a romperse lo hace apropiado para la conducción de agua.☑ Resiste a altas presiones de trabajo internas.☑ Su gran dureza los hace durables, resistentes y adaptables para su instalación.	<ul style="list-style-type: none">☑ Altos costos.☑ En diámetros mayores de 965 mm se consideran requerimientos adicionales.☑ Las propiedades mecánicas de las tuberías de acero se afectan si quedan expuestas a la humedad con o sin salinidad.☑ Se requiere mano de obra altamente especializada para su unión.☑ Se requiere equipo especializado para su montaje.

I.5. Estudios básicos de proyecto

Para localizar el nuevo trazo se hizo el levantamiento topográfico del acueducto, también se realizó el funcionamiento hidráulico actual del conducto para poder tener un punto de comparación con el nuevo y de esta forma no alterar la carga en el punto de bombeo. La longitud de la tubería por cambiar será aproximadamente de 304.36 mts.



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</p> <p>FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON</p>	
INGENIERIA CIVIL	
<p>PROYECTO</p> <p>ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA REUBICAR UN TRAMO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA MADIN AL TANQUE LOMAS VERDES BAJO.</p> <p>PLANTA Y PERFIL</p> <p>DEL KM 0+000.000 AL KM 0+839.42</p>	<p>ESCALA:</p> <p>PLANO:</p> <p style="text-align: center;">UNICO</p> <p>FECHA: REV.</p>
<p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>PEDRO CASTRO CASTRO</p>	

II. Fundamentos teóricos

II.1. Manning

Por lo general la fórmula de Manning se ha usado para canales, trabajando como tuberías de conducción de agua la fórmula se usa considerando el conducto totalmente lleno. Se ha usado profusamente en el cálculo de acueductos. La fórmula es como sigue:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad 2.1.1.$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} \quad 2.1.2.$$

En donde:

V = Velocidad del flujo (m/s)

A = Área del tubo (m²)

n = Coeficiente de rugosidad (adim)

Pm = Perímetro mojado (m)

S = Pendiente del tubo (m/m)

Rh = Radio hidráulico (m)

Los coeficientes **n** para diferentes materiales están dados en la tabla 2.1.a.

Tabla 2.1.a Valores del Coeficiente “n” para usarse en la fórmula de Manning.

Material	n (adim)
PVC	0.009
PE	0.009
Asbesto Cemento (A-C)	0.010
Fierro galvanizado	0.012
Fierro Fundido nuevo	0.013
Concreto acabado común	0.013

II.2. Ecuación de Continuidad

De la formula de continuidad:

$$Q = V * A \quad 2.2.1$$

Sabemos que la velocidad es igual a la ecuación 2.1.1:

Que al sustituir en 2.2.1 queda que:

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad 2.2.2$$

Que es La fórmula de Manning para tubo completamente lleno

Donde:

Q = Gasto en (m³ /s)

V = Velocidad del flujo (m/s)

A = Área del tubo (m²)

n = Coeficiente de rugosidad (adim) su valor se obtiene de tablas. Ver tabla 2.1.a

Rh = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente del tubo (m/m)

Para tuberías el perímetro mojado y el radio hidráulico quedan definidos de la siguiente manera:

$$Pm = \pi D \quad 2.2.3$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} = \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{\pi D} = \frac{D}{4} \quad 2.2.4$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad 2.2.5$$

Donde:

Rh = Radio hidráulico (m)

A = Área del tubo (m²)

Pm = Perímetro mojado (m)

π = 3.1415927

D = Diámetro interno de la tubería (m)

II.3. Pérdidas por fricción

Haciendo

$$S = S_0 = \frac{h_f}{L} \quad 2.3.1$$

Tomando el área de una sección circular definida por la expresión 2.2.5 y conociendo que el radio hidráulico esta definido por la expresión 2.2.4

Sustituimos en la ecuación de Manning 2.2.2 la cual quedaría como:

$$Q = \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \left(\frac{h_f}{L}\right)^{1/2} \quad 2.3.2$$

Transformando unidades y despejando para **hf** tenemos:

$$h_f = \frac{10.3}{Q^{16/3}} (Qn)^2 L \quad 2.3.3$$

Y considerando que el valor:

$$\frac{10.3(n)^2}{Q^{16/3}} \quad 2.3.4$$

Permanece constante, por lo que decimos que es igual a:

$$K = \frac{10.3(n)^2}{Q^{16/3}} \quad 2.3.5$$

En donde al sustituir la ecuación 2.3.5 en 2.3.3 tenemos que:

$$h_f = KQ^2 L \quad 2.3.6$$

Donde:

h_f = Pérdidas de carga por fricción (m)

D = Diámetro interno del tubo (m)

Q = Gasto o caudal (m³/s)

n = Coeficiente de fricción (adim)

L = Longitud del conducto (m)

K = Constante igual a la ecuación 2.3.5

II.4. Pérdidas locales

En general las pérdidas locales se evalúan como sigue:

$$h_x = K_x \frac{V^2}{2g} \quad 2.4.1.$$

Donde:

h_x = Pérdidas de carga locales debido al accesorio *en* (m)

K_x = Coeficiente según el tipo de accesorio (adim) su valor se obtiene de tablas. Ver tabla 2.2

$V^2 / 2g$ = Carga de velocidad (m/s)

Tabla 2.2.a. Valores aproximados de K_x (pérdidas locales)

Pieza	K_x	Pieza	K_x
Ampliación Gradual	0.30*	Entrada de borda	1.00
Boquillas	2.75	Entrada abocinada	0.04
Compuerta, abierta	1.00	Medidor Venturi	2.50**
Controlador de caudal	2.50	Reducción gradual	0.15*
Codo de 90°	0.90	Válvula de compuerta, abierta	0.20
Codo de 45°	0.40	Válvula de ángulo, abierta	5.00
Codo de 22° 30'	0.20	Válvula tipo globo, abierta	10.00
Rejilla	0.75	Salida tubo	1.00
Curva de 90°	0.40	Te, pasaje directo	0.60
Curva de 45°	0.20	Te, salida de lado	1.30
Curva de 22° 30'	0.10	Te, salida bilateral	1.80
Entrada redondeada (r=D/2)	0.23	Válvula de pie	1.75
Entrada normal en tubo	0.50	Válvula de retención (check)	2.50

II.5. Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que se presenta en todas las líneas de conducción cuando se tiene un paro brusco del fluido contenido en la tubería debido a un cierre brusco de válvulas, un paro de equipos de bombeo o cualquier cambio de velocidad en el flujo.

La energía cinética que contiene el fluido debido a la velocidad de conducción, se transforma en energía potencial, que a su vez, dará origen a un incremento de la carga piezométrica original, llevándose a cabo un trabajo elástico de deformación en las paredes del conducto y el agua.

En el diseño de líneas de conducción de agua es muy importante considerar el golpe de ariete con el fin de evitar reventamientos en la tubería que podrían provocar daños personales, daños a las instalaciones hidráulicas y por ende, pérdidas económicas.

Explicación del golpe de ariete.

Supongamos un depósito conteniendo una gran cantidad de agua, fig. 2.5.a.

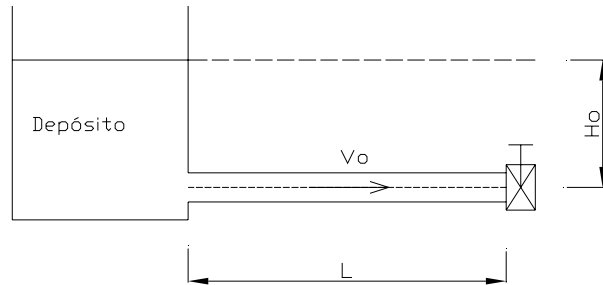


Figura 2.5.a

En el instante del cierre de la válvula de control, aguas abajo del depósito con una longitud L , fig. 2.5.b

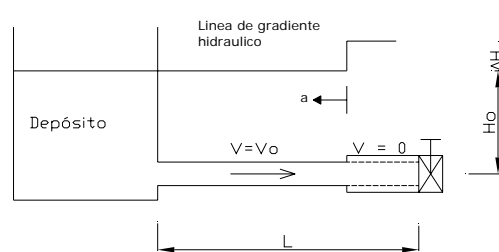


Fig. 2.5.b

Se genera una onda de presión positiva que viaja aguas arriba con una velocidad o celeridad “a”, además se provoca una deformación del conducto debido a la compresión del líquido. Una vez que la onda llega al depósito en un tiempo $t = L / a$, fig. 2.5.c

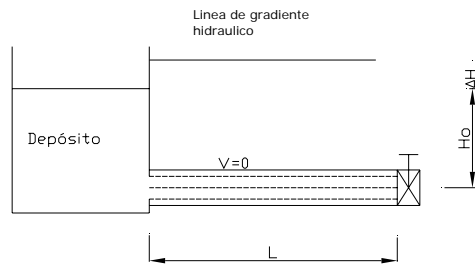


Fig. 2.5.c

El depósito funciona como pantalla por lo que la onda regresa hacia el órgano de control aguas abajo como onda de presión negativa por lo que el conducto se contrae a su forma original, fig. 2.5.d

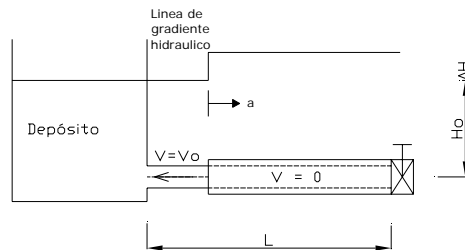


Fig. 2.5.d

En un tiempo $t = 2L/a$, fig. 2.5.e

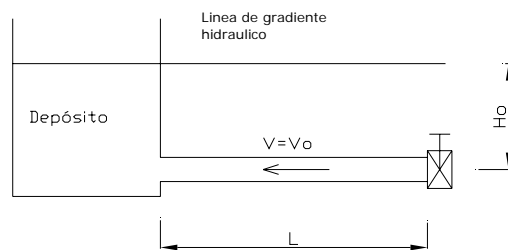


Fig. 2.5.e

Esta fase se conoce como fase directa del golpe de ariete.

