



*Universidad Nacional Autónoma  
de México*

*Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
ACATLAN*

*Análisis del fenómeno transitorio para la línea de  
conducción a la población de Cuauhtenco municipio  
de Amoloya, Edo. de México.*

*Que para obtener el título de*  
**INGENIERO CIVIL**

*Presenta*  
**RAFAEL CHAVEZ GONZALEZ**

*SEMINARIO TALLER EXTRACURRICULAR  
México 1997*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

11  
24.



*Universidad Nacional Autónoma  
de México*

*Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
ACATLAN*

*Análisis del fenómeno transitorio para la línea de  
conducción a la población de Cuautenco municipio  
de Amoloya, Edo. de México.*

*Que para obtener el título de*  
**LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL**

*Presenta*  
**RAFAEL CHAVEZ GONZALEZ**

**SEMINARIO TALLER EXTRACURRICULAR  
México 1997**

197 MAR 12 PM 6 58  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

003337

**ANÁLISIS DEL FENÓMENO TRANSITORIO PARA LA LÍNEA DE  
CONDUCCIÓN A LA POBLACIÓN DE CUAUTENCO MUNICIPIO DE  
ALMOLOYA, EDO. DE MEXICO.**

	<i>Página.</i>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
 <b>I. INFORMACION BASICA PARA EL PROYECTO.</b>	
1.1. Localización geográfica .....	3
1.2. Clima .....	4
1.3. Orografía .....	6
1.4. Hidrología .....	6
1.5. Necesidades del agua .....	6
1.6. Uso actual del suelo .....	6
1.7. Uso actual del suelo .....	7
1.8. Población actual .....	7
1.9. Población de proyecto .....	11
1.10. Dotación .....	11
1.11. Gastos de diseño .....	12
 <b>II. FUENTE DE ABASTECIMIENTO.</b>	
2.1. Introducción .....	14
2.2. Obras de captación .....	14
2.3. Obras de captación para agua atmosférica .....	14
2.4. Obras de captación para aguas superficiales .....	15
2.5. Obras de captación para agua subterránea .....	16
2.6. Diseño de la fuente de captación .....	18
 <b>III. OBRA DE TOMA.</b>	
3.1. Introducción .....	19
3.2. Clasificación .....	19
3.3. Aplicaciones .....	19
3.4. Elementos de las obras de toma .....	20
3.5. Diseño de la obra de toma .....	20
 <b>IV. LINEA DE CONDUCCION.</b>	
4.1. Introducción .....	22
4.2. Clasificación .....	22
4.3. Trazo de la línea de conducción .....	23
4.4. Diseño de la línea de conducción .....	24
 <b>V. ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS Y PZAS ESPECIALES.</b>	
5.1. Introducción .....	35
5.2. Tipos de válvulas, usos y criterios de selección .....	36
5.3. Tipos de atraques, usos y criterios de selección .....	39
5.4. Tipos de sillas, usos y criterios de selección .....	40
5.5. Piezas especiales y juntas de dilatación .....	40

## **VI. GOLPE DE ARIETE**

6.1. Aspectos teóricos.....	42
Definiciones .....	43
Descripción del fenómeno del golpe de ariete .....	47
Causas del fenómenos transitorios .....	48
Celeridad de la onda de presión .....	49
Efectos del golpe de ariete .....	50
6.2. Ecuaciones representativas.....	51
Ecuación de continuidad .....	51
Ecuación dinámica o de cantidad de movimiento .....	52
Métodos de solución de las ecuaciones de flujo transitorio .....	52
6.3. Método de solución.....	52
Condición de convergencia .....	53
Transformación de las ecuaciones diferenciales parciales .....	54
del transitorio a ecuaciones diferenciales ordinarias .....	55
Representación gráfica de las ecuaciones características .....	55
Ecuaciones características en diferencias finitas .....	56
Metodología .....	57
Condiciones de frontera .....	61
6.4. Análisis del Golpe de Ariete.....	62
Características del sistema .....	62
Programa de Computadora para calculo del transitorio .....	62
Análisis de la Línea 1 .....	75
Datos de entrada para el programa .....	75
Resultados del programa .....	76
Análisis de la Línea 2 .....	77
Datos de entrada para el programa .....	77
Resultados del programa .....	78
<b>CONCLUSIONES</b> .....	79
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	80

## **INTRODUCCION**

*El SEMINARIO-TALLER EXTRACURRICULAR CONDUCCIONES A PRESION II, se crea por el interés de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, a través de la ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ( ENEP-ACATLAN ), de que sus egresados de la Licenciatura en Ingeniería Civil logren por esta opción su título profesional.*

*Es así como la ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ( ENEP-ACATLAN ), se propuso la tarea de coordinar y organizar un SEMINARIO-TALLER EXTRACURRICULAR, el cual ofrecería una opción más para que sus egresados obtengan su título profesional y una aportación no menos importante que la primera al elaborar un proyecto ingenieril demandado por la ciudadanía.*

*El SEMINARIO-TALLER EXTRACURRICULAR tiene una duración de 200 horas divididos en cinco módulos de 40 horas cada uno, cada módulo desarrollará un tema específico, el cual será primordial para poder desarrollar el proyecto en cuestión.*

*Cada uno de los módulos es coordinado e impartido por uno de los cinco ponentes que intervienen en el seminario. Dichos ponentes forman parte de la plantilla de profesores en el área de hidráulica con que cuenta el programa de ingeniería, cada uno de ellos ha sido seleccionado por su dominio en el área de hidráulica, así como por su amplia experiencia y práctica en el diseño de sistemas de agua potable y proyectos similares, por lo que se determino proveer de agua potable a las poblaciones del estado de México que demanden este vital líquido.*

*Para nuestro caso en particular se desarrollará un proyecto para proveer de agua potable a la población de Cuautenco, Municipio de Almoloya de Alquisiras, Estado de México.*

*Para esto se realizó un programa, el cual fue dividido en cinco capítulos, los cuales se enumeran a continuación.*

- 1.- OBRA DE TOMA.*
- 2.- DISEÑO HIDRAULICO DE TUBERIAS.*
- 3.- BOMBAS.*
- 4.- ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS Y PIEZAS ESPECIALES EN TUBERIAS.*
- 5.- GOLPE DE ARIETE.*

*Para lograr ser aspirantes se cumplió con ciertos requisitos y mediante criterios de selección ya establecidos ( Generación, Promedio, Experiencia en el Area, etc. ) se selecciono un grupo reducido de 15 alumnos.*

*Cada uno de los temas es cubierto por uno de los cinco ponentes que intervienen en el SEMINARIO-TALLER EXTRACURRICULAR. Así también cada ponente tendrá a su cargo un equipo formado por tres alumnos, fungiendo de estos como asesor del proyecto a desarrollar.*

*Cabe hacer mención de la valiosa participación y cooperación de la COMISION ESTATAL DE AGUAS Y SANEAMIENTO ( CEAS ), organismo encargado del suministro de agua potable en el Estado de México, el cual proporciono cinco proyectos, así como las facilidades, apoyo técnico e información necesaria para la realización de los mismos.*

*Los trabajos serán evaluados por los asesores de cada equipo cuyos resultados finales darán forma a los proyectos correspondientes.*

#### *FE DE RATAS:*

*La palabra Cuautenco desde el inicio y hasta esta hoja se ha escrito, tal cual, debido a la información que se tenía hasta este punto. Al desarrollarse la investigación de este proyecto, descubrimos que se escribe con una " H " intermedia como se muestra a continuación; Cuauhenco, esta es la forma correcta, por tanto a partir de esta hoja será escrita correctamente.*

## I. INFORMACION BASICA PARA EL PROYECTO.

### 1.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA.

El Municipio de Almoloya de Alquisiras se ubica en la parte sur del Estado de México a 77 Kms. de la ciudad de Toluca. Limita al norte con Texcatitlán y Coatepec Harinas; al este, con Coatepec harinas; al sur, con Zacualpan, y al oeste con Sultepec y Texcatitlán.

Sus coordenadas geograficas son las siguientes:

	MINIMA	MAXIMA
LONGITUD	99°46'50"	99°57'09"
LATTUD	18°47'00"	18°55'02"

La superficie del Municipio tiene una extensión de 167,3 Kms<sup>2</sup>, y tiene la particularidad de poseer una " isla ".

A continuación se presentan las fig.1 y 2, en las que se ilustra el croquis de localización del Municipio de Almoloya de Alquisiras y la localidad de Cuauhtenco.

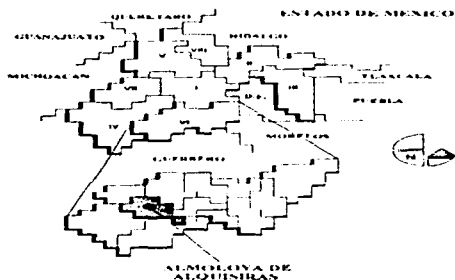


FIG. 1 Localización del Municipio de Almoloya de Alquisiras.



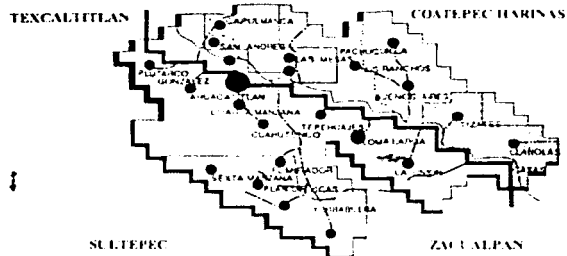


FIG. 2 Localidad de Cuauhtenco.

La división política del municipio de Almoloaya de Alquisiras, para efecto de su gobierno interior y según el Sistema Estatal de Información es integrado de la siguiente manera:

#### División Política Municipal

##### Comunidad.

- |                        |                         |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1. Agua fría.          | 9. Colonia Guadalupe.   | 17. Mesa del Río.      | 25. San José Tizates.   |
| 2. Ahuacatlán.         | 10. Cuarta Manzana.     | 18. El Mirador.        | 26. Sexta Manzana.      |
| 3. Almoloaya.          | 11. <b>Cuauhtenco.</b>  | 19. Pachuquilla.       | 27. Tepehuajes.         |
| 4. Aquiapan.           | 12. Jalatepec.          | 20. Plan de Vigas.     | 28. Totoltepec de la P. |
| 5. Buenos Aires.       | 13. Las Mesas.          | 21. Plutarco González. | 29. Vista Hermosa.      |
| 6. Capulmanca.         | 14. Los Pérez.          | 22. Quinta Manzana.    | 30. Triguillos.         |
| 7. Cerro del Guayabo.  | 15. La U. Riva Palacio. | 23. Los Ranchos.       | 31. Unión Riva Palacio. |
| 8. Cerro del Tlapexco. | 16. Llano de las Casas. | 24. San Andrés T.      | 32. La Yerbabuena.      |

#### 1.2 CLIMA.

La comunidad de Cuauhtenco presenta clima semitemplado, con temperaturas entre los 20° y 24° C a la sombra en verano, y en invierno bajan hasta los 15°C.

Las estaciones del año son bien definidas. El período de lluvias se presenta en los meses de mayo y junio, y se prolonga hasta octubre; durante este tiempo se forman cascadas y diferentes riachuelos. La precipitación pluvial del municipio es de 1200 mm. en promedio.

### **1.3 OROGRAFIA.**

*Existe mucha irregularidad del terreno almoloyense, puesto que las alturas más importantes oscilan entre los 2,900 y los 1,780 m.s.n.m., hay también pequeños valles, planicies y pequeños poblados situados en las faldas de grandes cerros.*

### **1.4 HIDROLOGIA.**

*El municipio de Almoloya cuenta con un relieve orografico que forma una especie de embudo, por lo que el agua fluye hacia el valle, el cual cuenta con un rio de caudal constante, riachuelos, manantiales y ojos de agua.*

*La comunidad de Cuauhtenco cuenta con su propio afluente, un rio que lleva su nombre cuyo caudal es variable, pero en época de lluvias es muy abundante.*

### **1.5 NECESIDAD DEL AGUA.**

*Actualmente existen un sinnúmero de demandas y necesidades, dentro del marco de servicios públicos, estas demandas exigen respuesta, sobre todo en las comunidades más alejadas; esto requiere de la ampliación de la infraestructura y el equipamiento, así como de la modernización de los servicios para mejorar la calidad de vida.*

*Por otro lado los mantos acuíferos no son captados por recolectores adecuados, que permitan el almacenamiento necesario y suficiente, para después conducir y distribuir el agua mediante redes hidráulicas, creando sistemas completos de agua potable, que den solución a este problema, previendo además la contaminación de ríos, arroyos, ojos de agua y veneros.*

### **1.6 USO ACTUAL DEL SUELO Y DE LOS RECURSOS NATURALES.**

*El municipio de Almoloya de Alquistras depende de los recursos naturales que son elementos básicos para su desarrollo, y sus comunidades dependen de su avance por lo que es indispensable cuantificarlos, conservarlos, recuperarlos y explotarlos adecuadamente para el desarrollo de la vida productiva del municipio evitando su deterioro y desequilibrio ecológico.*

*El uso del suelo de este municipio según el Instituto e Investigación Geográfica y Catastral cuenta con 16,738.50 hectáreas; el cual se destina por actividades agrícolas siendo de temporal y riego. La actividad pecuaria es de tipo extensivo, la forestal es moderada, por otra parte se encuentra el uso urbano y cuerpos de agua como son los ríos, ojos de agua y manantiales.*

<b>USO AGRICOLA</b>	a) Temporal	3,017.10	Hectáreas
	b) Riego	122.60	Hectáreas
	c) Tierras Ociosas	650.60	Hectáreas
	$\Sigma$	<b>3,790.30</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>USO PECUARIO</b>	a) Intensivo	1.30	Hectáreas
	b) Extensivo	1,811.40	Hectáreas
	$\Sigma$	<b>1,811.70</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>USO FORESTAL</b>	a) Bosques	9,372.00	Hectáreas
	b) Arbustiva	1,171.00	Hectáreas
	$\Sigma$	<b>10,543.00</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>USO URBANO</b>		<b>94.10</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>EROSIONADO</b>		<b>133.90</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>CUERPOS DE AGUA</b>		<b>3.70</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>OTROS USOS</b>		<b>361.80</b>	<b>Hectáreas</b>

## 1.7 DESARROLLO URBANO.

*El municipio de Almoloya de Alquisiras, no es considerado como urbano ya que este, se encuentra en un proceso de transición, sin perder algo muy valioso, sus tradiciones típicas y costumbres culturales, es por esto que es considerado como un municipio rural.*

*El desarrollo económico urbano rural, tiene como principal actividad el comercio, clasificándose de la manera siguiente: abarrotes, farmacias, ferreterías, tlapalerías, materiales para la construcción, torullerías, carnicerías, tiendas de ropa, así como la producción de ciruela, guayaba, durazno, tomate, jitomate, aguacate. Por tanto son expedidos en la misma cabecera municipal, municipios aledaños, Toluca y el D.F.*

*La siguiente tabla nos ilustra de manera aproximada el destino y cantidades de superficie a los diferentes usos.*

	<b>SUPERFICIE</b>	<b>AGRICOLA</b>	<b>PECUARIO</b>	<b>FORESTAL</b>	<b>URBANO</b>	<b>OTROS</b>
<b>HECTAREAS</b>	16,739.00	3,791.00	1,812.00	10,543.00	94.00	499.00
<b>%</b>	100.00	22.65	10.82	62.99	0.56	2.98

## 1.8 POBLACION ACTUAL.

*Para determinar la población de proyecto se partió de la información proporcionada por el Plan de Desarrollo Municipal. A continuación se presentan los censos de población efectuados por el municipio en el año de 1960-1980 para la comunidad de Cuauhtenco.*

<b>AÑO</b>	<b>N° HABITANTES</b>
1960	171
1970	268
1980	358

*Con la información anterior se determinará la población de proyecto para un horizonte de planeación al año 2011 ( 15 años ) aplicando los siguientes modelos matemáticos.*

**MODELO ARITMETICO.**  
**MODELO GEOMETRICO.**  
**MODELO DE TASA DE CRECIMIENTO.**

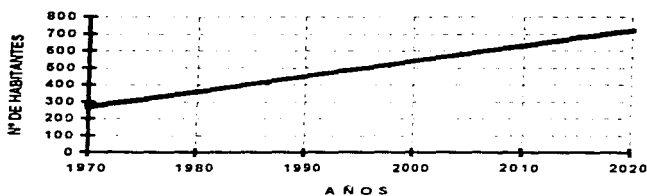
**MODELOS MATEMATICOS PARA ESTIMAR LA TENDENCIA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACION.**

<b>MODELO MATEMATICO.</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>ECUACIONES</b>
<b>MODELO ARITMETICO.</b>	Tiene como características un incremento de población constante para incrementos de tiempo iguales, en consecuencia la relación del incremento de habitantes y el periodo de tiempo es una constante	$K_u = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$ $P = P_2 + K_u (T - t_2)$ <p><b>Donde:</b>  <i>P</i> : población. ; <i>t</i> : tiempo.  <i>K<sub>u</sub></i> : constante que significa el incremento de población en la unidad de tiempo.  <i>T</i> : año en que se desea saber el número de habitantes.</p>
<b>MODELO GEOMETRICO.</b>	Se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo.	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$ $\ln P = \ln P_2 + K_g (T - t_2)$ <p><b>Donde:</b>  <i>P</i> : población. ; <i>t</i> : tiempo.  <i>K<sub>g</sub></i> : velocidad de crecimiento de la población.  <i>T</i> : año en que se desea saber el número de habitantes.</p>
<b>TASA DE CRECIMIENTO.</b>	Este modelo permite proyectar a un futuro determinado la población actual, empleando la tasa de crecimiento promedio en la zona urbana.	$i = \frac{\text{Valor actual} - \text{Valor anterior}}{\text{Valor anterior}}$ $V_f = P (1 + i)^n$ <p><b>Donde:</b>  <i>P</i> : población actual.  <i>V<sub>f</sub></i> : población futura.  <i>i</i> : tasa de crecimiento  <i>n</i> : es la diferencia de tiempo entre el año en que se desea saber la población y el año del último censo que se consideró en la ecuación de la tasa de crecimiento.</p>

Utilizando el Método Aritmético y los datos de los censos de población, se calcula la tendencia de la población.

AÑO	POBLACION
1970	268
1980	358
1990	448
2000	538
2010	628
2011	637

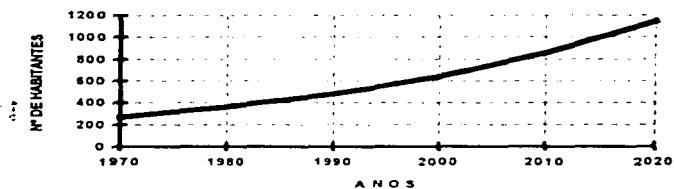
TENDENCIA DE LA POBLACION MÉTODO ARITMÉTICO



Utilizando el Método Geométrico y los datos de los censos de población, se calcula la tendencia de la población.

AÑO	POBLACION
1970	268
1980	358
1990	478
2000	638
2010	852
2011	877

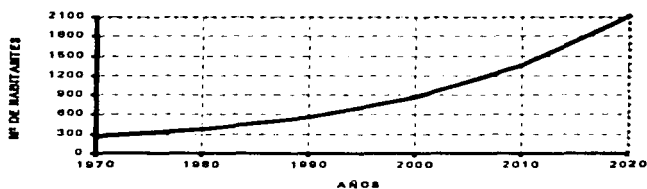
TENDENCIA DE LA POBLACIÓN MÉTODO GEOMÉTRICO



Utilizando el Método de Tasa de Crecimiento y los datos de los censos de población, se calcula la tendencia de la población.

AÑO	POBLACIÓN
1970	268
1980	358
1990	557
2000	887
2010	1349
2011	1410

TENDENCIA DE LA POBLACION MÉTODO DE TASA DE CRECIMIENTO



### **1.9 POBLACION DE PROYECTO.**

*La población de proyecto se determino de acuerdo a los resultados obtenidos con cada uno de lo métodos aplicados, seleccionando la población más alta, por ser la más desfavorable. La cual fue obtenida por el método de tasa de crecimiento, dando una población de 1,410.00 habitantes, para un periodo de diseño de 15 años.*

### **1.10 DOTACION.**

*Es la cantidad de agua que se asigna a cada habitante y que comprende todos los consumos de los servicios que se hacen en un día medio anual. Esta dotación esta en función de: el buen funcionamiento del sistema de abastecimiento, del clima, de número de habitantes y sus costumbres, del costo de agua distribuida y de las medidas de control para fugas, desperdicios y hacer uso racional de ella.*

*De acuerdo a las normas de proyecto de agua potable se recomienda:*

<b>POBLACION DE PROYECTO HABITANTES</b>	<b>TIPO DE CLIMA CALIDO - TEMPLADO - FRIO Lts / Hab / Día</b>		
<b>De 2,500 A 15,000</b>	<b>150</b>	<b>-</b>	<b>125 - 100</b>

*Ya que la dotación debe ajustarse a las necesidades de la localidad y a sus posibilidades económicas, sociales y políticas, para este proyecto se tomara la siguiente dotación:*

<b>POBLACION DE PROYECTO HABITANTES</b>	<b>DOTACION Lts / Hab. / Día</b>
<b>1,410.00</b>	<b>150.00</b>



## 1.11 GASTOS DE DISEÑO.

### GASTO MEDIO DIARIO ANUAL

El gasto medio se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Q_{MED} = \frac{\text{Población} \cdot \text{Dotación}}{86,400} \text{ L.P.S.}$$
$$Q_{MED} = \frac{(1,410.00) (150)}{86,400} = 2.45 \text{ L.P.S.}$$

### GASTO MÁXIMO DIARIO

A partir del valor del gasto medio, se podrá calcular el gasto máximo diario, que equivale al producto del gasto medio por el coeficiente de variación diaria, por lo tanto:

$$Q_{MD} = Q_{MED} \cdot C_{VD}$$

donde:

$Q_{MD}$  = Gasto máximo diario, L.P.S.

$Q_{MED}$  = Gasto medio, en L.P.S.

$C_{VD}$  = Coef. de variación diario, adimensional ( 1.2 ) ver ref. 1

Por lo tanto:

$$Q_{MD} = (2.45)(1.2) = 2.94 \text{ L.P.S}$$

## **GASTO MÁXIMO HORARIO**

*A partir del valor del gasto medio, se podrá calcular el gasto máximo horario, que equivale al producto del gasto medio por el coeficiente de variación diaria y el coeficiente de variación horaria, por lo tanto:*

$$Q_{MH} = Q_{MED} * C_{VD} * C_{VH}$$

*donde:*

$Q_{MH}$  = Gasto máximo diario, L.P.S.

$Q_{MED}$  = Gasto medio, en L.P.S.

$C_{VD}$  = Coef. de variación diario, adimensional ( 1.2 ) ver ref. 1

$C_{VH}$  = Coef. de variación horario, adimensional ( 1.5 ) ver ref. 1

*Por lo tanto:*

$$Q_{MH} = ( 2.94 ) ( 1.5 ) = 4.41 \text{ L.P.S.}$$

## **II. FUENTE DE CAPTACION.**

### **2.1 INTRODUCCION.**

*Para iniciar la construcción de un sistema de abastecimiento de agua potable, debe estar definida la fuente de abastecimiento y garantizada la cantidad y calidad del agua que puede aportar.*

*En las obras de captación, la atención fundamental debe dirigirse a evitar la contaminación del agua. Cuando se trata de captar agua de una corriente o depósito superficial, debe estudiarse la forma de obtener agua de la mejor calidad durante las diversas estaciones del año, a los costos de potabilización más reducidos.*

### **2.2 OBRAS DE CAPTACION.**

*En la naturaleza se encuentran disponibles las siguientes fuentes de abastecimiento de agua: atmosférica, superficial, subterránea y salada. La fuente de agua determina comúnmente la naturaleza de las obras de captación, potabilización, de toma y conducción. El agua atmosférica puede encontrarse en diversas formas: en estado de vapor de agua, como líquido suspendido en nubes o cayendo en forma de lluvia, y en estado sólido como nieve o granizo.*

*El agua superficial constituye los cuerpos de agua naturales como ríos, embalses y lagos. El agua subterránea es la que penetra a través de los poros que forman las partículas que constituyen el suelo mediante el proceso denominado infiltración, que recarga los acuíferos naturalmente.*

### **2.3 OBRAS DE CAPTACION PARA AGUAS ATMOSFERICAS.**

*Para captar este tipo de agua pueden usarse techos impermeables, pavimento de calles y banquetas construidas de concreto. Pueden conducirse por medio de tubos de plástico, asbesto-cemento, concreto o de cualquier otro material impermeable, durable y fácil de limpiar. El agua se almacena en cisternas cuya capacidad se determina considerando el régimen pluviométrico de la región y la superficie disponible de recolección del agua atmosférica.*

## **2.4 OBRAS DE CAPTACION PARA AGUAS SUPERFICIALES.**

*Entre las posibles obras para captación del agua superficial se tienen las siguientes opciones:*

*a) Cajas de toma con compuertas a distintos niveles para captación en ríos, lagos o presas, con conducción a estaciones de bombeo fijas, o con estación de bombas.*

*b) Bocatoma con canal de derivación y compuerta, con o sin desarenadores, para captación en ríos o canales. Cuando se utilice este dispositivo de captación, deberá localizarse en un tramo de la corriente o canal que esté a salvo tanto de erosión como de azolve.*

*c) Cajas de toma sumergidas para captación en ríos, lagos, presas, etcétera. La profundidad más conveniente para admitir agua de la mejor calidad, depende de la estación del año; se recomienda que la caja de toma se construya cuando mucho a 60 cm. bajo el nivel mínimo del agua.*

*d) Presas derivadoras con toma directa o bocatoma lateral, en ríos o canales. El proyecto estructural de la cortina estará sujeto a las normas de proyecto y a la aprobación de la S.A.R.H.*

*e) Muro vertedor lateral construido sobre ríos o canales.*

*f) Muro vertedor con caja central y toma, construido sobre ríos o canales.*

*g) Estaciones de bombas móviles ó flotantes sobre lagos, ríos o embalses.*

## 2.5 OBRAS DE CAPTACION PARA AGUAS SUBTERRANEAS.

*Las obras de captación posibles para aprovechar el agua subterránea son las siguientes:*

*a) Cajas de manantial: Los manantiales pueden ser de filtración, de fisura, o tubulares según los intersticios de donde proviene el agua, y de gravedad o artesianos según su origen.*

*La captación puede efectuarse mediante cajas cerradas de concreto reforzado o mampostería de piedra o tabique. El agua se debe extraer únicamente con una tubería que atraviese una pared de la caja. En la caja se instala una tapa movable o registro y no requiere ventilación.*

*La calidad del agua de los manantiales debe protegerse de los escurrimientos superficiales por medio de cunetas que los intercepten; se recomienda excavar las cunetas a una distancia de 10 m. de los manantiales.*

*b) Pozos: Los pozos se dividen en someros y profundos.*

*Los pozos someros permiten la explotación del agua freática. Se recomiendan diámetros mínimos o lado mayor en sección rectangular de 1.5 m.*

*Si las paredes del pozo son de mampostería de piedra o tabique, se dejan espacios sin juntear en el estrato permeable para permitir el paso del agua.*

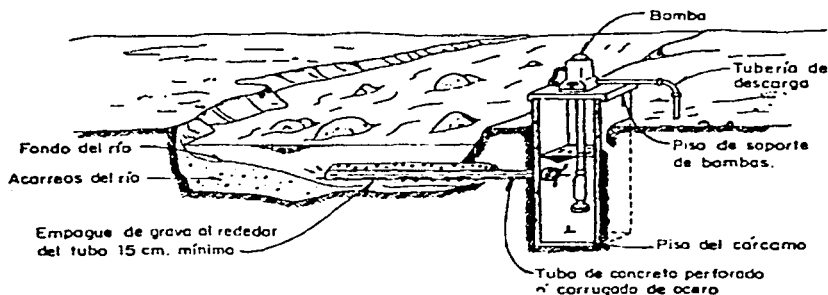
*Los pozos profundos son perforaciones para obtener agua subterránea, que se comportan en función de las características del acuífero donde se localizan. Los componentes de un pozo profundo son: ademe superficial, ademe, cedazo, empaque de grava y cimentación de las bombas.*

*c) Galerías filtrantes*

*Son drenes horizontales subterráneos que interceptan el agua subterránea que fluye en materiales permeables o el agua superficial que se infiltra. Las galerías de infiltración*

*pueden construirse como drenes marginales a lo largo de laderas de colinas; a ángulos rectos del cauce inferior de valles; sobre el nivel del mar en islas y a lo largo de costas donde debe evitarse la intrusión de agua salada; y paralelas a corrientes hacia las que se encuentra fluyendo caudal de las tierras altas, que es el caso más común.*

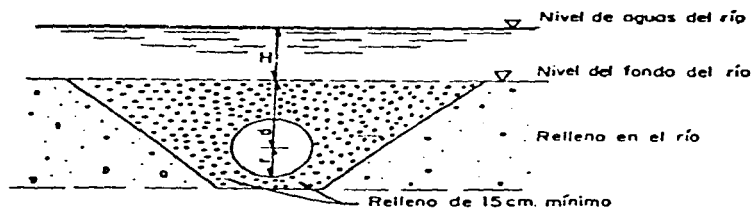
*La localización en planta puede ser transversal o paralela a la corriente, pero puede tener una inclinación cualquiera con respecto a ésta. Para un rendimiento máximo, las galerías deberán construirse a la profundidad del acuífero, ver fig. 2.1.*



**FIG. 2.1 Galería filtrante.**

*La longitud de galería se calcula de acuerdo al gasto de captación, el número y diámetro de los agujeros se determina considerando una velocidad promedio a través de ellos de 3 cm/seg. como máximo.*

*La tubería se coloca sin juntar en el fondo de una zanja de sección trapezoidal, el diámetro mínimo de tubería que se recomienda es de 45cm. La producción se estimará para galerías construidas en un material lentamente permeable con un tirante mínimo de agua sobre el fondo del cauce, como se muestra en la fig. 2.2.*