Como se observar en las figuras, al detenerse el líquido en la válvula de control la velocidad en esta zona se hace $V = 0$, teniéndose al principio del conducto la velocidad original $V = V_0$.

La cual se iguala a cero al llegar la onda de presión al tanque. Al regresar la onda aguas abajo se provoca un movimiento del fluido hacia el depósito con una velocidad $V = V_0$, hasta que la onda de presión llega a la válvula de control.

Este flujo hacia el depósito origina una caída de carga y una contracción de las paredes del conducto a dimensiones inferiores a las originales, fig. 2.5.f

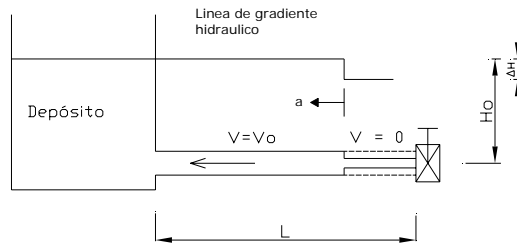


Fig. 2.5.f

La onda viaja nuevamente aguas arriba llegando al depósito en un tiempo $t = 3L/a$, fig. 2.5.g

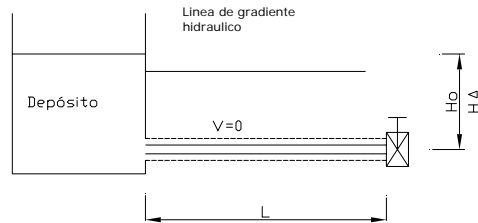


Fig. 2.5.g

El depósito funciona nuevamente como pantalla reflejando la onda como onda de presión positiva hacia el órgano de control, fig. 2.5.h

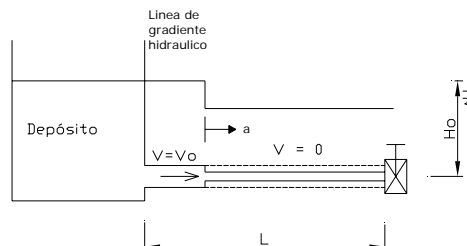


Fig. 2.5.h

Hasta llegar al final en un tiempo $t = 4 L / a$, fig. 2.5.i

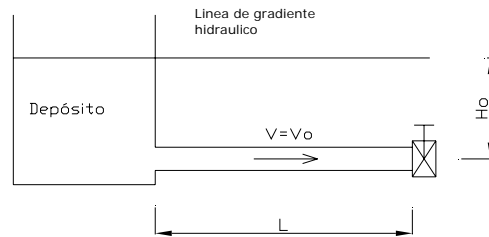


Fig. 2.5.i

Recuperando el conducto su forma original. Esta segunda fase se conoce como fase inversa del golpe de ariete.

Si no existiese el efecto de la fricción que transforma la energía en calor, este fenómeno se repetiría indefinidamente, sin embargo, ya que prácticamente todos los conductos son hidráulicamente rugosos, la variación de la carga decrece con el tiempo.

Cálculo del golpe de ariete.

La velocidad de la onda de presión “ a ”, depende tanto de las propiedades elásticas del conducto, como las del fluido, para agua quedaría definida como sigue:

$$a = \frac{145 * V}{\sqrt{1 + \frac{E_v D}{E_t e}}} \quad 2.5.1$$

Donde:

a = Velocidad de la onda, (m/s)

E_v = Módulo de elasticidad del agua (kg/m²)

E_t = Módulo de elasticidad del material (kg/m²)

D = Diámetro interno del conducto (m)

e = Espesor de pared del tubo (m)

V = Velocidad del agua (m/s)

Para algunos de los materiales más comunes la fórmula anterior se podría poner de la siguiente forma.

$$a = \frac{145 * V}{\sqrt{1 + Ka \frac{D}{e}}} \quad 2.5.2$$

Siendo:

$Ka = Ev / Et$ (tabla 2.5.a.) tomando la Ev del agua ($2.24 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$)

Tabla 2.5.a Valores del módulo de elasticidad Et y Ka para diferentes materiales.

Material	Et (kg/m ²)	Ka (adim)
PVC	2.813×10^8	0.793
A-C	2.45×10^9	0.091
Acero	2.10×10^{10}	0.0106
Fo.Fo.	9.30×10^9	0.024

Como se pudo observar en la figura 2.5.i, el golpe de ariete tiene dos fases, una directa y una inversa, ambas con una duración $t = 2 L / a$, que es el tiempo crítico donde la sobrepresión llega a su máximo, por lo que:

$$T = \frac{2L}{a} \quad 2.5.3$$

$$\Delta h = \frac{2LV}{gT} \quad 2.5.4$$

Donde:

a = Velocidad de la onda de presión (m/s)

Δh = Sobrepresión ocasionada por golpe de ariete (m.c.a.)

V = Velocidad del agua (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

T = Tiempo de cierre de válvulas

L = Longitud del conducto

Sustituyendo (2.5.3) en (2.5.4), se tiene:

$$\Delta h = \frac{aV}{g} \quad 2.5.5$$

Para la sobrepresión en los conductos de acero utilizaremos la siguiente formula:

$$P = \delta a V \quad 2.5.6$$

Donde:

P = Presión (Pa)

δ = Densidad relativa del agua

a = Velocidad de la onda de presión (m/s).

V = Velocidad del agua (m/s)

Para tubería de acero, con relación $d/t \leq 100$ la celeridad se calcula con la siguiente expresión:

$$a = \frac{1439}{\sqrt{1 + \frac{1(D)}{100(t)}}} \quad 2.5.7$$

Donde:

d = Diámetro interno (m)

t = Espesor de la pared del tubo (m)

Cuando se desee obtener la celeridad para diámetros grandes ($d/t > 100$), se puede utilizar la siguiente tabla:

Diámetro/espesor d/t	Velocidad de onda a m/seg
100	1006
120	957
140	917
160	881
180	847
200	820
250	759
300	710
350	670
400	634

II.6. Determinación del espesor por presión interna

El espesor de pared de la tubería por requerimiento de presión interna se calcula con la siguiente expresión:

$$t = \frac{Pd}{2S} \quad 2.6.1$$

t = Espesor de pared de tubo (m).

P = Presión (Mpa).

d = Diámetro interno (m).

S = $K^1 f_y$

f_y = Esfuerzo de fluencia del material.

K = Factor de diseño.

¹ 0.5 para condiciones normales de trabajo y
0.75 para condiciones transitorias (golpe de ariete).

II.7. Revisión por presión interna

Presión de trabajo. + Golpe de ariete

Por tratarse de presión interna.

$$S = .5(f_y)$$

$$t = \frac{Pd}{2S} \quad 2.7.1$$

t < espesor de tubería.

II.8. Revisión de espesor por carga muerta (relleno)

Dicha revisión se efectuara con la siguiente formula:

$$W_c = C_d \delta d_e B_d \quad 2.8.1$$

Donde:

W_c = Carga vertical sobre la tubería, por unidad de longitud (N/m).

C_d = Coeficiente de carga que depende de la relación h_r/B_d (tabla An-1)

h_r = Altura del relleno a partir del lomo del tubo (m).

d_e = Diámetro exterior de la tubería (m).

d = Diámetro de la tubería (interior).

δ = Peso volumétrico del material de relleno (tabla An-5).

B_d = Ancho de zanja.

e = Espesor de pared de tubería.

II.9. Revisión por deflexión vertical

$$\Delta_c = \frac{D_1 K W_c r^3}{EI + 0.061 E' r^3} \quad 2.9.1$$

Donde:

Δ_c = Deflexión de la tubería (mm)

D_1^* = Factor de retardo

K^* = Constante de apoyo

W_c = Carga por unidad de longitud sobre el tubo (N/mm).

r = Radio interno de la tubería (mm)

E = Modulo de elasticidad del material de la tubería (Mpa).

I = Momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud. (mm⁴)

E' = Modulo de deformación del suelo Mpa (tabla An-2 para tuberías de acero y tabla An-8 para el 90% de compactación de la prueba proctor para tuberías de PEAD)

La deflexión permisible es del orden del 5% del diámetro

Por lo que: $.05 \cdot d_e$

Deflexión vertical < deflexión permisible

II.10. Revisión por pandeo

Para este análisis utilizaremos la siguiente formula:

$$P_v = \delta_w h_w + R_w \left[\frac{W_c}{d_e} \right] + \left[\frac{W_L}{d_e} \right] < q_a \quad 2.10.1$$

* Puede tomarse un valor comprendido entre 1.25 y 1.50.

* Se toma 0.1 como un valor recomendado.

Donde:

P_v = Presión de vacío.

h_w = Altura del nivel freático.

δ_w = Densidad del agua freática.

R_w^* = Factor de flotación

W_c = Carga por unidad de longitud sobre el tubo (N/mm).