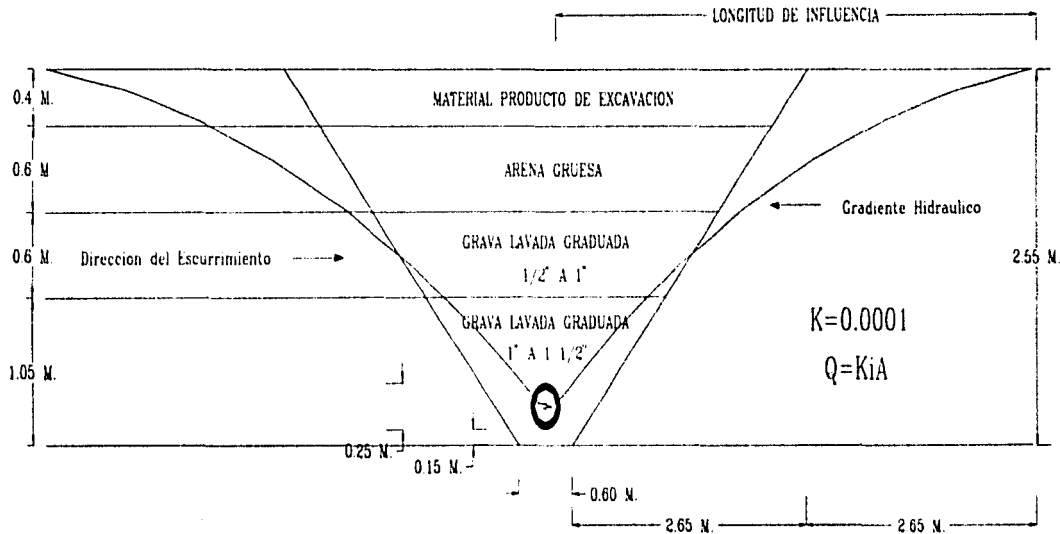
**FIG. 2.2 Corte transversal de la galería filtrante.**

*Bajo esta condición, se supone que la corriente tiene un acceso directo a la zona de grava empacada o de relleno producto de la excavación. El flujo se moverá directamente a través de este empaque o relleno y penetrará al tubo.*

## **2.6 DISEÑO DE LA FUENTE DE CAPTACION.**

*El diseño de la galería se basa en las siguientes consideraciones:*

- a) La galería filtrante se va a construir transversalmente a la dirección del flujo, esto nos permitirá obtener un mayor volumen de captación.*
- b) Para determinar las medidas mínimas de la galería filtrante se determino el coeficiente de permeabilidad representativo de la zona y el gradiente hidráulico, y de acuerdo a cálculos efectuados estas dimensiones nos aseguran cumplir con la ley de demanda determinada bajo cualquier condición.*
- c) El tubo recolector se propone de material P.V.C. por las ventajas que este material tiene y el diámetro del tubo es de 10" ver ref. ( 8 ) con perforaciones de 3/4", con una longitud de 4 m. Además se construirá un filtro de material producto de excavación y gravas graduadas de diferentes tamaños, ver fig. 2.3.*



Notas:

El tubo tiene una longitud de 4 m. y un diámetro de 25 cm., es de tipo cedazo con ranuras de 3/4" de diámetro.  
La longitud de influencia es en ambos lados.

FIG. 2.3 GALERIA FILTRANTE.



### **III. OBRA DE TOMA.**

#### **3.1 INTRODUCCION.**

*La obra de toma la podemos definir como una estructura que nos permite regular o dar salida a al agua almacenada en un depósito o bien tomar esta de algún sitio de acuerdo a una ley determinada.*

*Esta puede permitir salir las aportaciones de forma gradual, como en el caso de una presa reguladora, derivar los volúmenes recibidos a canales o tuberías como en caso de una presa derivadora, o bien dar salida al agua con gastos que dependen de las necesidades aguas abajo de la presa, de las necesidades de evacuación o de la combinación de necesidades múltiples.*

#### **3.2 CLASIFICACION.**

*Las estructuras de las obras de toma pueden clasificarse de acuerdo con su objetivo; con su distribución física y estructural, o con su operación hidráulica.*

#### **3.3 APLICACIONES.**

*El diseño de obras de toma varía mucho de acuerdo a las condiciones geológicas y topográficas, los tipos y dimensiones, así como las variaciones de gastos por extraer. Para esta última condición puede ser suficiente una obra de toma; pero en grandes ríos o en grandes presas se puede requerir varias tomas, o bien una toma con varios pasajes o conductos.*

*Las obras de tomas tienen su aplicación en una presa para fines de irrigación, abastecimiento de agua potable, generación de energía eléctrica, conservación de niveles bajos en caso de control de avenidas y en algunas casi como navegación fluvial o bien de usos múltiples o variados. La capacidad de una obra de toma y su funcionamiento estará condicionada por la ley de extracciones, de acuerdo con el uso o los usos a que se destine.*

### **3.4 ELEMENTOS DE LAS OBRAS DE TOMA.**

*En general una obra de toma consiste en:*

*a) Estructura de entrada.- Son estructuras que como su nombre lo indica, se instalan al inicio o a la entrada de este tipo de obra y consiste en: rejillas, orificios, etc. Con frecuencia se instalan compuertas de emergencia o de control con el propósito de designar los conductos en caso necesario.*

*b) Conducto.- Estas estructuras nos permiten canalizar el agua desde el sitio donde se toma esta hasta el lugar a que se va a emplear y pueden ser a base de túneles o tuberías o bien la combinación de ambos donde generalmente las tuberías trabajarán a presión y los túneles podrán trabajar a presión o bien como canales abiertos.*

*c) Mecanismo de regulación y emergencia con su equipo de operación.- Estos generalmente consisten en válvulas o compuertas los canales se diseñan para la carga máxima y se construye para ciertas condiciones de operación; los mecanismos de emergencia generalmente se instalan agua a arriba de las de regulación y se conservan abiertas, excepto cuando se requiere manobra de inspección, preparación y mantenimiento.*

*Los mecanismos de regulación se opera para extraer los gastos necesarios y consisten en válvulas o compuertas las cuales pueden operar parcialmente o totalmente abiertas.*

*Los mecanismos de emergencia se instalan a la entrada de los conductos en cámaras especiales desde donde se opera, la de regulación se puede instalar inmediatamente aguas a bajo de los de emergencia o bien en el extremo inferior de los conductos.*

*d) Dispositivos para disipación de energía .- Estructura o dispositivo que resulta conveniente llevar a cabo a la salida del agua a través del conducto, mediante el cual, el agua disipa la energía que posee regulando la presión con la atmosférica o a la del sitio o lugar de su captación final.*

### **3.5 DISEÑO DE LA OBRA DE TOMA.**

*La obra de toma consiste en un tanque de captación con carcamo, ver fig.3.1. Este tanque al que llegará el tubo de recolección y donde iniciara la conducción será construido a base de tabique rojo recocido en muros, cubierto con aplanado de mortero acabado pulido en el interior y rugoso en el exterior y con elementos de concreto armado f'c 200 Kg cm<sup>2</sup> en losas, traveses y castillos y su dimensionamiento será con el siguiente criterio.*

Considerando un tiempo de 15 min. de vaciado o recuperación tenemos que:

Capacidad necesaria del tanque para  $t = 15$  min.,  $C_{\text{tanque}} = \text{Vol. máximo diario} \times 60 \text{ seg.} \times t$

Capacidad necesaria del tanque para  $t = 15$  min.,  $C_{\text{tanque}} = 0.00294 \text{ m}^3/\text{s} \times 60 \text{ seg.} \times 15 \text{ min.}$

Capacidad necesaria del tanque para  $t = 15$  min.,  $C_{\text{tanque}} = 2.67 \text{ m}^3$

De esta forma el tanque con carcamo tendrá por lado 1.65 m. (a paños interiores) y con una altura libre de 1.25m. considerando el tubo de recolección. Altura dada desde el lecho alto de la losa de fondo hasta el lecho bajo de la losa tapa, ver fig. 3.1. Asegurando el volumen requerido.

Vol. útil del tanque =  $1.65 \text{ m.} \times 1.65 \text{ m.} \times 1.0 = 2.72 \text{ m}^3$

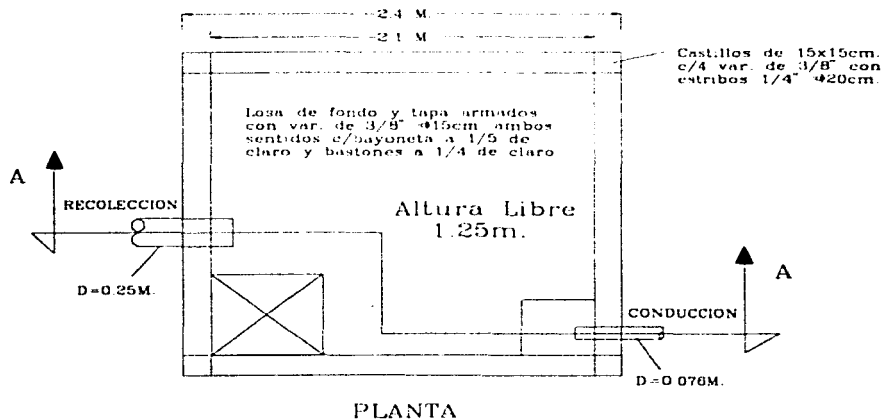


FIG. 3.1 CARCAMO.

## **IV. LINEA DE CONDUCCIÓN**

### **4.1 INTRODUCCION.**

*Recibe el nombre de Línea de Conducción la parte del sistema de agua potable constituida por el conjunto de conductos y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento hasta un sitio o a la comunidad.*

}

### **4.2 CLASIFICACION.**

*Cualquier línea de conducción para que cumpla su cometido necesitará forzosamente de una energía para poder operar, esta energía se obtiene por medio de un sistema de bombeo o por la acción de la gravedad terrestre; de lo anterior se pueden distinguir tres tipos de formas de conducción, en cuanto a energía de funcionamiento se refiere, y que son:*

- a).- Por Bombeo.*
- b).- Por Gravedad.*
- c).- Una combinación de ambos.*

*Para el caso del presente proyecto se utilizara la conducción por gravedad, ya que existe la posibilidad de aprovechar la carga de posición que presenta, debido a la diferencia de niveles entre la obra de toma y el tanque de regularización, dicha diferencia es de 434.32 m., en una longitud de 5,558.9 m.*

*Toda línea de conducción esta constituida por una serie de elementos que se pueden dividir en:*

- a) Equipos eléctricos: motores, bombas, transformadores eléctricos, etc.*
- b) Tubería: tubos y aditamentos de unión.*
- c) Accesorios: válvulas de seccionamiento, de admisión, de expulsión de aire, etc.*
- d) Estructuras complementarias: silletas, atraques, estructuras de apoyo, etc.*
- e) Piezas especiales: para cambios de dirección, de diámetro, de tipo de material, etc.*
- f) Tanques: de almacenamiento, de regulación, cajas rompedoras de presión, etc.*

## **TUBERIAS.**

*Los tipos modernos de tuberías, que comúnmente se usan para conducir el agua a presión, comprenden hierro fundido, asbesto-cemento, cobre, hierro galvanizado, plásticos ( polietileno (PS) y policloruro de vinilo PVC ), acero, concreto reforzado y presforzado, con o sin cilindro interior de acero.*

*Los criterios de selección del material de tuberías a presión dependen de diferentes requerimientos, entre los cuales puede citarse el diámetro determinado en el cálculo hidráulico, ref. ( 3 ). Atendiendo a este parametro, la selección del tipo de material de la tubería, puede ser como sigue:*

<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>TIPO DE TUBERÍA RECOMENDADA</b>
Hasta 76	Fierro galvanizado, cobre, plomo, PVC, PS
De 76 a 760	Asbesto-cemento, acero.
De 760 a 5000	Acero, concreto reforzado y presforzado, con y sin cilindro de acero.

*El conocimiento del material tanto en sus características generales, como propiedades específicas ( resistencia y limitaciones ), son condiciones indispensables para la realización de un buen proyecto, pero es en la instalación donde se pueden aprovechar al máximo las bondades tanto del producto, como del proyecto, o donde se modifiquen ambas. El mejor producto no funcionará bien, si su destino tiene una aplicación inadecuada.*

### **4.3 TRAZO DE LA LINEA DE CONDUCCION.**

*Los estudios a realizarse para efectuar el trazo de la línea de conducción son los siguientes:*

*a) Topográficos: Se deben de obtener perfiles con las características topográficas de la zona para evitar que, con respecto a la línea piezométrica, se tengan puntos con cargas muy altas, pues esto influye en el tipo y costo de tubería a utilizarse, por lo tanto se tiene que cuidar que la línea trabaje con las menores cargas disponibles posibles.*

*b) Tipo de Terreno: Es importante conocer el tipo de suelo con que se cuenta a lo largo del trazo de la línea, para poder determinar si la tubería se colocara enterrada, o será instalada en forma superficial.*

*c) Cruzamientos y Afectaciones: Cuando ha sido definida la ruta que seguirá la línea de conducción, es necesario realizar varios recorridos, para poder verificar que no se invadan terrenos ejidales o propiedades privadas, por lo que deberá de procurarse llevar la línea por zonas comprendidas dentro de los derechos de vía federal.*

*d) Costos de Ejecución: El objetivo primordial que se busca, después de haber realizado el análisis hidráulico es que la propuesta presentada cumpla con un buen funcionamiento hidráulico, y que los costos de ejecución y mantenimiento sean los mas bajos. Para conseguir esto es necesario considerar factores como: tipo y clase de tubería, el diámetro económico, funcionamiento por gravedad ó bombeo, etc.*

#### **4.4 DISEÑO DE LA LINEA DE CONDUCCION.**

*La línea de conducción que abastecerá de agua potable a la población de Cuauhtenco, Municipio de Amoloya de Alquisiras, tiene una longitud total de 5,558.90 m. y un desnivel de 434.32 m., que va de la obra de toma al tanque de regulación.*

*Considerando que a lo largo de la línea contamos con un tanque de almacenamiento, se determinó dividir la Línea en 2 partes. Por lo tanto la Línea 1, tiene una longitud de 4,242.90 m., con un desnivel de 412.66 m. y va de la obra de toma al tanque de almacenamiento como se observa en la fig. 4.1. La Línea 2 tiene una longitud de 1,316.00 m., con un desnivel de 23.24 m. y va de el tanque de almacenamiento al tanque de regulación, como se observa en la fig. 4.2.*

#### **DISEÑO PRELIMINAR DE LA LINEA - 1 DE CONDUCCION.**

##### **A) Determinación del diámetro, material y clase de la tubería.**

*Con el gasto requerido y los datos que se obtuvieron de los trazos planimétricos y altimétricos ( longitud de la línea y carga disponible ) se puede determinar el diámetro teórico y comercial de la tubería, el tipo de material y la clase, los cuales están en función de la presión de trabajo.*

*En resumen los principales factores que se deben de tomar en cuenta para la selección de la tubería son:*

*a) Gasto a conducir.*

*b) Características topográficas de la conducción y calidad del terreno por excavar.*

*c) Costos de suministro e instalación.*

# LINEA 1 DE CONDUCCION

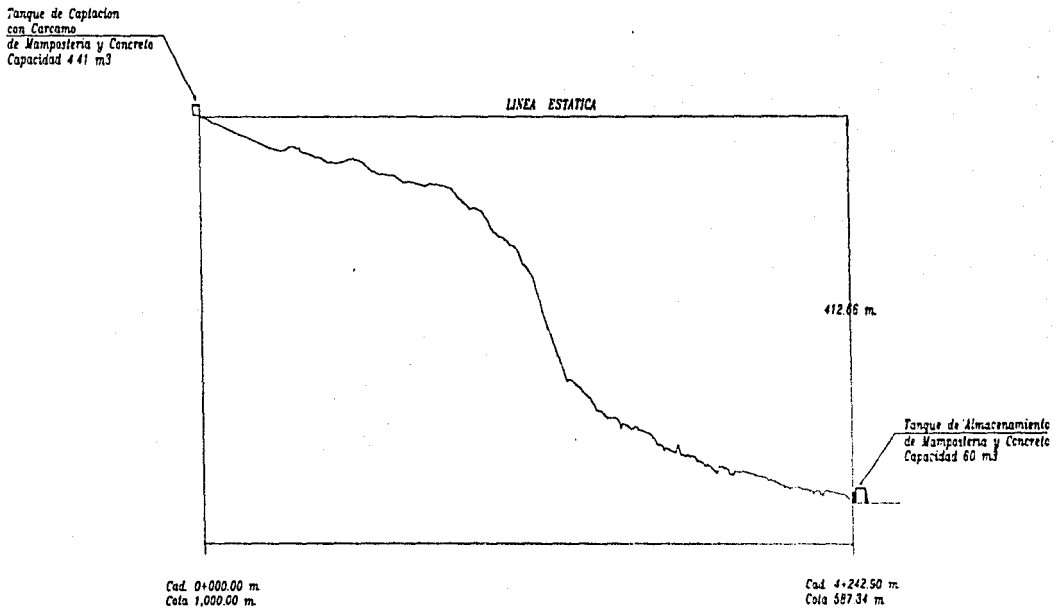


FIG. 4.1

## DISEÑO HIDRAULICO DE LA LINEA 2 DE CONDUCCION

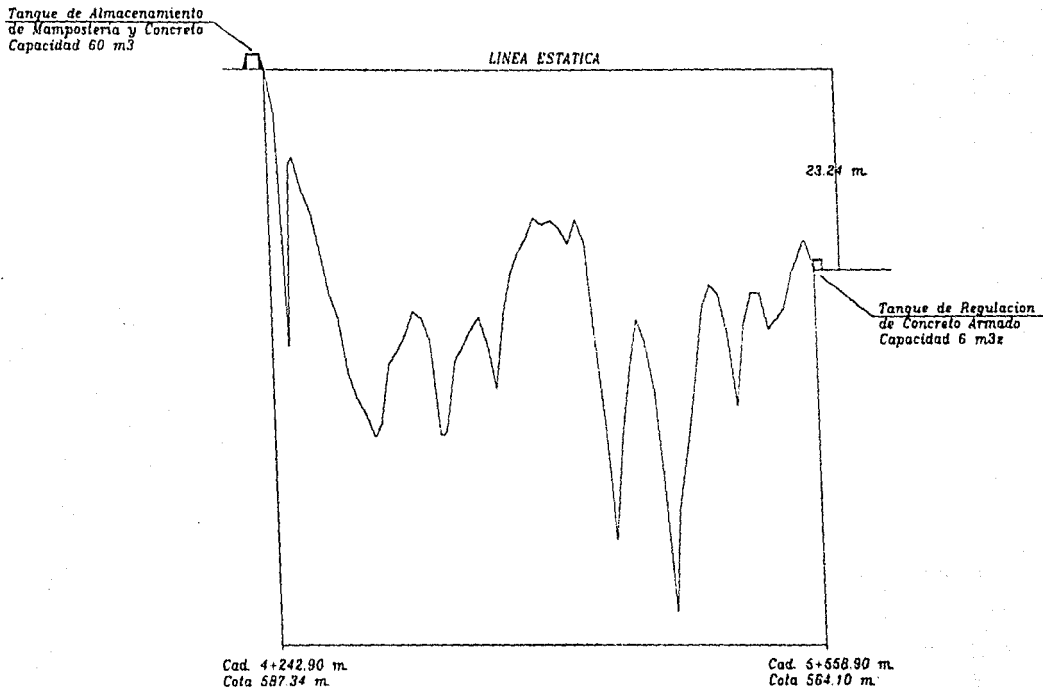


FIG. 4.2



Tomando en cuenta lo anterior se hicieron las siguientes determinaciones:

1) Diámetro y Material de la Tubería.

La línea deberá de conducir el gasto máximo diario de la localidad, de acuerdo al cálculo de gastos realizados en la sección 1.11, este gasto tiene un valor de:

$$Q_{md} = 2.94 \text{ L. P. S.}$$

La longitud de conducción es de 4,242.90 m. y la carga disponible que se tiene es de 412.66 m. Para la determinación del diámetro no se tomarán en cuenta las pérdidas locales por ser muy pequeñas. Por lo tanto, tomaremos en cuenta solamente las pérdidas por fricción para lo cual, si consideramos:

$$H_K = hf = 412.66 \text{ m.}$$

Entonces, por la fórmula de pérdidas de Manning tendremos:

$$hf = \frac{10.3n^2 Q^2 L}{D^{5/2}} \quad \dots \text{ (ec. 4.4.1)}$$

de donde:

$$D = \left( \frac{10.3n^2 Q^2 L}{hf} \right)^{2/5} \quad \dots \text{ (ec. 4.4.2)}$$

Se propone tubería de P.V.C., y su coeficiente de rugosidad es de 0.009 (adimensional).

Por lo que sustituyendo en la ec. 4.4.2, se tendrá:

$$D = \left( \frac{10.3(0.009)^2 (0.00294)^2 (4,242.90)}{412.66} \right)^{2/5} = 0.046 \text{ m.} = 46.04 \text{ mm.}$$

Este diámetro es teórico, el diámetro comercial inmediato es de 50.8 mm. ( 2" ), este diámetro tienen las siguientes características:

Material P.V.C. de 2" de diámetro.

Norma RD-26

Presión de trabajo = 11.2 kg/cm<sup>2</sup>.

Diámetro nominal = 50 mm.

Diámetro real = 60.3 mm.

Diámetro interior = 55.3 mm.

Por lo que las pérdidas quedarán determinadas por:

$$hf = \frac{10.3(0.009)^2(0.00294)^2(4,242.90)}{(0.0553)^{5.31}} = 155.29m.$$

como  $hf = 155.29m$ ,  $H_E = 412.66m$ , se acepta el diámetro propuesto.

Revisando la velocidad tenemos:

$$Q = VA \rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$$\therefore V = \frac{0.00294}{\pi(0.25)(0.0553)^2} = 1.22\%$$

El cuál es un valor aceptable, ya que se encuentra dentro del rango de valores que indican las Normas de Aprovechamiento de Agua Potable para Localidades Urbanas, definida de la siguiente manera:

$$Vel. \min \quad 0.5 \text{ m seg.} \quad V = 5 \text{ m seg.} \quad Vel. \max.$$

## 2) Clase de la Tubería.

La clase de la tubería dependerá de la presión interna de trabajo (carga piezométrica), pero también deberá considerarse en una línea que trabaje a gravedad, la carga estática.

Analizando la carga estática que se tiene y las pérdidas por fricción que se producen en la tubería, determinamos una presión en la línea de 25.74 Kg/cm<sup>2</sup>, sin considerar que la condición más desfavorable que se presenta en la línea es la que se produce al cerrarse la válvula de llegada al tanque de almacenamiento, la cual produciría una sobre presión causada por el fenómeno de golpe de ariete. Considerando lo anterior se determino lo siguiente:

a) Dividir la tubería en tramos, tomando en cuenta las características topográficas de la línea.

Aplicando el criterio anterior y después de analizar el perfil se llegó a las siguientes conclusiones:

*Características de la Tubería*

	<i>Diámetro Pulg.</i>	<i>Material</i>	<i>Clase</i>	<i>Coef. de Rugosidad</i>	<i>P.M.F. Kg/cm<sup>2</sup></i>
<i>Tramo 1</i>					
<i>De la obra de toma al cadenamiento 1 - 806.85</i>	2"	<i>P.V.C.</i>	<i>RD-26</i>	<i>0.009</i>	<i>11.2</i>
<i>Tramo 2</i>					
<i>Del cadenamiento 1 - 806.85 a la CRP-1 que se ubica en el cadenamiento 2 - 516.00</i>	2"	<i>Fo.Go.</i>	<i>C-40</i>	<i>0.010</i>	<i>100</i>
<i>Tramo 3</i>					
<i>De la CRP-1 en el cadenamiento 2 - 516.00 al tanque de almacenamiento en el cadenamiento 4 - 242.90.</i>	2"	<i>P.V.C.</i>	<i>RD-26</i>	<i>0.009</i>	<i>11.2</i>

*La CRP-1 permitirá disminuir la carga estática que se tiene en el cadenamiento 2 - 516.00. El criterio de ubicación es considerar un punto en donde su carga estática no rebase los 60 m.c.a., y topográficamente no provoque depresiones ( presiones menores que la atmosférica ) aguas abajo.*

*Para el diseño de la caja rompedora de presión se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:*

*El tiempo de retención que consideramos es de 3.5 minutos. las dimensiones de la caja a considerar están en función del volumen retenido, las cuales se presentan a continuación:*

$$Volumen = Q(t_{ra})$$

$$V = 0.00294 \text{ m}^3/\text{s} (210 \text{ seg.}) = 0.617 \text{ m}^3 \approx 0.62 \text{ m}^3$$

*Proponiendo una base en la caja de 1m<sup>3</sup>. de superficie tenemos:*

$$Volumen = Area_{base} \times Altura$$

$$0.62 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^2 (altura)$$

$$altura = 0.62 \text{ m.}$$

Por lo tanto se considera una caja rompedora de presión con una capacidad de  $1m^3$ , es decir, una base de  $1m^2$ . y una altura de  $1m$ ., esto es para tener espacio en el acomodo de los dispositivos que integran dicha caja, como son la válvula de flotador entre otros.

### DISEÑO DEFINITIVO DE LA LINEA - I

#### TRAMO I De la obra de toma al cadenamamiento 1+806.85

Datos:

$$Q = 0.00294 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1,806.85 \text{ m.}$$

$$D = 0.0508 \text{ m. ( 2'' ) Diámetro comercial}$$

$$D_i = 0.0553 \text{ m. Diámetro interior}$$

$$H_c = 1,000.0 \text{ m.}$$

$$V_m = 1.22 \text{ m/s}$$

Realizando el cálculo de las pérdidas tenemos:

$$h_f = \frac{10.3(0.009)^2 (0.00294)^2 (1,806.85)}{(0.0553)^{1.75}} = 66.13 \text{ m.}$$

En la siguiente tabla se presenta el cálculo de las pérdidas locales:

#### Deflexiones horizontales

Deflexión	K	$V^2/2g$ ( m )	$h/pza$ ( m/pza )	N° pzas	Pérdidas locales ( m )
15°	0.042	0.0759	0.003188	1	0.0032
22.5°	0.066	0.0759	0.004811	1	0.0048
37.5°	0.108	0.0759	0.008197	1	0.0082
45°	0.236	0.0759	0.017912	4	0.0716
60°	0.471	0.0759	0.035749	3	0.1072
				$\Sigma$	0.195

#### Deflexiones verticales

Deflexión	K	$V^2/2g$ ( m )	$h/pza$ ( m/pza )	N° pzas	Pérdidas locales ( m )
15°	0.042	0.0759	0.003188	3	0.0096
20°	0.058	0.0759	0.004402	2	0.0088
27.5°	0.082	0.0759	0.006224	2	0.0124
35°	0.146	0.0759	0.001108	1	0.0011
				$\Sigma$	0.0319

*Dispositivos adicionales*

<i>Dispositivo</i>	<i>K</i>	<i>V<sup>2</sup>/2g ( m )</i>	<i>l/pza ( m/pza )</i>	<i>N° pzas</i>	<i>Pérdidas locales ( m )</i>
<i>Entrada</i>	0.5	0.0759	0.03795	1	0.0379
<i>Válvula de seccionamiento</i>	0.16	0.0759	0.01214	2	0.0243
				$\Sigma$	0.0622

*Total de Pérdidas:*

$$H_f = 66.13 + 0.195 + 0.0319 + 0.0622 = 66.42 \text{ m.}$$

*La cota piezométrica del cadenamamiento 1 + 806.85 es:*

$$H = 1,000.0 - 66.419 = 933.58 \text{ m.}$$

*con una carga de presión  $H_p = 933.58 - 898.22 - 0.0759 = 35.28 \text{ m}$*

*$P = 3.528 \text{ Kg/cm}^2 = 11.2 \text{ Kg/cm}^2$ , se acepta el diámetro propuesto.*

**TRAMO 2 Del cadenamamiento 1+806.85 al cadenamamiento 2+516 ( CRP-1 )**

*Datos:*

$$Q = 0.00294 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 709.15 \text{ m.}$$

$$D = 0.0508 \text{ m. ( 2" ) Diámetro comercial}$$

$$D = 0.0525 \text{ m. Diámetro interior}$$

$$H_c = 933.58 \text{ m.}$$

$$V_m = 1.358 \text{ m/s}$$

*Realizando el cálculo de las pérdidas tenemos:*

$$h_f = \frac{10.3(0.009)^2(0.00294)^2(709.15)}{(0.0525)^{1.85}} = 42.28 \text{ m.}$$

*En la siguiente tabla se presenta el cálculo de las pérdidas locales:*

### Deflexiones horizontales

Deflexión	K	$V^2/2g$ ( m. )	$h/pza$ ( m/pza )	N° pzas	Pérdidas locales ( m. )
15°	0.041	0.094	0.004	4	0.088
45°	0.236	0.094	0.022	1	0.004
60°	0.471	0.094	0.044	1	0.044
				$\Sigma$	0.136

### Deflexiones verticales

Deflexión	K	$V^2/2g$ ( m. )	$h/pza$ ( m/pza )	N° pzas	Pérdidas locales ( m. )
15°	0.042	0.094	0.0039	1	0.0039
30°	0.130	0.094	0.0122	1	0.0122
45°	0.236	0.094	0.0222	1	0.0222
				$\Sigma$	0.0383

Pérdidas totales:

$$H_f = 42.28 + 0.136 + 0.0383 = 42.45 \text{ m.}$$

La cota piezométrica del cadenamiento 2 - 516.0 es:

$$H = 933.58 - 42.45 = 891.13 \text{ m.}$$

con una carga de presión  $H_p = 891.13 - 693.65 - 0.094 = 197.386 \text{ m.}$

$$P = 19.738 \text{ Kg/cm}^2 \cdot 100 \text{ Kg/cm}^2, \text{ se acepta el diámetro propuesto.}$$

### TRAMO 3 De CRP-1 al tanque de almacenamiento cadenamiento 4+242.90

Datos:

$$Q = 0.00294 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1,726.9 \text{ m.}$$

$$D = 0.0508 \text{ m. ( 2'' ) Diámetro comercial}$$

$$D = 0.0553 \text{ m. Diámetro interior}$$

$$H_c = 694.0 \text{ m.}$$

$$V_m = 1.22 \text{ m/s}$$

Realizando el calculo de las perdidas tenemos:

$$h_f = \frac{10.3(0.009)^2(0.00294)^2(1,726.9)}{(0.0553)^{1/2}} = 63.20 \text{ m.}$$