W_L = Carga viva sobre la tubería.

q_a = Carga de pandeo permisible (Mpa).

d_e = Diámetro exterior de la tubería (mm).

Donde:

$$W_L = C_{SI} \frac{P_s F}{L} \quad 2.10.2$$

W_L = Carga viva sobre la tubería.

C_{SI} = Coeficiente de carga que es una función de la profundidad de relleno sobre el lomo del tubo y el diámetro (tabla An-4)

P_s = Carga concentrada (Kg.).

F = Factor de impacto en función del relleno (tabla An-3).

L = Longitud efectiva de la tubería.

II.11. Límites de aceptación del pandeo

La deflexión permisible de la tubería es del 5% del diámetro para evitar el colapso (el colapso ocurre si se tiene un pandeo del 10 al 20%)

$$q_a = \frac{1}{F.S.} \left[\frac{32R_w B' E' EI}{(d_e)^3} \right]^{1/2} \quad 2.11.1$$

Y

* En función de $(1 - 0.33(h_w/h_r))$.

Para tubos menores de 0.90 m, utilizar la longitud real de la sección y para las otras longitudes mayores utilizar una longitud efectiva de 0.90 m.

$$B' = \frac{1}{1 + (4(e)^{-0.2133h_r})} \quad 2.11.2$$

Donde.

h_r = Altura del relleno a partir del lomo del tubo.

$F.S^*$ = Factor de seguridad que esta en función de la relación h_r/d_e

e = Espesor de pared de tubería de acero.

B' = Coeficiente empírico, (adimensional).

E' = Modulo de reacción del suelo, en Mpa (tabla An-2 para tuberías de acero y tabla An-8 para el 90% de compactación de la prueba proctor para tuberías de PEAD)

II.12. Revisión de esfuerzo por sismo

Para hacer esta revisión se suman las deformaciones axial y longitudinal y los esfuerzos de presión interna y se compara con el límite de fluencia del acero del tubo.

$$\sigma_{a \max} = \pm \frac{EV_{\max}}{2V_s} \quad 2.12.1$$

$$V_s = \frac{V'_s}{0.7} \quad 2.12.2$$

$$\sigma_{f \max} = \pm \frac{Ed_e A_{\max}}{2V_s^2} \quad 2.12.3$$

Deformación axial por sismo

$$\varepsilon' = \left[\frac{V_{\max}}{V_s} \right] + \left[\frac{A_{\max}}{V_s^2} \right] \left[\frac{d_e}{2} \right] \quad 2.12.4$$

* Si $h_r/d_e > 2$, F.S = 2.5; si $h_r/d_e < 2$, F.S = 3

Donde:

σ_{amax} = Esfuerzo axial máximo (Mpa)

$\sigma_{f\ max}$ = Esfuerzo de flexión máximo (Mpa)

V_s = Velocidad aparente de propagación del sismo en dirección horizontal, (mm/s)

V'_s = Velocidad de propagación de las ondas, (mm/s).

ϵ' = Deformación unitaria en dirección axial

E = Modulo de elasticidad del material de la tubería.

V_{max} = Velocidad máxima del terreno, (tabla An-7)

d_e = Diámetro exterior de la tubería (mm).

a_o = Aceleración máxima del terreno (tabla An-6)

g = Aceleración de la gravedad (mm/seg²).

F_g = Factor de grupo para tuberías

A'_{max} = $F_g a_o g$ (mm/seg²)

II.13. **Cálculo del esfuerzo longitudinal debido a la presión interna**

$$S_L = \mu \frac{P d_e}{2t} \quad 2.13.1$$

Datos:

S_L = Esfuerzo longitudinal por presión interna, (Mpa)

d_e = Diámetro exterior, (mm)

μ^* = Relación de poisson del acero

P = Presión máxima de operación, (Mpa).

t = Espesor de pared del tubo (mm)

* Relación de Poisson del acero 0.3

II.14. Esfuerzos actuantes

$$S_T = \sigma_{A_{\max}} + \sigma_{f_{\max}} + S_L \quad 2.14.1$$

El esfuerzo permisible es del 80% de f_y (Mpa)

Esfuerzo permisible. > Esfuerzos actuantes.

III. Memoria de cálculo hidráulica

Propuesta de tubería de acero al carbón API-5L-X52

Introducción

Las tuberías de acero se fabrican comercialmente en diámetros de 3.18 mm (1/8") hasta 1219 mm (48") y son recomendables para líneas de conducción con altas presiones de trabajo. Su utilización obliga a revestirlos contra la corrosión interior y exterior de acuerdo a las normas de PEMEX. Son muy durables, resistentes y adaptables a las distintas condiciones de instalación que se tengan. Además en diámetros de 45 cm. (18") en adelante, se debe de agregar protección catódica.

Estas tuberías de acero deben cumplir con los estándares de AWWA, ASTM y API que le correspondan.

A.P.I	American Petroleum Institute.
A.S.M	American Society of Mechanical Engineers.
A.S.T.M	American Society for Testing and Materials.
A.W.S	American Welding Society
A.W.W.A	American Water Works Association
NMX	Norma Mexicana.

Tabla 3.1.a CALCULO DE SOBREPRESIÓN DE CARGA POR GOLPE DE ARIETE

Datos generales de la conducción

V = 1.41m/s ϕ de tubería = 30" Área de tubo = .46m² Gasto de la tubería = 0.65 m³/s Carga de trabajo = 7.0 Kg./cm²

Formula de perdidas de Manning.

$$h_f = K L Q^2$$

$$K = \frac{10.3(n)^2}{D^{16/3}}$$

Tubería de acero.	Tubería de concreto presforzado.
Datos:	Datos:
n = 0.013	n = 0.015
D = 0.762	D = 0.762
K = 0.007418	K = 0.009876
L = Long.en mts.	L = Long.en mts.

Para el calculo de la sobrepresión se utiliza la siguiente formula:

$$\Delta h = \frac{145 * v}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E_f e}}}$$

Donde:

V =	Velocidad de agua.	1.41	m/seg.
E _o =	Modulo de elasticidad del agua.	20,670	Kg./cm ²
E _f =	Modulo del concreto.	398,000	Kg./cm ²
E _s =	Modulo del acero.	2,039,000	Kg./cm ²
e =	Espesor de tubo de concreto.	5.7	cm.
e =	Espesor de tubo de acero.	0.794	cm.
D =	Diámetro interno del tubo.	76.2	cm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Crucero	Cota de plantilla	Distancia	Cota piezométrica	h _f	Σh _f	Carga disponible	e	Δh	80% Válvulas	20% Tubo	Carga dinámica	Carga total
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
BOMBAS	2408.18		2478.18			70.00	5.7	157.07	125.66	31.41	70.00	101.41
		25		0.1043	0.1043							
1	2409.34		2478.08			68.74	5.700	157.07	125.66	31.41	68.74	100.15
		75		0.3129	0.4173							
2	2409.80		2477.76			67.96	5.700	157.07	125.66	31.41	67.96	99.38
		100		0.4173	0.8345							
3	2410.95		2477.35			66.40	5.700	157.07	125.66	31.41	66.40	97.81
		100		0.4173	1.2518							
4	2411.34		2476.93			65.59	5.700	157.07	125.66	31.41	65.59	97.00
		100		0.4173	1.6690							
5	2411.39		2476.51			65.12	5.700	157.07	125.66	31.41	65.12	96.54
		90.95		0.3795	2.0485							
6	2415.59		2476.13			60.54	5.700	157.07	125.66	31.41	60.54	91.96
		6.90		0.0288	2.0773							
7	2415.70		2476.10			60.40	5.700	157.07	125.66	31.41	60.40	91.82
		7.65		0.0319	2.1093							
8	2415.91		2476.07			60.16	5.700	157.07	125.66	31.41	60.16	91.57
		10.79		0.0450	2.1543							
9	2416.10		2476.03			59.93	5.700	157.07	125.66	31.41	59.93	91.34
		10.46		0.0436	2.1979							
10	2416.21		2475.98			59.77	5.700	157.07	125.66	31.41	59.77	91.19
		8.31		0.0347	2.2326							
11	2416.10		2475.95			59.85	0.794	145.56	116.45	29.11	59.85	88.96
		23.34		0.0732	2.3057							
12	2416.12		2475.87			59.75	0.794	145.56	116.45	29.11	59.75	88.87
		13.29		0.0417	2.3474							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Crucero	Cota de plantilla	Distancia	Cota piezométrica	h_f	Σh_f	Carga disponible	e	Δh	80% Válvulas	20% Tubo	Carga dinámica	Carga total
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
13	2416.15		2475.83			59.68	0.794	145.56	116.45	29.11	59.68	88.79
		11.60		0.0364	2.3838							
14	2421.53		2475.80			54.27	0.794	145.56	116.45	29.11	54.27	83.38
		10.93		0.0343	2.4180							
15	2426.23		2475.76			49.53	0.794	145.56	116.45	29.11	49.53	78.64
		14.40		0.0451	2.4631							
16	2431.10		2475.72			44.62	0.794	145.56	116.45	29.11	44.62	73.73
		19.02		0.0596	2.5228							
17	2432.98		2475.66			42.68	0.794	145.56	116.45	29.11	42.68	71.79
		19.61		0.0615	2.5842							
18	2434.99		2475.60			40.61	0.794	145.56	116.45	29.11	40.61	69.72
		19.68		0.0617	2.6459							
19	2436.99		2475.53			38.54	0.794	145.56	116.45	29.11	38.54	67.66
		19.58		0.0614	2.7073							
20	2439.00		2475.47			36.47	0.794	145.56	116.45	29.11	36.47	65.58
		19.72		0.0618	2.7691							
21	2440.97		2475.41			34.44	0.794	145.56	116.45	29.11	34.44	63.55
		19.71		0.0618	2.8308							
22	2442.72		2475.35			32.63	0.794	145.56	116.45	29.11	32.63	61.74
		19.68		0.0617	2.8925							
23	2444.19		2475.29			31.10	0.794	145.56	116.45	29.11	31.10	60.21
		19.93		0.0625	2.9550							
24	2445.39		2475.23			29.84	0.794	145.56	116.45	29.11	29.84	58.95
		11.18		0.0350	2.9900							
25	2445.39		2475.19			29.80	0.794	145.56	116.45	29.11	29.80	58.91
		17.14		0.0537	3.0437							
26	2445.39		2475.14			29.75	0.794	145.56	116.45	29.11	29.75	58.86
		13.72		0.0430	3.0867							
27	2451.16		2475.09			23.93	0.794	145.56	116.45	29.11	23.93	53.04
		27.22		0.0853	3.1720							
28	2454.50		2475.01			20.51	0.794	145.56	116.45	29.11	20.51	49.62
		4.61		0.0144	3.1865							
34	2454.50		2474.99			20.49	0.794	145.56	116.45	29.11	20.49	49.61