En la siguiente tabla se presenta el cálculo de las pérdidas locales:

*Deflexiones horizontales*

<i>Deflexión</i>	<i>K</i>	<i>V<sup>2</sup>/2g</i> <i>( m. )</i>	<i>h/pza</i> <i>( m/pza )</i>	<i>N° pzas</i>	<i>Pérdidas locales</i> <i>( m. )</i>
22.5°	0.066	0.0759	0.005	1	0.005
45°	0.236	0.0759	0.0179	3	0.054
60°	0.471	0.0759	0.0357	1	0.036
				$\Sigma$	0.095

*Deflexiones verticales*

<i>Deflexión</i>	<i>K</i>	<i>V<sup>2</sup>/2g</i> <i>( m. )</i>	<i>h/pza</i> <i>( m/pza )</i>	<i>N° pzas</i>	<i>Pérdidas locales</i> <i>( m. )</i>
22.5°	0.066	0.0759	0.005	2	0.010
45°	0.236	0.0759	0.0179	3	0.054
60°	0.471	0.0759	0.0357	4	0.143
90°	1.129	0.0759	0.0823	4	0.329
				$\Sigma$	0.536

*Dispositivos adicionales*

<i>Dispositivo</i>	<i>K</i>	<i>V<sup>2</sup>/2g</i> <i>( m. )</i>	<i>h/pza</i> <i>( m/pza )</i>	<i>N° pzas</i>	<i>Pérdidas locales</i>
<i>Entrada</i>	0.5	0.0759	0.03795	1	0.0379
<i>Válvula de seccionamiento</i>	0.16	0.0759	0.01214	2	0.0243
				$\Sigma$	0.0622

*Pérdidas totales:*

$$H_f = 63.20 + 0.095 + 0.536 + 0.0022 = 63.89 \text{ m.}$$

La cota piezométrica en la entrada del tanque de almacenamiento ( cad 4+242.9 ) será:

$$H = 694 - 63.89 = 630.11 \text{ m.}$$

con una carga de presión  $H_p = 630.11 - 587.338 - 0.0759 = 42.70 \text{ m.}$

$P = 4.27 \text{ Kg/cm}^2 \cdot 11.2 \text{ Kg/cm}^2$ , se acepta el diámetro propuesto.

## DISEÑO DEFINITIVO DE LA LINEA -2

**TRAMO:** *Conducción del tanque de almacenamiento al tanque de regulación.*

A) *Determinación del diámetro, material y clase de la tubería.*

1) *Diámetro y material de la tubería.*

*La línea conducirá el mismo gasto que en el caso de la línea que parte de la obra de toma y llega al tanque de almacenamiento dicho gasto es igual a:*

$$Q_{md} = 2.94 \text{ l.p.s.}$$

*La longitud de conducción es de 1316m. y la carga disponible que se tiene es de 23.24 m.*

*Para la determinación del diámetro no se tomarán en cuenta las pérdidas locales por ser muy pequeñas. Por lo tanto, tomaremos en cuenta solamente las pérdidas por fricción para lo cual si consideramos:*

$$H_f = hf = 23.24 \text{ m.}$$

*Entonces, por la fórmula de pérdidas de Manning tendremos:*

$$hf = \frac{10.3n^2 Q^2 L}{D^{13/3}} \quad \dots \text{ ( ec. 4.4.1 )}$$

*de donde:*

$$D = \left( \frac{10.3n^2 Q^2 L}{hf} \right)^{3/16} \quad \dots \text{ ( ec. 4.4.2 )}$$

*Se propone tubería de P.V.C., y su coeficiente de rugosidad es de  $n=0.009$  ( Coeficiente de rugosidad de Manning ).*

*Por lo que sustituyendo en la ec. 4.4.2, se tendrá:*

$$D = \left( \frac{10.3(0.009)^2 (0.00294)^2 (1,316.00)}{23.24} \right)^{3/16} = 0.0634 \text{ m.} = 63.39 \text{ mm.}$$

*Este diámetro es teórico, el diámetro comercial inmediato es  $D=60 \text{ mm.}$  ( 2 1/2" ), este diámetro tienen las siguientes características:*



*Material P.V.C. de 2 1/2" de diámetro*

*Norma RD-26*

*Presión de trabajo = 11.2 Kg/cm.*

*Diámetro nominal = 60 mm.*

*Diámetro real = 73 mm.*

*Diámetro interior = 67 mm.*

*Por lo que las pérdidas quedaran determinadas por:*

$$hf = \frac{10.3(0.009)^2(0.00294)^2(1,316.0)}{(0.067)^{1.75}} = 17.13m.$$

*como hf = 17.13m. ∴ H<sub>R</sub> = 23.24m. se acepta el diámetro propuesto.*

*Revisando la velocidad tenemos:*

$$Q = VA \rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$$\therefore V = \frac{0.00294}{\pi(0.25)(0.067)^2} = 0.83 \%$$

*El cual se considera aceptable, ya que se encuentra en el intervalo de velocidades permisibles y que esta definido de la siguiente forma:*

$$\text{Vel. min. } 0.5\% \leq V \leq 5\% \text{ Vel. max.}$$

## *2) Clase de la tubería.*

*La clase de la tubería dependerá de la presión interna de trabajo ( carga piezometrica, se tiene que colocar una tubería capas de resistir la presión interna que se presenta para hacer una elección apropiada se tomara en cuenta la conducción más desfavorable, que se presenta en la línea cuando se cierra la válvula de llegada al tanque de regulación, puesto que en ese momento la tubería deberá soportar la presión que se origina por la diferencia de niveles entre la salida del tanque de almacenamiento y el tanque de regulación.*

*Tomando en cuenta lo anterior se propone utilizar la tubería P.V.C. más gruesa que es la RD-26, con espesor de 3mm. Y que soporta una presión de trabajo máxima de 11.2 Kg/cm.*

*En la siguiente tabla se presenta el cálculo de las perdidas locales.*

*Deflexión horizontal.*

<i>Deflexión</i>	<i>K</i>	<i>V<sup>2</sup>/2g ( m. )</i>	<i>h/pza ( m/pza )</i>	<i>N° pzas</i>	<i>Pérdidas locales ( m. )</i>
15°	0.042	0.035	0.00147	3	0.0044
22.5°	0.066	0.035	0.00231	2	0.0046
45°	0.236	0.035	0.00826	2	0.0165
				<i>Total ( m. )</i>	0.0255

*Dispositivos adicionales*

<i>Dispositivo</i>	<i>K</i>	<i>V<sup>2</sup>/2g ( m. )</i>	<i>h/pza ( m/pza )</i>	<i>N° pzas</i>	<i>Pérdidas locales ( m. )</i>
<i>Entrada</i>	0.5	0.035	0.0175	1	0.0175
<i>Válvula de seccionamiento</i>	0.7	0.035	0.0245	2	0.0490
<i>Tee 60x60</i>	1.4	0.035	0.049	3	0.1470
				<i>Total ( m. )</i>	0.2135

*Total de pérdidas:*

$$H_f = 17.30 + 0.0255 + 0.2135 = 17.54 \text{ m.}$$

*La cota piezométrica en el cadenamamiento 1 + 316.0 ( tanque de regulación ) es:*

$$H_c = 587.00 - 17.54 = 569.80 \text{ m.}$$

*y la carga de presión es  $H_p = 569.80 - 565.68 - 0.035 = 4.09 \text{ m.}$*

$$P = 0.409 \text{ kg/cm}^2 \ll 11.2 \text{ kg/cm}^2, \text{ se acepta el diámetro propuesto.}$$

*A continuación se presentan las figuras 4.3 y 4.4 que corresponden a los diseños hidráulicos definitivos de la línea 1 y 2.*

## DISEÑO HIDRAULICO DE LA LINEA I DE CONDUCCION

Tanque de Captacion  
con Carcamo  
de Mamposteria y Concreto  
Capacidad 4.41 m<sup>3</sup>

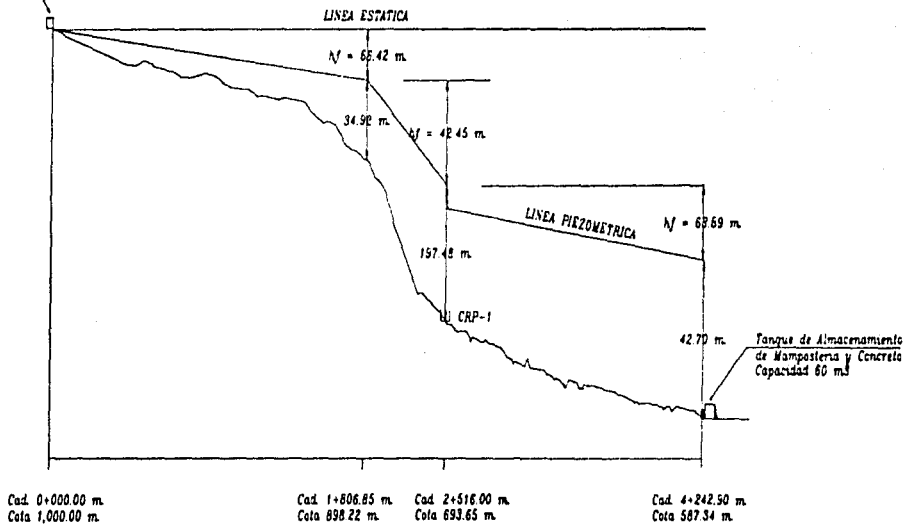


FIG. 4.3

## DISEÑO HIDRAULICO DE LA LINEA 2 DE CONDUCCION

Tanque de Almacenamiento  
de Mampostería y Concreto  
Capacidad 60 m<sup>3</sup>

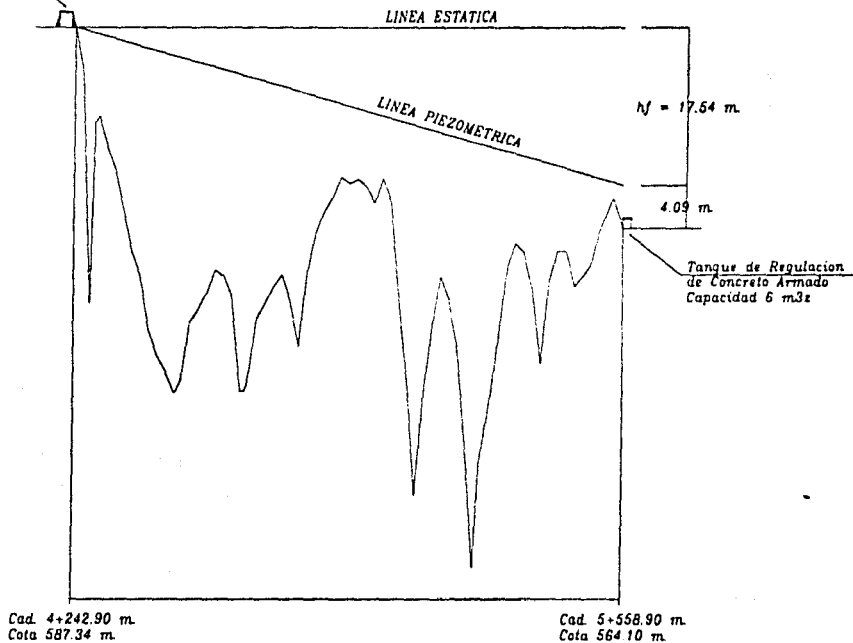


FIG. 4.4

## V ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS Y PIEZAS ESPECIALES EN LA LINEA DE CONDUCCION.

### 5.1 INTRODUCCION.

Las tuberías de conducción están compuestas por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos, por cambios que se presentan en la geometría de la sección, y por distintos dispositivos para el control del flujo en la tubería o para asegurar que el funcionamiento de la línea de conducción sea eficiente.

Las válvulas son una parte importante en el diseño de tuberías. Son usadas para regular el flujo y la presión protegen la tubería y las bombas de sobrepresiones, ayudan a prevenir transitorios, prevén el flujo reverso a través de las bombas, remueven el aire, y ejecutan otras funciones. Si no son seleccionadas y operadas apropiadamente, pueden además causar problemas. Por ejemplo, cerrando una válvula de control muy rápido, usando el tipo erróneo de válvula check, o llenando una línea muy rápidamente puede resultar en transitorios hidráulicos muy severos. Si las válvulas son sujetas a cavitación se desgastaran rápidamente, y tendrán fugas de agua, y necesitaran reemplazarse.

Hay una amplia variedad de diferentes tipos de válvulas usadas para una gran variedad de propósitos. Sin embargo las válvulas y sus usos pueden ser separadas dentro de cuatro categorías:

- 1.- Válvulas de control.
- 2.- Válvulas de regulación de presión.
- 3.- Válvulas de no retorno de flujo.
- 4.- Válvulas de control de aire

Estas categorías no son exclusivas porque el mismo tipo de válvula podría ser usada con diferentes controles para desempeñar cualquiera de las cuatro funciones. Por ejemplo, una válvula reguladora de flujo debería estar diseñada para no producir cavitación excesiva. Esto puede requerir de múltiples válvulas en serie, así que funcionarían como ambas, válvulas reguladoras de flujo y de control de la cavitación.

Independientemente de los grupos en que puedan clasificarse, todas las válvulas tienen ciertas características comunes, que son:

a) Superficies correlativas que actúan como sellos para cortar el paso en la válvula. En general se requieren un sello fijo y uno móvil.