ESCRIPCIÓN DE TABLA DE GOLPE DE ARIETE

Columna 1	Punto donde comienza la medición.
Columna 2	Cota de plantilla.
Columna 3	Distancia existente entre puntos de medición.
Columna 4	Cota piezométrica.
Columna 5	Perdidas por fricción. Utilización de las expresiones: $K = \frac{10.3(n)^2}{D^{16/3}}$ y $h_f = KLQ^2$
Columna 6	Suma acumulada de las perdidas por fricción.
Columna 7	Carga disponible. (Columna 4) – (Columna 2).
Columna 8	Espesor de pared de tubería.
Columna 9	Sobre presión por golpe de ariete, utilización de la expresión: $\Delta h = \frac{145 * v}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E_f e}}}$
Columna 10	Consideración de que el 80% del golpe de ariete es tomado por las válvulas. .8 * Columna 8
Columna 11	Consideración de que el 20% del golpe de ariete es tomado por la tubería. .2 * Columna 8
Columna 12	Carga dinámica. Columna 4 – Columna 2.
Columna 13	Carga total 20% de la carga por golpe de ariete + columna 12

III.1. Cálculo de sobre presión por golpe de ariete

Datos:

Para el calculo se ha propuesto tubo de acero al carbón designación API-5L-X52 grado B de espesor de pared de $5/16'' = 7.9\text{mm}$, diámetro de $30'' = 762\text{mm}$, una velocidad del fluido dentro del conducto de 1.41m/s y una f_y de la tubería = $2460 \text{ kg/cm}^2 = 241 \text{ Mpa}$
Para lo cual utilizaremos las expresiones 2.5.7 y 2.5.6

$$a = \frac{1439}{\sqrt{1 + \frac{1}{100} (.762 / .0079)}}$$

$$a = \frac{1439}{\sqrt{1.9645}} = 1026.6 \text{ m/s}$$

$$P = (1000)(1026.6)(1.41) = 1447506 \text{ Pa} = 1.44 \text{ Mpa}$$

III.2. Revisión de espesor

Para esta revisión se utilizara la expresión 2.6.1 con los siguientes datos

t = Espesor de pared de tubo.

d = 0.762 m.

P = 1.44 Mpa.

S = Esfuerzo = $.75 * (f_y) = .75 (241) = 180.75 \text{ Mpa}$.

$$t = \frac{1.44 * .762}{2(180.75)}$$

$$t = \frac{1.09728}{361.5} = .0030 \text{ m}$$

t = $.003\text{m} = 3.0\text{mm} < 7.9 \text{ mm}$ por lo tanto nuestro espesor de tubería si pasa.

* .75 por ser golpe de ariete

III.3. Revisión por presión interna

La presión interna de diseño no será menor que la máxima presión de operación a la que pueda estar sujeta durante su vida útil así como la máxima presión mas presión requerida para vencer las perdidas por fricción y cualquier contrapresión que pudiera presentarse (golpe de ariete).

$$\text{Presión de trabajo} = 0.686 \text{ Mpa.} + \text{Golpe de ariete} = 1.44 \text{ Mpa.} = 2.126 \text{ Mpa.}$$

Para este caso $S = .5 \cdot f_y = .5 (241) = 120.5 \text{ Mpa.}$ Por tratarse de presión interna.

Utilizaremos la expresión 2.7.1

$$t = \frac{2.126 \cdot .762}{2(120.5)}$$

$$t = \frac{1.6200}{241} = .00672 \text{ m} = 6.72 \text{ mm} < 7.9 \text{ mm}$$

III.4. Revisión de espesor por carga muerta (relleno)

Dicha revisión se efectuara con la expresión 2.8.1 Considerando que la altura del relleno será desde el lomo del tubo hasta la superficie de 1.50m y que el material de relleno será de tepetate, el cual tiene un peso volumétrico de 1800 kg/m^3 y un modulo de elasticidad de 8.83 Mpa.

$$(1800 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2) = 17658 \text{ N/m}^3$$

Para calcular C_d

$h_r/B_d = 1.50/1.6 = .9375$ dato con el que entraremos a la tabla an-1 el cual nos da como resultado que $C_d = .9$

Sustituimos

$$W_c = .9 (17658) ((0.762 + 2(.0079))) (1.6) = 19777.52 \text{ N/m}$$

Lo que da como resultado que la carga vertical por relleno es de $2,017.3 \text{ kg/m} = 19,777.52 \text{ N/m}$

* 0.5 por ser una condición normal de trabajo

III.5. Revisión por deflexión vertical

Utilizando la expresión 2.9.1 y teniendo los siguientes datos

$$D_1 = 1.25$$

$$K = 0.1$$

$$W_c = 19777.52 \text{ N/m} = 19.77752 \text{ N/mm}$$

$$r = 762 \div 2 = 381 \text{ mm}$$

$$E = 205882 \text{ Mpa.}$$

$$I = t^3 \div 12 = (7.9)^3 \div 12 = 41.08 \text{ mm}^4$$

$$E' = 9.72 \text{ Mpa (tabla an-2)}$$

Sustituyendo:

$$\Delta_c = \frac{1.25(0.1)(19.77752)(381)^3}{(205882)(41.08) + 0.061(9.72)(381)^3}$$

$$\Delta_c = \frac{136727783.2}{41249868.27} = 3.31 \text{ mm}$$

La deflexión permisible es del orden del 5% del diámetro

$$\text{Por lo que: } 0.05 \cdot d_e = (0.05) \cdot (777.8) = 38.89 \text{ mm}$$

Por lo tanto $\Delta_c = 3.31 < 38.89 \text{ mm}$ si pasa por deflexión vertical.

III.6. Revisión por pandeo

Para este análisis utilizaremos las fórmulas 2.10.1 y 2.10.2 conociendo que la presión de vacío para este caso es cero ya que la presión interna es mayor que la atmosférica y positiva y la altura del nivel freático, se considerara inexistente, factor de flotación que será igual a 1.0, la carga concentrada en kilogramos para este caso es de 6500kg, la longitud efectiva de la tubería es de 0.9 m, la altura del relleno sobre el lomo del tubo es de 1.5 m y el ancho de zanja de 1.6 m.

$$D/2H = .254 \approx .3 \text{ y}$$

$$B_o/2H = .533 \approx .5$$

Resolviendo la 2.10.2 tenemos que:

$$W_L = .224 \frac{6500 * 1.0}{.9} = 1617.7 \text{ kg/m ó } 15859 \text{ N/m}$$

Con este valor obtenido regresamos a la ecuación 2.10.1 y sustituimos

$$0 + 0 + 1.0 \left[\frac{19777.52}{.7778} \right] + \left[\frac{15859}{.7778} \right] = 45817 \text{ Pa} = .045817 \text{ Mpa}$$

Una vez obtenido esto procederemos a calcular el límite de aceptación del pandeo con la ecuación 2.11.1 y 2.11.2

Sustituyendo en la ecuación 2.11.2 tenemos que:

$$B' = \frac{1}{1 + (4 * e^{-.2133(1.5)})} = .2561$$

Y regresando a la ecuación 2.11.1 para sustituir valores tenemos que:

$$q_a = \frac{1}{3} \left[\frac{32(1.0)(.2561)(9.72)(205940)(41.08)}{(777.8)^3} \right]^{1/2} = 0.39 \text{ Mpa}$$

Esto es que:

$$0.045817 < 0.39$$

Esto nos indica que no habrá problemas por pandeo debido a cargas externas sobre el tubo.

III.7. **Revisión de esfuerzo por sismo**

Los datos para la revisión por efectos de sismo son los siguientes:

Se considera un suelo constituido principalmente por tepetate con peso volumétrico de 1800 kg/m³ en la zona de lomerío de Tlalnepantla que se encuentra en el borde del Valle de México donde la velocidad de propagación de onda sísmica se considera de 160 m/seg. mediante las fórmulas se suman las deformaciones axial y longitudinal y los esfuerzos de presión interna y se compara con el límite de fluencia del acero del tubo, la vel. máxima del terreno, es de 148 mm/seg de acuerdo a la zona sísmica B y tipo de suelo III de la tabla An-7, la aceleración máxima del terreno es de 0.08 para la zona sísmica B tipo de suelo III de la tabla An-6 y el factor de grupo para tuberías por pertenecer al grupo de estructuras "A" es de 1.5

Para el cálculo de la velocidad aparente de propagación de las ondas, utilizaremos la expresión 2.12.2.

$$V_S = \frac{160000}{0.7} = 228571.4 \text{ mm/seg.}$$

Y para el cálculo de la deformación en la dirección axial la expresión 2.12.4

$$\varepsilon' = \left(\frac{148}{228571.4} \right) + \left(\frac{1177.2}{(228571.4)^2} \right) \left(\frac{.7778}{2} \right) = .00064$$

$\varepsilon' = 0.00064 < 0.006$ pasa por deformación.

Para el cálculo del esfuerzo máximo de flexión y axial de las ondas sísmicas se utilizarán las expresiones 2.12.1 y 2.12.3 respectivamente

$$\sigma_{amax} = \pm \frac{205882 * 148}{2(228571.4)} = \pm 66.65 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{fmax} = \pm \frac{205882 * 777.8 * 1177.2}{2(228571.4)^2} = \pm 1.80 \text{ Mpa}$$

Cálculo del esfuerzo longitudinal debido a la presión interna utilizaremos la expresión 2.13.1 sabiendo los siguientes datos

Datos:

$\mu = 0.3$ relación de poisson del acero

$P =$ presión máxima de operación $7.0 \text{ kg/cm}^2 = 7.0 \times 0.0981 = 0.686 \text{ Mpa}$

Sustituyendo:

$$S_L = .3 \frac{.686 * 777.8}{2 * 7.9}$$

$$S_L = .3 \frac{533.57}{15.8} = 10.13 \text{ Mpa}$$

Para la Suma de esfuerzos actuantes se utilizara la ecuación 2.14.1 una vez ya conocidos los datos de los esfuerzos

$$66.67 + 1.80 + 10.14 = 78.58 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo permisible es del 80% de $f_y = 0.8 (241) = 192.8 \text{ Mpa}$

Lo que resulta que:

$192.8 \text{ Mpa} > 78.58 \text{ Mpa}$ por lo que podemos ver que si pasa

Por lo tanto el tubo propuesto de tubo de acero al carbón designación API-5L-X52 grado B de 30" de diámetro, con espesor de pared de 5/16" (762. mm y $t = 7.9 \text{ mm}$).

Propuesta de tubería de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Introducción

Las tuberías de polietileno de alta densidad se fabrican en cuatro diferentes relaciones de dimensión y son aptas para trabajar a las presiones especificadas. Según las condiciones de operación se aplica un factor de seguridad igual a 3 ó 4 veces la presión de trabajo para llegar a la presión de ruptura. El factor de 3 (F_3) se aplica en líneas subterráneas en terreno estable, mientras que el factor de 4 (F_4) se aplica en líneas expuestas a movimientos de terreno o tráfico pesado y líneas a la intemperie.

La relación de diámetro para este tipo de tuberías hidráulica se calculan con la

siguiente formula $RD = \frac{D}{e_{\min}}$ en donde RD = Relación de Diámetro

En tuberías, el material moldeado debe cumplir con la norma ASTM-D 3350. Así mismo, en tubería, el material deberá cumplir con la norma ANSI/AWWA C 906-99, totalmente y con la NMX-E-018-1996-SCFI.

A.P.I	American Petroleum Institute.
A.S.M	American Society of Mechanical Engineers.
A.S.T.M	American Society for Testing and Materials.
A.W.S	American Welding Society
A.W.W.A	American Water Works Association
NMX	Norma Mexicana.

Tabla 3.8.a CALCULO DE SOBREPRESIÓN DE CARGA POR GOLPE DE ARIETE

Datos generales de la conducción

V = 1.41m/s **φ de tubería = 30"** **Área de tubo = .46m²** **Gasto de la tubería = 0.65 m³/s** **Carga de trabajo = 7.0 Kg./cm²**

Formula de perdidas de Manning.

$$h_f = K L Q^2$$

$$K = \frac{10.3(n)^2}{D^{16/3}}$$

Tubería de PAD.	Tubería de concreto presforzado.
Datos:	Datos:
n = 0.009	n = 0.015
D = 0.762	D = 0.762
K = 0.003555	K = 0.009876
L = Long.en mts.	L = Long.en mts.

Para el calculo de la sobrepresión se utiliza la siguiente formula:

$$\Delta h = \frac{145 * v}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E_f e}}}$$

Donde:

V =	Velocidad de agua.	1.41	m/seg.
E_o =	Modulo de elasticidad del agua.	20,670	Kg./cm ²
E_f =	Modulo del concreto.	398,000	Kg./cm ²
E_s =	Modulo de PAD.	8,085	Kg./cm ²
e =	Espesor de tubo de concreto.	5.7	cm.
e =	Espesor de tubo de PAD.	6.92	cm.
D =	Diámetro interno del tubo.	76.2	cm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Crucero	Cota de plantilla	Distancia	Cota piezométrica	h _f	Σh _f	Carga disponible	e	Δh	80% Válvulas	20% Tubo	Carga dinámica	Carga total
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
BOMBAS	2408.18		2478.18			70.00	5.7	157.07	125.66	31.41	70.00	101.41
		25		0.1043	0.1043							
1	2409.34		2478.08			68.74	5.70	157.07	125.66	31.41	68.74	100.15
		75		0.3129	0.4173							
2	2409.80		2477.76			67.96	5.70	157.07	125.66	31.41	67.96	99.38
		100		0.4173	0.8345							
3	2410.95		2477.35			66.40	5.70	157.07	125.66	31.41	66.40	97.81
		100		0.4173	1.2518							
4	2411.34		2476.93			65.59	5.70	157.07	125.66	31.41	65.59	97.00
		100		0.4173	1.6690							
5	2411.39		2476.51			65.12	5.70	157.07	125.66	31.41	65.12	96.54
		90.95		0.3795	2.0485							
6	2415.59		2476.13			60.54	5.70	157.07	125.66	31.41	60.54	91.96
		6.90		0.0288	2.0773							
7	2415.70		2476.10			60.40	5.70	157.07	125.66	31.41	60.40	91.82
		7.65		0.0319	2.1093							
8	2415.91		2476.07			60.16	5.70	157.07	125.66	31.41	60.16	91.57
		10.79		0.0450	2.1543							
9	2416.10		2476.03			59.93	5.70	157.07	125.66	31.41	59.93	91.34
		10.46		0.0436	2.1979							
10	2416.21		2475.98			59.77	5.70	157.07	125.66	31.41	59.77	91.19
		8.31		0.0347	2.2326							
11	2416.10		2475.95			59.85	6.92	37.87	30.29	7.57	59.85	67.42
		23.34		0.0351	2.2677							
12	2416.12		2475.91			59.79	6.92	37.87	30.29	7.57	59.79	67.37
		13.29		0.0200	2.2876							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Crucero	Cota de plantilla	Distancia	Cota piezométrica	h_f	Σh_f	Carga disponible	e	Δh	80% Válvulas	20% Tubo	Carga dinámica	Carga total
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
13	2416.15		2475.89			59.74	6.92	37.87	30.29	7.57	59.74	67.32
		11.60		0.0174	2.3050							
14	2421.53		2475.87			54.34	6.92	37.87	30.29	7.57	54.34	61.92
		10.93		0.0164	2.3215							
15	2426.23		2475.86			49.63	6.92	37.87	30.29	7.57	49.63	57.20
		14.40		0.0216	2.3431							
16	2431.10		2475.84			44.74	6.92	37.87	30.29	7.57	44.74	52.31
		19.02		0.0286	2.3717							
17	2432.98		2475.81			42.83	6.92	37.87	30.29	7.57	42.83	50.40
		19.61		0.0295	2.4011							
18	2434.99		2475.78			40.79	6.92	37.87	30.29	7.57	40.79	48.36
		19.68		0.0296	2.4307							
19	2436.99		2475.75			38.76	6.92	37.87	30.29	7.57	38.76	46.33
		19.58		0.0294	2.4601							
20	2439.00		2475.72			36.72	6.92	37.87	30.29	7.57	36.72	44.29
		19.72		0.0296	2.4897							
21	2440.97		2475.69			34.72	6.92	37.87	30.29	7.57	34.72	42.29
		19.71		0.0296	2.5193							
22	2442.72		2475.66			32.94	6.92	37.87	30.29	7.57	32.94	40.51
		19.68		0.0296	2.5489							
23	2444.19		2475.63			31.44	6.92	37.87	30.29	7.57	31.44	39.01
		19.93		0.0299	2.5788							
24	2445.39		2475.60			30.21	6.92	37.87	30.29	7.57	30.21	37.78
		11.18		0.0168	2.5956							
25	2445.39		2475.58			30.19	6.92	37.87	30.29	7.57	30.19	37.77
		17.14		0.0257	2.6213							
26	2445.39		2475.56			30.17	6.92	37.87	30.29	7.57	30.17	37.74
		13.72		0.0206	2.6419							
27	2451.16		2475.54			24.38	6.92	37.87	30.29	7.57	24.38	31.95
		27.22		0.0409	2.6828							
28	2454.50		2475.50			21.00	6.92	37.87	30.29	7.57	21.00	28.57
		4.61		0.0069	2.6897							
34	2454.50		2475.49			20.99	6.92	37.87	30.29	7.57	20.99	28.56

DESCRIPCIÓN DE TABLA DE GOLPE DE ARIETE

Columna 1	Punto donde comienza la medición.
Columna 2	Cota de plantilla.
Columna 3	Distancia existente entre puntos de medición.
Columna 4	Cota piezométrica.
Columna 5	Perdidas por fricción. Utilización de las expresiones: $K = \frac{10.3(n)^2}{D^{16/3}}$ y $h_f = KLQ^2$
Columna 6	Suma acumulada de las perdidas por fricción.
Columna 7	Carga disponible. (Columna 4) – (Columna 2).
Columna 8	Espesor de pared de tubería.
Columna 9	Sobre presión por golpe de ariete, utilización de la expresión: $\Delta h = \frac{145 * v}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E_f e}}}$
Columna 10	Consideración de que el 80% del golpe de ariete es tomado por las válvulas. .8 * Columna 8
Columna 11	Consideración de que el 20% del golpe de ariete es tomado por la tubería. .2 * Columna 8
Columna 12	Carga dinámica. Columna 4 – Columna 2.
Columna 13	Carga total 20% de la carga por golpe de ariete + columna 12

III.8. **Calculo de sobre presión por golpe de ariete**

Como segunda alternativa para el proyecto se ha propuesto instalar tubería de polietileno de alta densidad (PAD) de 30' y de RD-13.5 por lo que será necesario calcular nuevamente todos los fenómenos a que esta este expuesta una vez colocada.