*b) Un componente que sobresale del cuerpo y que mueve el asiento móvil que suele ser el vástago.*

*c) Una empaquetadura ó sello para el vástago para evitar pérdidas de fluido el vástago sale del cuerpo de la válvula.*

*d) Un volante o aparato similar para ayudar en el movimiento del vástago.*

*e) Un conducto para el paso del fluido por la válvula, la configuración del conducto define el tipo de control que se puede esperar de la válvula.*

## **5.2 TIPOS DE VALVULAS, USOS Y CRITERIOS DE SELECCION.**

*Un punto importante en la selección de las válvulas es verificar que éstas cumplan con las normas y especificaciones que regulan la construcción y el uso de las mismas.*

*ANSI ( American National Standard Institute )*

*MSS ( Manufacturers Standardization Society of the Valve and fitting Industry )*

*ASTM ( American Society Testing of Materials )*

*API ( American Petroleum Institute )*

*Posteriormente deberá considerarse el uso o la función que vaya a tener la válvula.*

### **Usos de las Válvulas.**

#### **a) Control:**

- 1.- Seccionamiento o bloqueo.*
- 2.- De drenado o vaciado.*
- 3.- De control de la cavitación.*
- 4.- Bypass.*

#### **b) Regulación de presión:**

- 1.- Alivio de presión.*

#### **c) De no retorno:**

- 1.- Válvula check.*

#### **d) De control de aire:**

- 1.- Eliminadoras de aire.*
- 2.- De aire-vacío.*

*a) Válvulas de control*

*1.- Seccionamiento: la función de éstas válvulas es aislar ciertas zonas, controlando los gastos que ingresan en ellas. El aislamiento generalmente se utiliza para realizar trabajos de mantenimiento ó reparaciones.*

*2.- Drenado: la función de las válvulas en este caso es poder vaciar el agua contenida en las tuberías. Por ello deben ubicarse en puntos topográficamente bajos, para que por gravedad se produzca esta función.*

*3.- Control de la cavitación: este tipo de válvulas controla el flujo o disipa el exceso de energía, limitando con ello el valor de la cavitación a un valor aceptable.*

*4.- Bypass: la función de éstas válvulas es recircular el agua en un arranque de bomba, en un llenado de tuberías ó bien en una zona donde este instalada una válvula de difícil operación, actuando sobre la presión y facilitando con ello las maniobras de dicha válvula.*

*b) Válvulas reguladoras de presión*

*1.- Aliviadoras de presión: la función de éstas válvulas es proteger a las tuberías de las presiones excesivas, principalmente las sobrepresiones por Golpe de Ariete.*

*c) Válvulas de no retorno*

*1.- Válvula check: la función de éstas válvulas es prevenir y evitar el flujo del agua en sentido inverso al flujo de la operación normal.*

*d) Válvulas de control de aire*

*1.- Eliminadoras de Aire: este tipo de válvulas expulsa pequeñas cantidades de aire que se acumula en los puntos altos de una línea de conducción. Este aire generalmente es arrastrado por el agua en su movimiento por la tubería, y difícilmente se puede evitar, por lo que es importante no dejar de colocar este tipo de válvulas en las líneas, sobre todo en aquellas de gran longitud.*

*2.- De Aire - Vacío: estas válvulas expulsan grandes volúmenes de aire de las líneas de conducción cuando se están llenando, e inyectan aire a la línea de conducción cuando ésta se vacía.*

*Tipos de Válvulas.*

*a) Válvula de Compuerta.*

*b) Válvula de Mariposa.*

*c) Válvula de Globo.*

- d) *Válvula Check.*
- e) *Válvula Aliviadora de Presión.*
- f) *Válvula Eliminadora de Aire.*
- g) *Válvula de Admisión y Expulsión de Aire.*
- h) *Válvula Combinada.*
- i) *Válvula de Desfogue o Drenaje*

a) *Válvula de Compuerta:* es una válvula de control que se usa para seccionar o drenar. Como su nombre lo indica consiste en una estructura que permite el deslizamiento de un disco en posición vertical para dar paso o cerrar, en forma hermetica a altas presiones; abierta totalmente causa pocas pérdidas. Requiere de una gran fuerza para su operación, si es de un gran tamaño requiere de muchos minutos para ser cerrada. Estas válvulas pueden ser de vástago levantara o no levantara, el tipo normal abre si se gira a la izquierda y tiene por tanto una rosca directa.

Cuenta con extremos provistos de bridas. Las válvulas de uso frecuente pueden ser de operación hidráulica o eléctrica, así como de operación manual.

b) *Válvula de Mariposa:* es una válvula de control que se usa para seccionar o drenar. La válvula consiste en un cuerpo tubular en donde va montado un disco denominado mariposa que pivotea sobre un eje central. En el exterior de la válvula se tiene un indicador para saber la posición del disco. Comparte con las de compuerta en cuanto a su utilización, pero tiene la ventaja de ser más ligera cuando se requiere para grandes diámetros, ya que son de menor tamaño, tienen mínimo desgaste por fricción, facilidad de operación y son de menor precio que las de compuerta. Tiene la desventaja de presentar mayores pérdidas aún estando totalmente abierta y no son adecuadas para líquidos que contengan materias que puedan impedir su cierre.

c) *Válvula de Globo:* generalmente se usa en pequeños diámetros y son económicas. Constan de un disco horizontal accionado por un vástago para cerrar o abrir un orificio por el que circula el agua, este mecanismo se encuentra alojado dentro de una caja voluminosa con extremos de brida para diámetros grandes y de rosca para las pequeñas. Su utilización en redes no es normal, debido a las grandes pérdidas de carga que producen. Su aplicación principal es en sistemas de distribución de edificios en donde su bajo costo compensa sus deficientes características hidráulicas.

d) *Válvula Check:* el objeto de esta válvula consiste en dejar pasar el agua en un solo sentido y automáticamente impedir que lo haga en sentido inverso al normal de trabajo, para ello constan de una placa con charnela a manera de compuerta y casi equilibrada con su peso para ser movida y quedar abierta, con la ayuda del agua que circula en el sentido deseado.

e) *Válvula Aliviadora de Presión:* se usa para proteger el equipo de bombeo y las tuberías, de las sobrepresiones producidas por los fenómenos transitorios. La válvula está diseñada para abrir automáticamente y descargar al exterior, cuando la presión en la línea sea mayor que aquella a la que fué calibrada. Según el modelo consta de un pistón que es



*accionado por la presión del agua para moverse hacia arriba del cuerpo de la válvula, a este movimiento se opone un resorte con presión controlable, según se desee calibrar la presión del flujo.*

*f) Válvula Eliminadora de Aire: como una función física natural el aire que contiene el agua de una tubería de conducción se va acumulando en los puntos altos y cambios de pendiente. Conforme aumenta el volumen de aire, se reduce el área efectiva de flujo; sin embargo el mayor peligro está en la posible compresión de este aire, así como en una interrupción repentina del flujo que puede multiplicar enormemente la presión de la bolsa de aire acumulado en la tubería, traduciéndose en una verdadera explosión con expulsión de fragmentos. Instalando válvulas Eliminadoras de Aire se evitarán estos problemas, ya que se irá eliminando continuamente el aire acumulado. Existen varios modelos de estas válvulas, pero básicamente constan de una cámara en donde el agua eleva un flotador para cerrar un orificio existente en la parte superior y que baja cuando la cantidad de aire adquiere cierto volumen, permitiendo automáticamente la salida del aire acumulado.*

*g) Válvula de Admisión y Expulsión de Aire: conocidas también como de Aire - Vacío, estas válvulas expulsan grandes cantidades de aire cuando una tubería se esta llenando y por otro lado dejan entrar aire del exterior cuando una tubería se esta vacuando, aliviando de esta forma la presión negativa y evitando que la tubería se aplaste por el efecto de la presión atmosférica.*

*h) Válvula Combinada: la válvula combinada para aire esta constituida por dos válvulas, una Eliminadora de aire, acoplada a otra de Admisión y Expulsión de aire; la primera permite descargar pequeñas y continuas cantidades de aire, lo que por su diseño la segunda no lo permite realizar.*

*i) Válvula de Desfogue ó Drenaje: este tipo de válvula se debe colocar en los puntos más bajos de una línea de conducción, con la finalidad de drenar la tubería para posibles inspecciones o reparaciones.*

### **5.3 TIPOS DE ATRAQUES, USOS Y CRITERIOS DE SELECCION.**

#### *Atraques*

*Con este nombre se define a ciertos elementos estructurales, generalmente de concreto, que impiden que en una tubería en operación se produzcan deformaciones por efecto de las fuerzas dinámicas producidas por la Presión y en los puntos de cambio de dirección del flujo.*

*Tienen por objeto evitar que, por los empujes producidos por la Presión, la línea se mueva y se afecten sus acoplamientos.*

*En el criterio para el diseño de los atraques se consideran fundamentalmente tres fuerzas:*

- a) Fuerza de Presión ( incluyendo el Golpe de Ariete )*
- b) Peso de la Tubería*
- c) Peso del Agua*

*Las fuerzas anteriores combinadas con los cambios de dirección ( ángulos de deflexión ) y la resistencia del terreno nos permitirán diseñar el tamaño y tipo de atraque por instalar, siendo necesarios para toda línea de conducción.*

*Su uso sirve para constituir un medio de anclaje entre la tubería, los accesorios y la pared de la zanja.*

#### **5.4 TIPOS DE SILLETAS, USOS Y CRITERIOS DE SELECCION.**

##### *Silletas*

*Son elementos que generalmente soportan a las tuberías que se instalan a cielo abierto, evitan que ésta se apoye directamente en el terreno con diversos fines, como por ejemplo impide que el agua de lluvia se embalse en un costado de la tubería; y cuando el terreno es muy irregular el uso de las silletas evita que haya muchas deflexiones.*

*El criterio de diseño se basa en considerar que trabajan como apoyos libres. Por ello la tubería se analiza como una viga continua con apoyos libres.*

*Las silletas se pueden construir de mampostería, de materiales de acero, pero comunmente se construyen de concreto.*

##### *Tipos de Silletas*

- a) De Mampostería.*
- b) De Concreto.*
- c) De Acero.*

#### **5.5 PIEZAS ESPECIALES Y JUNTAS DE DILATAACION.**

##### *Piezas Especiales*

*Así son denominadas todas las conexiones necesarias en una línea de conducción y que se utilizan para continuar y guiar la tubería en las intersecciones, en los cambios de dirección, variación de diámetro, accesos a válvulas, etc. Las piezas especiales de fierro fundido son las más empleadas y se fabrican para todos los diámetros de tubería. Estas piezas*

*se conectan entre sí o a las válvulas por medio de bridas y tornillos, con un empaque de sellamiento intermedio, que puede ser de plomo, hule o plástico.*

*Por otra parte para interconectar la tubería hidráulica de PVC y formar líneas de conducción y circuitos, existen todas las conexiones necesarias ya sea para cambiar la dirección del flujo del agua, derivar o unir sistemas de igual o diferente diámetro, cerrar los extremos de una línea y unir tubería de PVC a válvulas o piezas bridadas o con rosca.*

*Dentro de las piezas especiales se pueden encontrar las siguientes:*

- a) Codos.*
- b) Cruces y Tes.*
- c) Reducciones.*
- d) Tubos cortos o Carretes*

#### *Juntas de Dilatación*

*La función de estas juntas es absorber el alargamiento y contracciones del tubo, como consecuencia de las variaciones de temperatura.*

*En las tuberías expuestas a la intemperie y sobre todo en las metálicas se requiere instalar juntas de dilatación ya que de no colocarlas la línea de conducción podría fallar.*

*Para la colocación de las juntas de dilatación se debe calcular una separación máxima "S", que depende de la variación de la temperatura en el lugar y del alargamiento unitario del tipo de tubería definido.*

*En el Servicio Meteorológico Nacional se dispone de mucha información para determinar los valores registrados de máxima y mínima temperatura, con el fin de definir la variación que se presenta con más frecuencia.*

*Se deben hacer cálculos para establecer un alargamiento permitido y la decisión de la separación de las juntas dependerá de un análisis técnico económico para encontrar el que cumpla mejor con las condiciones de nuestro proyecto.*

*Se conocen dos tipos de juntas:*

- a) Tipo acordeón ( metálica ).*
- b) Tipo unión o dresser ( con empaque de hule )*

## VI. GOLPE DE ARIETE.

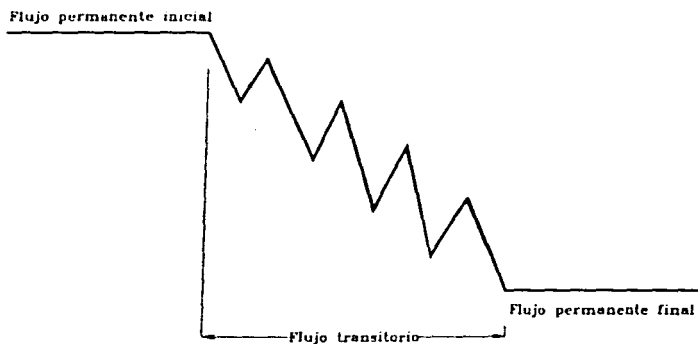
### 6.1. ASPECTOS TEORICOS.

#### 6.1.1. DEFINICIONES.

**Flujo permanente :** Flujo en el que las condiciones de gasto, presión y velocidad no cambian con el tiempo.

**Flujo no permanente :** Flujo en el que las condiciones de gasto, presión y velocidad varían en el tiempo.

**Flujo transitorio :** Estado de flujo que se tiene cuando las condiciones de gasto, presión y velocidad, están cambiando de un estado permanente inicial a otro estado permanente final.



**Golpe de ariete :** Es un fenómeno que se origina debido a cambios en el flujo permanente inicial debido a maniobras de cierre ó apertura de los mecanismos de control (válvulas), dando origen a un flujo transitorio en el conducto, al cual se le conoce comúnmente como golpe de ariete, el cual consiste en variaciones violentas de presión en forma de ondas elásticas que viajan a lo largo de la tubería.

### 6.1.2. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE.

Para comprender el aspecto físico del Golpe de Ariete se presentan una secuencia de eventos que ocurren al cerrar bruscamente una válvula localizada en el extremo aguas abajo de una tubería alimentada por un depósito de carga constante.

La secuencia de eventos corresponde al movimiento de la onda de presión que se produce por el golpe de ariete y comprende dos periodos o fases definidos por la siguiente expresión:

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

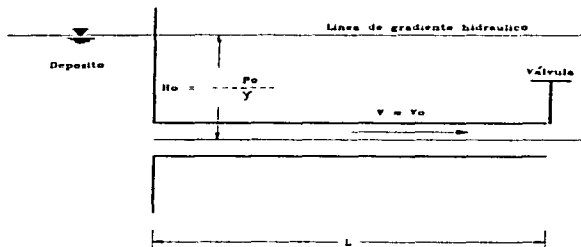
donde:

$T$  = Periodo de tiempo en el que la onda de presión efectúa un viaje ida y vuelta a lo largo de la tubería.

$L$  = Longitud de la tubería.

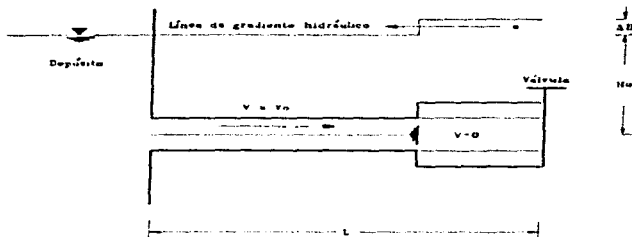
$a$  = Celeridad con que se desplaza la onda de presión.

#### Flujo permanente inicial $t \leq 0$



- Para  $t < 0$  : el flujo en el tubo es permanente, con una velocidad  $V_0$ , una presión  $P_0$  y densidad  $\rho_0$ .
- Para  $t = 0$  : la válvula se cierra instantáneamente (si la válvula se cerrara despacio, el fenómeno disminuiría e inclusive se puede evitar).
- Se desprecian las pérdidas por fricción y locales.
- La pared del tubo es deformable.