Para el cálculo del golpe de ariete se utiliza la fórmula 2.5.1 con los siguientes datos:

$$\phi = 76.2 \text{ cm.}$$

$$V_a = 1.43 \text{ m/seg.}$$

$$e = 0.05645\text{m} = 5.645 \text{ cm.}$$

$$E_a = 20670 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_t = 8085 \text{ kg/cm}^2$$

Substituyendo valores.

$$h = \frac{145 * 1.41}{\sqrt{1 + \frac{20670 * 76.2}{8085 * 5.645}}}$$

$$h = \frac{145 * 1.41}{\sqrt{1 + \frac{1575054}{45639.825}}} = 34.3\text{m}$$

Por lo que la sobrepresión por golpe de ariete será de 34.3 m = 3.43 Kg/cm.

III.9. **Revisión de espesor**

De las tablas por perdida de presión debido a la fricción se ve que en el crucero no 11 que es donde comienza la tubería de polietileno tiene una carga de presión de trabajo de 59.86 mts = 5986 kg/cm² para revisar la presión sumamos la carga dinámica + la carga por golpe de ariete lo que da como resultado lo siguiente:

Carga dinámica + carga por golpe de ariete = carga total

$$59.86 + 34.3 = 94.16\text{mts} = 9.416 \text{ kg/cm.}$$

De la siguiente tabla de tuberías de polietileno

RD	Presiones de trabajo a 23°C kg/cm ² .	Presión de prueba 23°C kg/cm ² .
9	14.0	21.0
11	11.2	16.6
13.5	9.3	13.5
17	7.5	10.5
21	5.6	8.4
26	4.5	6.8
32.5	3.6	5.4
41	2.8	4.2

Se observa que la tubería de RD-13.5 tiene como límite de carga de trabajo 9.3 kg/cm. y el tubo estará trabando a 9.416 kg/cm². por lo que se toma el siguiente valor de la tabla es decir RD-11 que soporta una presión de trabajo de 11.2 kg/cm², por lo tanto el espesor de pared cambia el cual será de 6.92 cm.

III.10. **Revisión de espesor por carga muerta (relleno) y carga viva**

Utilizaremos la expresión 2.8.1 teniendo las siguientes consideraciones; La altura del relleno se toma desde el lomo del tubo hasta la superficie en este caso es de 1.50 mts se considera material de banco (tepetate) con peso volumétrico de $\delta=1800 \text{ kg/m}^3$

Sustituyendo:

$$h / B = \frac{1.50}{1.60} = 0.94 \text{ con este valor se entra a la grafica An-1 y se encuentra el valor de}$$

$$C_d = 0.78$$

Substituyendo en 2.8.1 tenemos que:

$$W_e = 0.78 (1800) (.9) (1.60) = 2021.76 \text{ Kg/ m} = 20.21 \text{ Kg/cm}$$

La Ecuación para determinar las cargas vivas concentradas debido al paso de vehículos queda expresada de la siguiente forma.

$$W_c = C_s \frac{P}{LF'}$$

Donde:

W_c = Carga vertical viva en kg/m

P = Presión ejercida por los vehículos

C_s = Coeficiente de carga superpuesta

F' = Factor de impacto en función de la altura de recubrimiento

L = Longitud de la tubería afectada por la carga viva

Sustituyendo valores:

P = Carga concentrada en kilogramos $P = 6500 \text{ Kg}$. (considerando el peso de vehículos que transitan por el lugar).

C_s = coeficiente de carga superpuesta

$d_e / 2h = .9 / (2 * 1.5) = 0.3$ y de

$B_d / 2h = 1.60 / (2 * 1.5) = 0.53$ se entra a la tabla de holl y Newmark se encuentra $C_s = 0.224$

F' = Factor de impacto en función de la altura de recubrimiento de la tabla An - 3 = 1.35

L = Longitud de la tubería afectada por la carga viva = 0.90 m.

Sustituyendo valores

$$W_c = .224 \frac{6500}{.9(1.35)} = 1198.35 \text{ kg/m} = 11.98 \text{ kg/cm}.$$

III.11. Revisión por deflexión vertical

Para esta revisión utilizaremos la expresión 2.9.1 con la única variante de la se tendrá que sumar la carga viva y la carga muerta conociendo los siguientes datos, 1.25 de factor de retardo, 0.1 constante de apoyo cama de arena, 8085 kg/cm² modulo de elasticidad del polietileno de alta densidad, 27.37 cm⁴ de Momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud y 33.0 del modulo de deformación del suelo tabla An-8 para 90% proctor

Sustituyendo:

$$\Delta_c = (.1)(38.1)^3 \left(\frac{(1.25)(11.98 + 20.217)}{(8085)(27.37) + .061(33)(38.1)^3} \right)$$

$$\Delta_c = 5530.6341 \left(\frac{40.24625}{332618.1144} \right) = 0.6cm$$

Deflexión permisible 5% de diámetro exterior $0.05 d_e = 0.05 \times 777.8 = 38.89$ mm.

Por lo tanto $\Delta_c = 6.6$ mm < 45.0 mm el tubo no se deforma mas de lo permisible y queda tubo de polietileno de alta densidad de 30" (762 mm) de diámetro, designación RD-11.

IV. Conclusiones y recomendaciones

C O N C L U S I O N E S

Las expectativas de cambio dentro del campo de la hidráulica práctica tanto de proyectos nuevos como de proyectos por mejorar es muy interesante e importante, además, de tener una aplicación amplia en la solución de este tipo de sistemas.

Es por esta razón que se deberían de implementar nuevas técnicas para el desarrollo de proyectos, acordes a las necesidades futuras de la sociedad, ya que hoy en día el suministro de agua a los diversos núcleos de población es de gran importancia y por que no decirlo un tema del que se tendrá que hablar con mayor frecuencia mientras mas nos acerquemos a límite del agotamiento de los mantos acuíferos.

Para la realización del presente trabajo, se tuvo que recurrir tanto a información bibliográfica como de experiencias personales de aquellas personas que se dedican a la operación y mantenimiento de infraestructura hidráulica (CONAGUA).

Concluyendo se puede observar que de los análisis realizados para las opciones presentadas, ambos son correctos y en verdad son opciones muy factibles, sin embargo, la opción de tubería de acero será la elección a seguir ya que las piezas especiales a utilizar se tendrán que fabricar en el sitio mientras que si se optara por la opción de PEAD las piezas se tendrían que mandar a fabricar y esto implicaría un costo mas elevado y un lento avance en las obras.

R E C O M E N D A C I O N E S

1.- Difundir los conocimientos, investigaciones y experiencias, dando conferencias, cursos prácticos y visitas a campo no como espectadores sino como parte del problema para entrar en contacto con la problemática para aplicar el conocimiento adquirido dentro del aula y así dar una posible solución al problema latente.