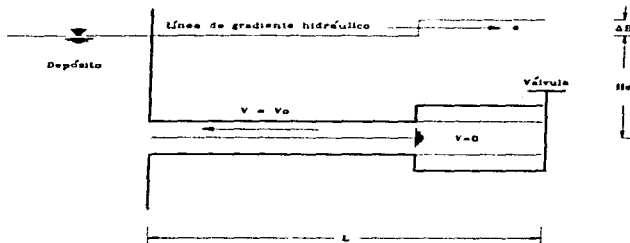
Para  $0 \leq t \leq L/a$



donde :  $L$  = Longitud ;  $a$  = velocidad de la onda de presión

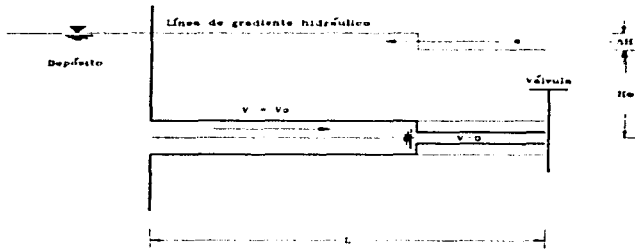
- Al cerrar la válvula se genera una onda de presión positiva que se propaga hacia el depósito con una velocidad " $a$ ".
- Se produce además un incremento de la presión " $\Delta H$ ", que provoca que el tubo se expanda.
- Atrás de la onda de presión ( $a$ ), la velocidad del fluido es "cero" y toda la energía cinética se convierte en energía elástica.
- Entre el depósito y la onda de presión la velocidad del flujo es  $V_0$ .

Para  $L/a \leq t \leq 2L/a$



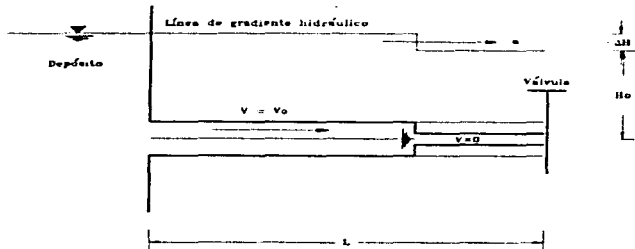
- La onda de presión se refleja en el depósito y regresa hacia la válvula por la diferencia de presiones.
- Detrás de la onda de presión se presenta la disminución de la presión " $\Delta H$ " de manera que el tubo vuelve a tener su forma original con una presión  $H_0$ .
- El agua en el tubo, detrás de la onda se mueve hacia el depósito con velocidad  $V_0$  por la diferencia de presiones.

Para  $2l/a \leq t \leq 3l/a$



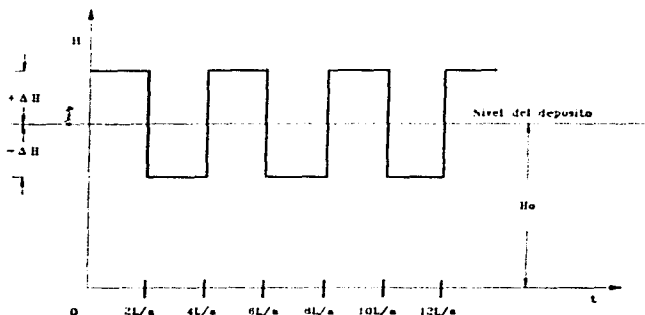
- Al encontrarse con la válvula cerrada la onda de presión regresa hacia el depósito provocando una disminución " $-\Delta H$ " en la presión del tubo y con ella una contracción en sus paredes.
- Atrás de la onda la velocidad de flujo es cero.

Para  $3l/a \leq t \leq 4l/a$

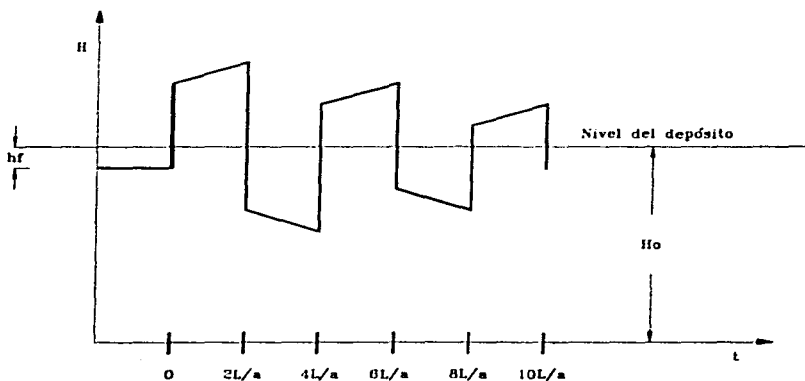


- Al llegar la onda de presión al depósito y por la diferencia de presión entre el recipiente  $H_0$  y el tubo  $H_0 - \Delta H$  provoca que el fluido se mueva hacia la válvula con velocidad  $v_0$ .
- La onda de presión se mueve hacia la válvula ocasionando un incremento de presión  $\Delta H$  en el tubo.
- Este proceso se repite hasta que por efecto de la fricción establezca un nuevo flujo permanente.

El siguiente diagrama muestra la variación de la presión en la válvula sin considerar pérdidas por fricción.



El siguiente diagrama muestra la variación de la presión en la válvula considerando pérdidas por fricción.



Si en la válvula o en cualquier sección del tubo midiéramos los valores de presión a lo largo del tiempo durante el golpe de ariete tendríamos una gráfica como las ilustradas anteriormente.



### 6.1.3. CAUSAS DE FENOMENOS TRANSITORIOS.

*El fenómeno transitorio se puede producir siempre que se utilizan las combinaciones de flujo permanente, como por :*

- a) Cierre ó apertura de válvulas.*
- b) Arranque ó paro de bombas.*
- c) Cambios en la demanda de potencia de turbinas.*
- d) Cambios en la elevación de los embalses.*
- e) Vibraciones de impulsores de bombas y turbinas.*

*El tiempo de operación de la válvula al que llamaremos " Top " ( cierre o apertura ) puede variar de manera que se puede definir lo siguiente;*

- a) Si Top  $\cdot$  T : Se dice que la operación de la válvula es Rápida.  
(se debe diseñar la tubería contra golpe de ariete).*
- b) Si Top  $\cdot$  T : Se dice que la operación de la válvula es Lenta.  
(se debe revisar la tubería contra los efectos llamados oscilación de masas).*

*Las "operaciones lentas" generalmente son programadas, es decir, si debemos parar una bomba para darle mantenimiento, este paro lo podemos planear y programar de manera que tomemos las medidas necesarias para evitar el golpe de ariete.*

*En cambio las "operaciones rápidas" generalmente son accidentales y por lo mismo no son programables, por ejemplo, una bomba puede parar accidentalmente al fallar la energía eléctrica y éste paro que se le suele llamar "Disparo de Bomba", se lleva a cabo en forma instantánea en el momento menos esperado.*

### 6.1.4. CELERIDAD DE LA ONDA DE PRESION (a)

La celeridad (velocidad) de las ondas de presión en una tubería depende de :

- Características elásticas del líquido.
- Características de la tubería. (diámetro, espesor, material, etc.)

Se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \left(\frac{K}{E}\right) \left(\frac{D}{e}\right) C_1}}$$

donde :

$K$  = Módulo volumétrico del agua,  $\text{kg m}^{-2}$  tabla III.2

$\rho$  = Densidad del agua,  $\text{kg seg.}^{-2} \text{m}^3$  ver ref. 7

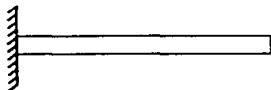
$E$  = Módulo de elasticidad del tubo,  $\text{kg m}^{-2}$  tabla III.1

$D$  = Diámetro del tubo, m.

$e$  = Espesor de la pared del tubo, m.

$C_1$  = Parámetro adimensional que describe el efecto de la velocidad de la onda de presión sobre el tubo y sus valores son:

- Para tubos asegurados ó fijos en el extremo de aguas arriba.

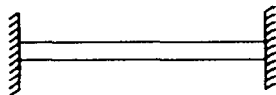


$$C_1 = 1 - \frac{\mu}{2}$$

donde :

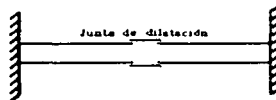
$\mu$  = Módulo de Poisson de la tubería.

- Para tubos asegurados a todo lo largo contra movimiento axial.



$$C_1 = 1 - \mu^2$$

- Para tubos asegurados con juntas de dilatación o expansión a todo lo largo.



$$C_1 = 1$$

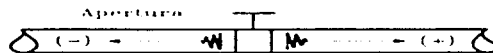
### 6.1.5. EFECTOS DEL GOLPE DE ARIETE.

#### a) En válvulas

a.1) **Cierre** : Se genera una caída de presión positiva hacia aguas arriba de la válvula y si esta válvula se ubica entre dos líneas se genera además una onda de presión negativa hacia aguas abajo.

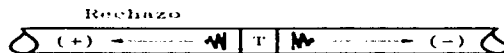


a.2) **Apertura** : En una maniobra de éste tipo, se genera una onda de presión negativa hacia aguas arriba y una onda de presión positiva hacia aguas abajo.

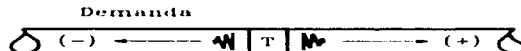


#### b) En turbinas

b.1) **Rechazo** : Se produce el mismo efecto que se tiene en el cierre de una válvula.

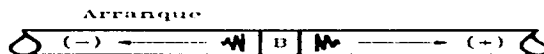


b.2) **Demanda** : Se produce el mismo efecto que se tiene en la apertura de una válvula.



#### c) En bombas

c.1) **Arranque** : El efecto de un arranque de bomba produce ondas de presión positivas hacia aguas abajo y ondas de presión negativas hacia aguas arriba.



c.2) **Paro** : El efecto de un paro de bomba produce una onda de presión negativa hacia aguas abajo y una onda de presión positiva hacia aguas arriba.



## 6.2. ECUACIONES REPRESENTATIVAS

*El flujo transitorio a través de conductos a presión se puede describir mediante las ecuaciones Dinámica y de Continuidad.*

*Las soluciones de estas ecuaciones involucran la determinación de dos variables dependientes, la carga piezométrica y el gasto (ó la velocidad), en función de dos variables independientes, el tiempo y la distancia con respecto a un punto de referencia, por lo que las ecuaciones que se generan son del tipo de Ecuaciones Diferenciales.*

*Para la derivación de estas ecuaciones se consideran los siguientes criterios :*

*a) El flujo en el conducto es unidimensional y uniformemente distribuido en la sección transversal del tubo.*

*b) La pared del conducto y el fluido se comportan de una manera lineal elástica y tienen pequeñas deformaciones.*

*c) Las fórmulas para calcular las pérdidas por fricción en un flujo permanente de un conducto cerrado, son válidas durante el transitorio.*

### 6.2.1. ECUACION DE CONTINUIDAD.

*Se basa en las siguientes consideraciones:*

*a) Toma en cuenta el grado de compresibilidad del fluido.*

*b) Toma en cuenta el grado de elasticidad del tubo*

*c) Toma en cuenta el volumen del fluido y su variación por efecto de la onda de presión.*

$$L2 = a^2 \frac{\partial Q}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad \dots(6.2.1)$$

*Ecuación de Continuidad aplicada al flujo transitorio.*

### 6.2.2. ECUACION DINAMICA O DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

*Se basa en las siguientes consideraciones:*

*a) Considera todas las fuerzas que se generan en el golpe de ariete ( fuerza de presión, fuerza de cuerpo, fuerza de fricción y todos los efectos en el fluido y el tubo ).*

$$L1 = \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{fQ}{2DA} |Q| = 0 \quad \dots(6.2.2)$$

*Ecuación de Cantidad de Movimiento aplicada al fenómeno transitorio.*

$$\text{Incógnitas : } Q = f(x, t) \quad \text{y} \quad H = f(x, t)$$

*La solución simultánea de éstas ecuaciones nos permite conocer los valores de "Q" y "H" en función de "x" y "t" durante el transitorio.*

### 6.2.3. METODOS DE SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE FLUJO TRANSITORIO

*Los métodos que se mencionan a continuación resuelven las ecuaciones del flujo transitorio pero bajo diversas consideraciones que también se mencionan.*

*a) Método de Joukowski : Método aplicable a maniobras rápidas de válvulas, en sistemas de tuberías muy sencillos.*

*b) Método de Allievi : Método aplicable a maniobras lentas de válvulas, en sistemas sencillos de tuberías.*

*c) Método de la Columna Rígida : Se aplica a sistemas muy sencillos como un conducto conectado a una válvula en un extremo y a un tanque de carga constante en el otro.*

*d) Gráficas de Chaudhry para fallas de Bombas : Son gráficas que proporcionan la variación de la presión generada por el paro de bombas, proporcionan un solo valor de ésta variación de presión. Generalmente el máximo y mínimo valor que se tendrán y solamente en el sitio donde este la bomba y a la mitad de la tubería.*

e) **Método Gráfico** : Método de solución del golpe de ariete mediante gráficas que el calculista construye a partir de ciertas consideraciones.

f) **Método de las Características** : Representa en la actualidad el método más usado ya que proporciona la variación del gasto ( ó velocidad ) y la carga en cualquier sección del tubo y para todo tiempo. Requiere del uso de computadoras por que implica hacer muchos cálculos.

g) **Otros Métodos** :

*Método de Diferenciales Parciales.*

*Método del Elemento Finito.*

*Método Espectral.*

*Método Algebraico.*

### 6.3. MÉTODO DE SOLUCIÓN

#### MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS

*Este método consiste en resolver las ecuaciones diferenciales parciales (6.2.1) y (6.2.2) transformándolas primeramente, en Ecuaciones Diferenciales Ordinarias , para posteriormente resolverlas por un método explícito de diferenciales finitas.*

##### 6.3.1. CONDICION DE CONVERGENCIA

*Esta condición de convergencia se debe a Courant, que establece que:*

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{1}{a}$$

$\Delta t$  = Intervalo de tiempo utilizado en el cálculo.

$\Delta x$  = Longitud del tramo en que se divide la tubería.

$a$  = Velocidad de la onda de presión.

### 6.3.2. TRANSFORMACION DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES DEL TRANSITORIO A ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS

Las ecuaciones (2.1) y (2.2) se pueden combinar linealmente por medio de un factor "λ" de tal forma que  $L = L1 + λL2 = 0$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda a^2 \frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \lambda eA \left(\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{f}{2IA} Q = 0 \quad \dots(6.2.3)$$

Puesto que :  $Q = f(x, t)$ ;  $H = f(x, t)$  entonces sus derivadas totales serán

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad \dots(6.2.4)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} \frac{dx}{dt}$$

Si las ecuaciones (6.2.4) las comparamos con los términos entre paréntesis de la ecuación (6.2.3).

De manera que:

$$\frac{dx}{dt} = \lambda a^2 = \frac{1}{\lambda}$$

de donde :

$$\lambda = \pm \frac{1}{a} \quad \dots(6.2.5)$$

Sustituyendo la ecuación (6.2.5) en la ecuación (6.2.3) obtenemos:

Para  $\lambda = \frac{1}{a}$

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{gA}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{f}{2DA} Q|Q| = 0 \quad \dots(6.2.6)$$

$$\frac{dx}{dt} = a \quad \dots(6.2.7)$$

Para  $\lambda = -\frac{1}{a}$

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{gA}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{f}{2DA} Q|Q| = 0 \quad \dots(6.2.8)$$

$$\frac{dx}{dt} = -a \quad \dots(6.2.9)$$

Ecuaciones Caracteristicas : { (6.2.6), (6.2.7), (6.2.8), (6.2.9) }

### 6.3.3. REPRESENTACION GRAFICA DE LAS ECUACIONES CARACTERISTICAS

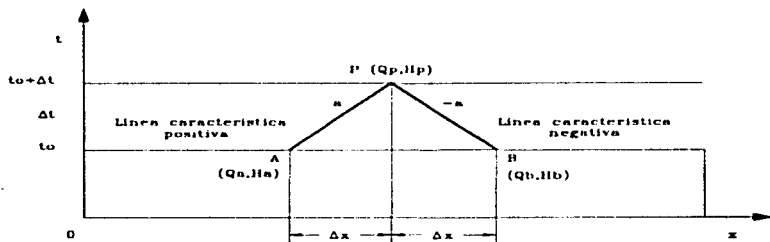


FIG. 1



### 6.3.4. ECUACIONES CARACTERISTICAS EN DIFERENCIAS FINITAS

Para resolver numéricamente las ecuaciones características se usan aproximaciones en diferencias finitas de primer orden.