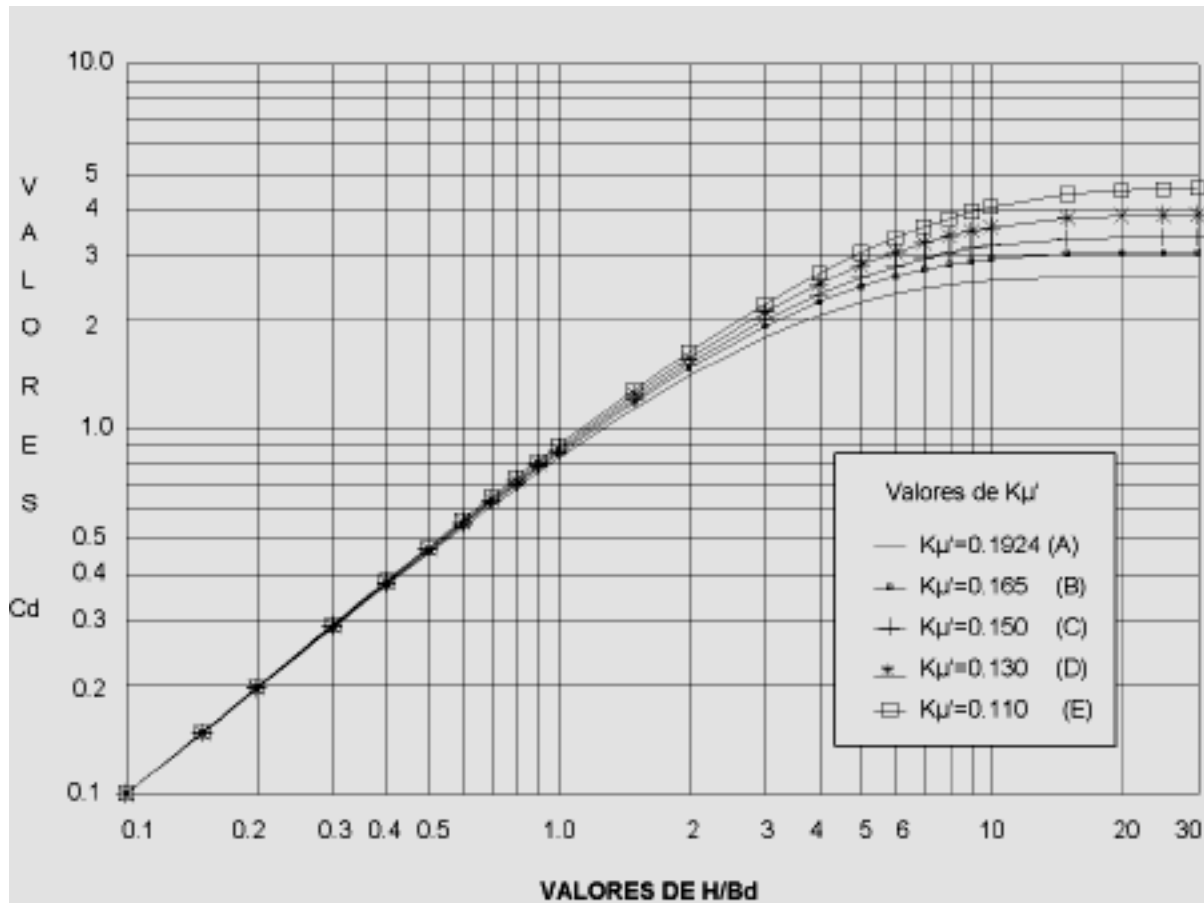
2.- Planear las obras hidráulicas a futuro en coordinación con otras dependencias para no tener problemáticas similares ya que para esta caso en particular en el momento de realizar la conexión se tubo que desperdiciar gran cantidad de agua aproximadamente 500 m^3 .

3.- Planear obras hidráulicas que duren y que en verdad sean viables a futuro procurando el menor gasto posible de recursos económicos.

Anexos

Tabla An-1

Valores del Coeficiente Cd



(A) Para materiales granulares sin cohesión; (B) Máximo para arena y grava; (C) Máximo para suelos saturados; (D) Máximo para arcillas; (E) Máximo para arcillas saturadas.

Tabla An-2

Valores medios de propiedades de las arcillas de la Ciudad de México, zona del lago, (Hiriart y Marshall, 1969).

Propiedades	Formación arcillosa superior		Capa dura		Formación arcillosa inferior	
	Numero determinaciones	Valor medio	Numero determinaciones	Valor medio	Numero determinaciones	Valor medio
Contenido de agua natural W _n (%)	1445	344,6	38	57,9	173	288
Limite líquido WL (%)	1155	327,2	27	58,6	132	219,3
Limite plástico W _p (%)	1246	90,2	26	45,2	128	69,3
Densidad de sólidos SS	1437	2,416	35	2,58	170	2,478
Relación de vacíos inicial e _i	1315	8,37	22	1,36	140	5,95
Resistencia a la compresión q _u (kg/cm ²)	878	0,48	16	2,43	114	0,91
Modulo de deformación M (kg/cm ²)	878	23,2	16	99,2	114	45,4

Tabla An-3

Factor de impacto vs. Profundidad de relleno

Profundidad de relleno (m)	Carreteras	Vías de FF.CC.	Pistas de Aterrizaje
0.0 a 0.3	1.50	1.75	1.00
0.3 a 0.6	1.35	-	1.00
0.6 a 0.9	1.15	-	1.00
Mayor a 0.9	1.00	-	1.00

Tabla An-4

Los valores de Cs pueden ser determinados con la siguiente tabla:

Valores del coeficiente de carga Cs, para cargas concentradas y superpuestas centradas verticalmente sobre el conducto.

$$\frac{M}{2H} \quad \text{ó} \quad \frac{D}{2H}$$

D/2H	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	5,0
Bc/2H														
0,1	0,019	0,037	0,053	0,067	0,079	0,089	0,097	0,103	0,108	0,112	0,117	0,121	0,124	0,128
0,2	0,037	0,072	0,103	0,131	0,155	0,174	0,189	0,202	0,211	0,219	0,229	0,238	0,244	0,248
0,3	0,053	0,103	0,149	0,190	0,224	0,252	0,274	0,292	0,306	0,318	0,333	0,345	0,355	0,360
0,4	0,067	0,131	0,190	0,241	0,284	0,320	0,349	0,373	0,391	0,405	0,425	0,440	0,454	0,460
0,5	0,079	0,155	0,224	0,284	0,336	0,479	0,414	0,441	0,463	0,481	0,505	0,525	0,540	0,548
0,6	0,089	0,174	0,252	0,320	0,379	0,428	0,467	0,499	0,524	0,544	0,572	0,596	0,613	0,624
0,7	0,097	0,189	0,274	0,349	0,414	0,467	0,511	0,546	0,584	0,597	0,628	0,65	0,674	0,688
0,8	0,103	0,202	0,292	0,373	0,441	0,499	0,546	0,584	0,615	0,639	0,674	0,703	0,725	0,740
0,9	0,108	0,211	0,306	0,391	0,463	0,524	0,574	0,615	0,647	0,673	0,711	0,742	0,766	0,784
1,0	0,112	0,219	0,318	0,405	0,481	0,544	0,597	0,639	0,673	0,701	0,740	0,774	0,800	0,816
1,2	0,117	0,229	0,333	0,425	0,505	0,572	0,628	0,674	0,711	0,740	0,783	0,820	0,849	0,868
1,5	0,121	0,238	0,345	0,440	0,525	0,596	0,650	0,703	0,742	0,774	0,820	0,861	0,894	0,916
2,0	0,124	0,244	0,355	0,454	0,54	0,613	0,674	0,725	0,766	0,800	0,849	0,894	0,930	0,956

Influencia de coeficiente para la solución de la integración de Holl y Newmark en la ecuación de Boussinesq para la tensión vertical.

Tabla An-5**Propiedades del material de relleno**

No.	Descripción de relleno	Angulo de fricción interna (P)	Peso volumétrico Kg./m ³
1	Arcilla húmeda	12°	2000
2	Suelos orgánicos	12°	1700
3	Arena húmeda	14°	1500
4	Arena saturada	15°	1600
5	Barro	18°	2100
6	Terrenos de aluvión húmedo	20°	2000
7	Barro húmedo	22°	2100
8	Aluvión-roca pulverizada	25°	1800
9	Arena suelta	31°	1700
10	Grava y arena suelta	33°	2000
11	Terreno granular compacto	37°	1900

Tabla An-6

Espectros de diseño sísmico

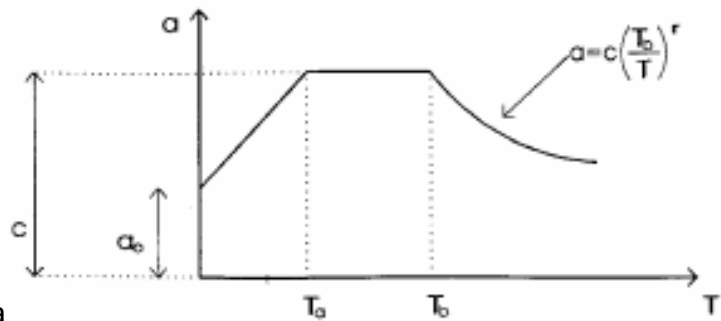
Zona sísmica	Tipo de suelo	a_o ¹	C ²	$T_a(s)$ ³	$T_b(s)$ [*]	r ⁴
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
C	I	0.36	0.36	--	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	--	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	--	1.9	1
D	I	0.50	0.50	--	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	--	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	--	1.7	1

La aceleración sísmica se obtiene:

$$a = a_o + (c - a_o) \frac{T}{T_a} ; \text{ Si } T < T_a$$

$$a = c ; \text{ Si } T_a < T < T_b$$

$$a = c \left[\frac{T_b}{T} \right]^r ; \text{ Si } T > T_b$$



Donde **T** es el periodo natural de tubería

$$T = \frac{2}{P} \left[\frac{mL^4}{EI} \right]^{1/2}$$

Donde:

- m** Masa por unidad de longitud de tubería.
- L** Longitud del tramo de tubería.
- E** Modulo de elasticidad del acero.
- I** Momento de inercia de la sección transversal.
- P** Presión de viento $((.004) * (V_D)^2)$

¹ Coeficiente de aceleración del terreno.

² Coeficiente sísmico.

³ Periodo característico que delimita la meseta.

^{*} Periodo característico que delimitan la meseta.

⁴ Exponente que define la parte curva del espectro de diseño.

Tabla An-7

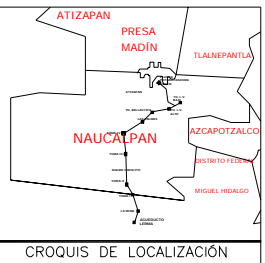
Velocidades máximas del terreno

Zona sísmica	Tipo de suelo	V _o (cm)
A	I	1.3
	II	4.4
	III	7.8
B	I	2.2
	II	8.1
	III	14.8
C	I	4.2
	II	15.0
	III	21.2
D	I	4.9
	II	16.8
	III	23.5

Tabla An-8

Compactación

Prueba proctor modificada	Altura de relleno H	Modulo de reacción del suelo E'	Altura de relleno H	Modulo de reacción del suelo E'
95%	5	81	1.5	49.5
90%	5	54	1.5	33.0
85%	5	36	1.5	22.0
80%	5	24	1.5	14.66
75%	5	16	1.5	9.77

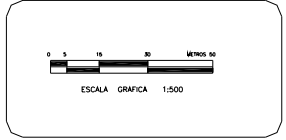
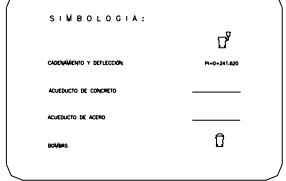


CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

DATOS DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
 Longitud del tramo por reubicar: 304.36 m

Notas de tubería
Protección de tubería de acero
 Interior: Primario epoxico catalizado, acabado epoxico catalizado de alto contenido de solidos de 8 milésimas de espesor.
 Exterior: Esmalte de alquitran de hulla y malla de fibra de vidrio y filtro.
 Las secciones de excavación y relleno para aljar tubería se podrán modificar en campo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y ordenados o autorizados por la supervisión.
 Se deberá verificar en campo que la posición de las válvulas de admisión y expulsión de aire combinadas, así como las de desague se ubiquen justamente en las crestas tanto superior como inferior que resulten del trazo y nivelación.

Notas de soldadura
 La soldadura en la tubería y piezas especiales de acero sera con la especificación HL-70.
 Queda prohibido cualquier forma de aceleración del proceso de enfriamiento de las juntas soldadas.
 Las superficies y bordes en que se depositará la soldadura deberán de ser lisas, uniformes, libres de mareas, grietas u otros defectos que puedan afectar desfavorablemente la calidad o resistencia de la junta, ademas no debe de haber en ella, ni en ningún punto situado a menos de 5 cm. de los bordes del metal escoria, oxido, grasa, pintura u otro material externo que impida una soldadura correcta, o produzca humos inconvenientes.
 Las pruebas de laboratorio que se realicen a las soldaduras deberán de ser autorizadas por el estructurista.



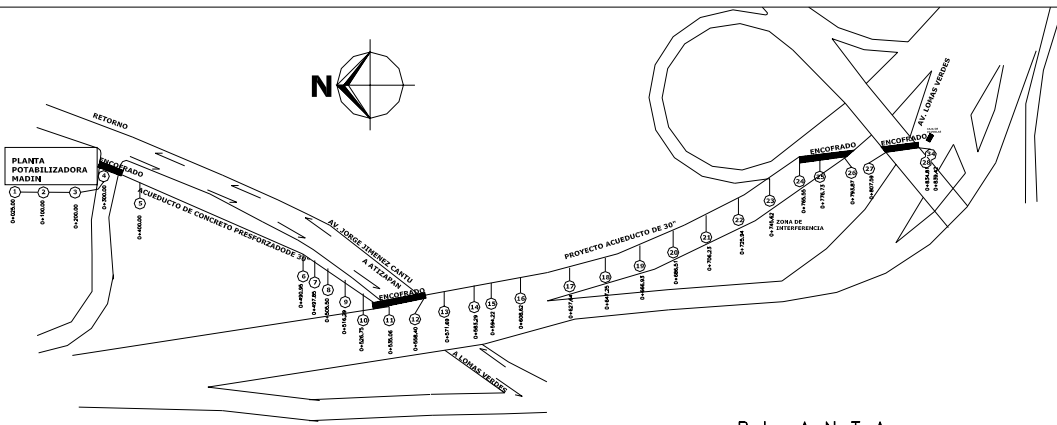
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO: ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA REUBICAR UN TRAMO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA MADIN AL TANQUE LOMAS VERDES BAJO PLANTA Y PERFIL DEL KM 0+000.00 AL KM 0+304.36

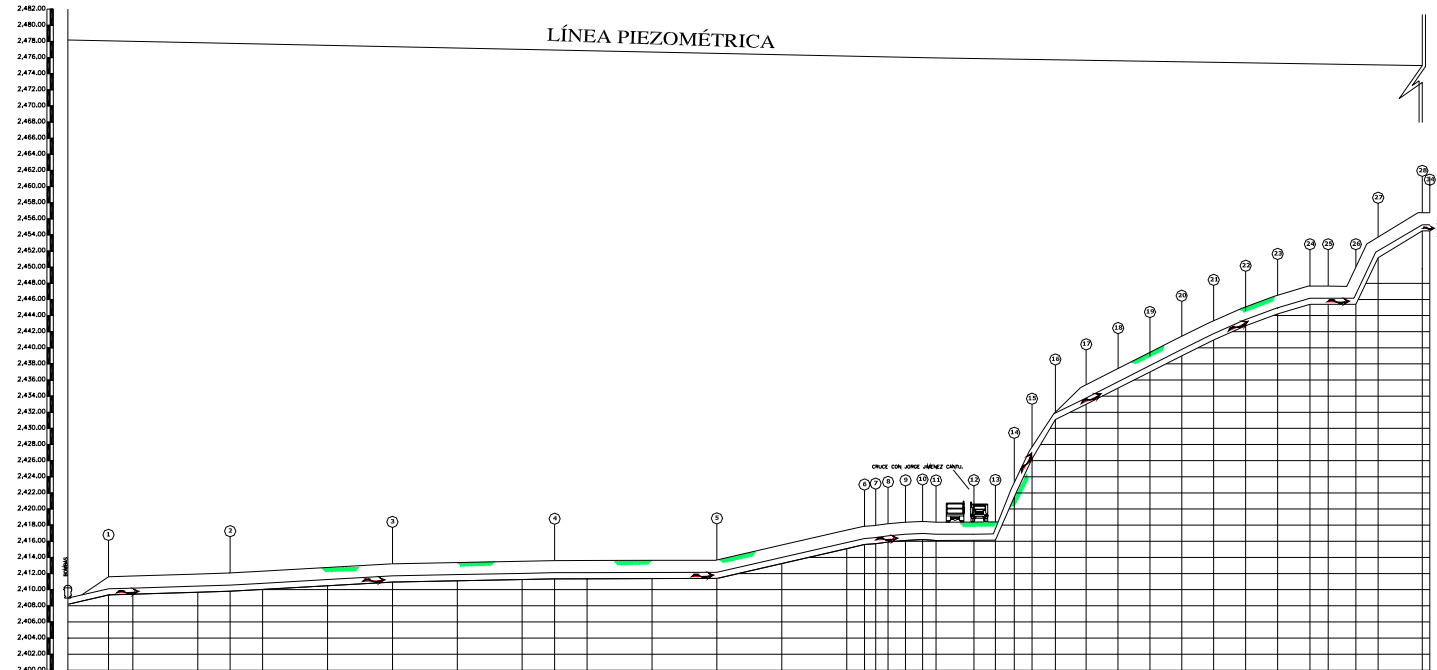
ESCALA: PLANO: UNICO
 TÉCNIC: REV.
 REV.

TESIS PROFESIONAL
PEDRO CASTRO CASTRO

Datos hidráulicos	
Tubería de concreto	Tubería de acero
SP-35	API-5L-X52 GRADO B
Q 0.650 m³/s	Q 0.650 m³/s
φ 0.762 m	φ 0.762 m
e 0.057 m	e 0.008 m
A 0.46 m²	A 0.46 m²
P _m 2.394 m	P _m 2.394 m
R _h 0.191 m	R _h 0.191 m
n 0.015	n 0.013
V 1.41 m/s	V 1.41 m/s



PLANTA



LÍNEA PIEZOMÉTRICA

TIPO Y CLASE DE TUBERÍA	Tubería concreto preforzado de 30° tipo SP-35 Lm 535.06 m	Sustitución de tubería de 30° de acero Lm 304.36 m
CARGA DISPONIBLE	2400.00	2400.00
COTA PIEZOMÉTRICA	2400.00	2400.00
ELEV. TERRENO NATURAL	2400.00	2400.00
ELEVACION DE PLANTILLA	2400.00	2400.00
ADUCTAMIENTO	2400.00	2400.00

PERFIL

B I B L I O G R A F Í A

Cesar Valdez, Enrique, "Abastecimiento de agua potable", Vol. I, Facultad de Ingeniería UNAM, cuarta edición, México 1994

Cesar Valdez, Enrique, "Abastecimiento de agua potable", Vol. II, Facultad de Ingeniería UNAM, primera edición, México 1993

Comisión Nacional del Agua, "Estadísticas del agua 2005", Publicación interna, México, 2005.

Comisión Nacional del Agua, "Sistema de Abastecimiento de Agua Potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", Folleto publicado en forma interna, México, 2005

Comisión Nacional del Agua, "Sistema Cutzamala agua para millones de mexicanos", Publicación interna, México, 2005

Comisión Nacional del Agua, "Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño, selección e instalación de tubería de acero para líneas de conducción de agua potable", México 1996.

Gieck, Kart, "Manual de Formulas Técnicas", Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México 1962

L. Streeter, Víctor, E. Benjamín Wylie, "Mecánica de los fluidos", México 1987.

W. Steel, E., J. Mc Ghee, Terence, "Abastecimiento de agua y alcantarillado", Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona 1981