Sobre la línea característica positiva ( $\overline{AP}$ ) se tiene:

$$(Q_P - Q_A) + \frac{gA}{a}(H_P - H_A) + f \frac{\Delta A}{2DA} Q_A |Q_A| = 0 \quad \dots(6.2.10)$$

Sobre la línea característica negativa ( $\overline{BP}$ ) se tiene:

$$(Q_P - Q_B) - \frac{gA}{a}(H_P - H_B) + f \frac{\Delta t}{2DA} Q_B |Q_B| = 0 \quad \dots(6.2.11)$$

Sustituyendo éstas ecuaciones (6.2.10) y (6.2.11) en (6.2.6) y las ecuaciones (6.2.12) y (6.2.13) en (6.2.8) y multiplicando por "dt", tenemos:

Las ecuaciones (6.2.14) y (6.2.15) nos permiten calcular las condiciones de "Q" y "H" en un punto "P" cualquiera en un problema de Golpe de Ariete. Estas ecuaciones se pueden representar como:

$$Q_P = C_P - C_a H_P \quad \dots(6.2.12)$$

$$Q_P = C_N + C_a H_P$$

donde:

$$C_P = Q_A + \frac{gA}{a} H_A - f \frac{\Delta t}{2DA} Q_A |Q_A|$$

$$C_N = Q_B - \frac{gA}{a} H_B - f \frac{\Delta t}{2DA} Q_B |Q_B|$$

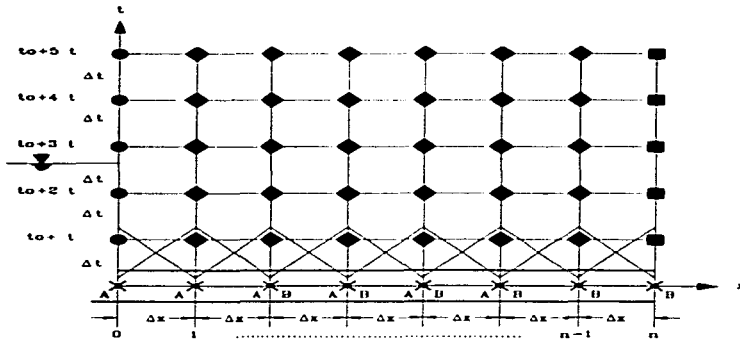
$$C_a = \frac{gA}{a}$$

Resolviendo simultáneamente el sistema de ecuaciones (6.2.16) tenemos que:

$$Q_p = 0.5(C_p + C_N) \quad \dots\dots(6.2.13)$$

$$H_p = \frac{C_p - Q_p}{C_s} = \frac{Q_p - C_N}{C_s} \quad \dots\dots(6.2.14)$$

### 6.3.5. METODOLOGIA.



Simbología

- X Puntos de condiciones de flujo permanente.
- Puntos de condiciones de frontera aguas arriba.
- ◆ Puntos de condiciones de frontera aguas abajo.
- Puntos interiores.

FIG. 2

Se utiliza la Figura 2 para explicar la metodología de cálculo del Golpe de Ariete :

a) Se considera que la tubería esta dividida en " n " tramos de longitud Δx.

b) Se conocen los valores de  $Q$  y  $H$  en cada sección en que se divide el tubo para las condiciones de flujo permanente

c) Se calculan las condiciones de  $Q$  y  $H$  para los puntos interiores correspondientes al transitorio en un tiempo  $t_0 + \Delta t$  usando las ecuaciones (2.17) y (3.18).

### 6.3.6. Condiciones de Frontera

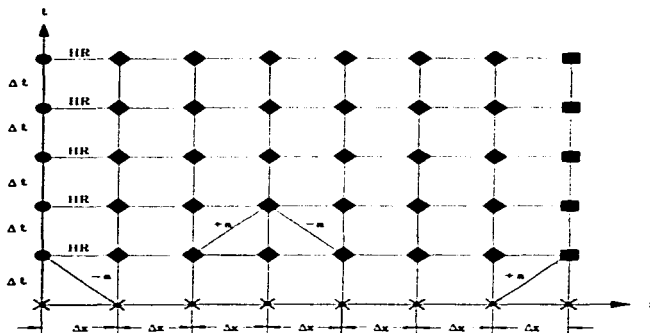


FIG. 3

Para obtener los valores de  $Q_p$  y  $H_p$  en las fronteras aguas abajo y aguas arriba, además de las ecuaciones características correspondientes; **Ecuación Característica Positiva para la frontera aguas abajo y Ecuación Característica Negativa para la frontera aguas arriba**, se debe utilizar una ecuación que represente el tipo de frontera que se tiene, de manera que con éste par de ecuaciones simultáneas en cada frontera podemos obtener los valores de  $Q_p$  y  $H_p$  en cada uno de ellos.

a) Embalse de carga constante aguas arriba.



$$\begin{aligned} Q_p &= C_B + C_a H_p \\ H_p &= H_R \end{aligned}$$

Se desprecian las pérdidas de la entrada al tubo (pérdidas locales).

b) Embalse de carga constante aguas abajo.



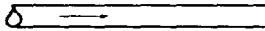
$$Q_r = C_N - C_a H_r$$

$$H_p = H_R$$

$$Q_r = C_N - C_a H_R$$

c) Tapa ciega en la frontera aguas abajo.

$$Q_r = C_r - C_a H_r$$



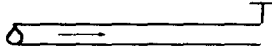
$$Q_r = 0$$

$$\therefore H_r = \frac{C_r}{C_a}$$

d) Válvula aguas abajo.

$$Q_r = C_r - C_a H_r$$

$$Q_r = \frac{1}{2}(-C_r + \sqrt{C_r^2 + 4C_r C_v})$$



$$C_v = \frac{(\tau Q_o)^2}{C_a H_o}$$

$$\tau = \frac{C_d A_v}{(C_d A_v)_o}$$

donde:

$\tau$  = Define la proporción de apertura o cierre de la válvula.

$A_v$  = Área de la válvula parcialmente abierta.

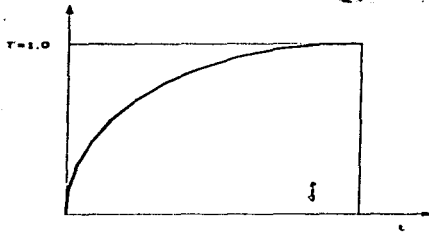
$C_d$  = Coeficiente de pérdida de carga en el orificio de salida.

$A_{vo}$  = Área de la válvula totalmente abierta.

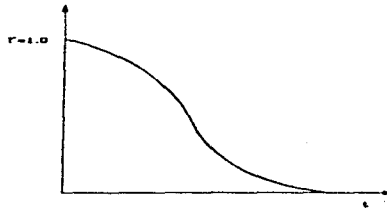
$C_{do}$  = Coeficiente de pérdida de carga en el orificio de salida totalmente abierto.

$H_o$  = Carga en la válvula en condiciones de flujo permanente.

$Q_o$  = Gasto en la válvula en condiciones de flujo permanente

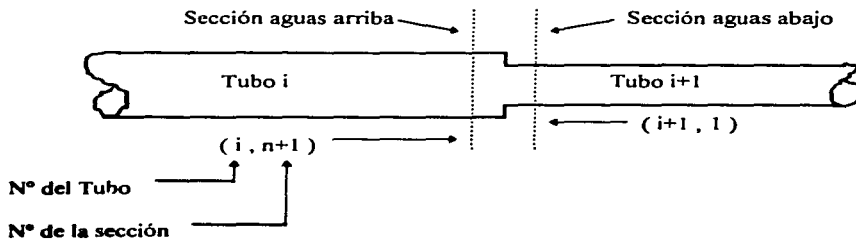


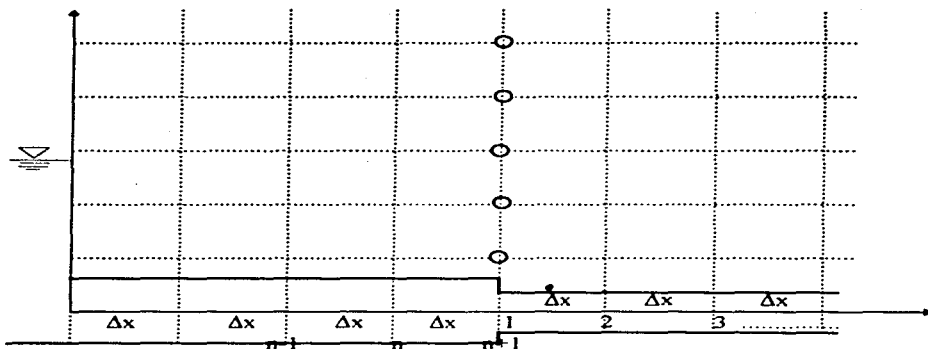
*Ley de Apertura de la Válvula.*



*Ley de Cierre de la Válvula.*

*e) Cambio de diámetro en el tubo (unión de dos tubos).*





*Ecuaciones:*

$$H_{P_{(t,n+1)}} = H_{P_{(t-1,1)}} \quad \dots(2.15)$$

$$Q_{P_{(t,n+1)}} = C_{P_t} - C_{a_t} H_{P_{(t,n+1)}} \quad \dots(2.16)$$

$$Q_{P_{(t,n+1)}} = C_{N_{(t,n)}} + C_{a_{(t,n)}} H_{P_{(t,n+1)}} \quad \dots(2.17)$$

$$Q_{P_{(t,n+1)}} = Q_{P_{(t-1,1)}} \quad \dots(2.18)$$

*La solución simultanea de las ecuaciones anteriores nos lleva a:*

$$Q_{P_{(t,n+1)}} = \frac{C_{P_t} - C_{N_{(t,n)}}}{C_{a_t} + C_{a_{(t,n)}}} \quad \dots(2.19)$$

$$H_P = C_{P_t} - C_{a_t} Q_P \quad \dots(2.20)$$

## 6.4. ANALISIS DEL GOLPE DE ARIETE

### 6.4.1. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA.

La línea de conducción tiene una longitud total de 5,558.90 m., la cual esta dividida en 2 líneas, la línea 1 tiene una longitud de 4,242.90 m. y la línea 2 de 1,316 m., las cuales conducirán por gravedad un gasto de 0.00294 m<sup>3</sup>/s., estos datos se resumen a continuación:

LÍNEA DE CONDUCCION	TIPO DE CONDUCCION	GASTO (M <sup>3</sup> /SEG)	LONGITUD (M)
LÍNEA 1	Gravedad	0.00294	4,242.90
LÍNEA 2	Gravedad	0.00294	1,316.00
	<b>TOTAL</b>		<b>5,558.90</b>

El diseño hidráulico que se propuso para la línea 1 y 2, tiene las siguientes características:

LÍNEA 1	LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	TUBO DE	P.M.T. (KG/CM <sup>2</sup> )
<b>TRAMO 1</b> De la obra de toma al cadenamiento 1+806.85	1,806.85	0.0508 (2")	P.V.C. RD-26	11.2
<b>TRAMO 2</b> Del cadenamiento 1+806.85 al cadenamiento 2+516.00 (CRP-1)	709.15	0.0508 (2")	Fo. Ga. CED. 40	100
<b>TRAMO 3</b> Del cadenamiento 2+516.00 (CRP-1) al cadenamiento 4+242.90	1,726.90	0.0508 (2")	P.V.C. RD-26	11.2
	<b>Σ 4,242.90</b>			

<b>LÍNEA 2</b>	<b>LONGITUD ( M )</b>	<b>DIAMETRO ( M )</b>	<b>TUBO DE</b>	<b>P.M.T. ( KG/CM2 )</b>
<b>TRAMO 1</b>				
<i>Del tanque de almacenamiento al tanque de regulación.</i>	1,316.00	0.060 ( 2½" )	P.V.C. RI)-26	11.2

*Se define " P.M.T. " como la presión máxima de trabajo.*

*El análisis por golpe de ariete considerará un cierre de válvula al final de cada tramo de tubería ( de la línea 1 y 2 ), ya que esta es la condición más desfavorable de trabajo que se presenta en la línea.*

#### **6.4.2 PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA ANALIZAR EL FENOMENO DEL GOLPE DE ARIETE.**

*Para analizar el fenómeno de golpe de ariete en la línea de conducción 1 y 2, se utilizó un programa de computadora codificado en lenguaje fortran. Este programa permite calcular el fenómeno transitorio en una línea de conducción por gravedad, causado por la apertura o cierre de una válvula, la línea puede estar hasta por 10 tubos conectados en serie y puede analizar 100 secciones en cada tubo.*

*A continuación se presenta el listado de dicho programa:*

#### **LISTADO DEL PROGRAMA PARA COMPUTADORA ( PC ) EN LENGUJE FORTRAN.**

```

C
REAL L
DIMENSION Q (10,100), H (10,100), QP (10,100), HP (10,100), CA (10), F (10),
1 CF (10), AR (10), A (10), L (10), N (10), D (10), Y (20), HMAX (10,100),
2 HMIN (10,100)
C
C READING AND WRITING OF INPUT DATA
C LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS DE ENTRADA
C GENERAL DATA

```



```

READ (5,*) NP, NRLP, IPRINT, G, QO, HRES, TLAST
WRITE (6,20) NP, NRLP, QO, HRES, TLAST
20  FORMAT (8X, 'NUMBER OF PIPES = ', I3, 8X, 'NUMBER OF REACHES ON LAST
1' PIPE = ', I3, 8X, 'STEADY STATE DISCH. = ', F6.3, ' M3 S-1 8X, 'RESERVOIR
2 LEVEL = ', F6.1, ' M-1 8X, 'TIME FOR WHICH TRANSIENTS ARE TO BE
3 COMPUTED = ', F6.1, ' S ')
C
C DATA FOR VALVE
C DATOS PARA LA VALVULA
READ (5,*) M, TV, DXT, TAUO, TAUF, QS, (Y(I), I = 1, M)
WRITE (6,30) M, TV, DXT, HS, QS, (Y(I), I = 1, M)
30  FORMAT (8X, 'NUMBER OF POINTS ON TAU VS TIME CURVE = ', I2, 8X,
1' VALVE OPERATION TIME = ', F6.2, ' S-1 8X, 'TIME INTERVAL FOR STORING
2 TAU CURVE = ', F6.3, ' S-1 8X, 'VALVE LOSS = ', F6.2 ' M FOR QS = ',
3 F6.3, ' M3 S-1 8X, 'STORED TAU VALUES = ' 8X, I5F8.3 )
C
C DATA FOR PIPES
C DATOS PARA LAS TUBERIAS
READ (5,*) (L(I), D(I), A(I), F(I), I = 1, NP)
WRITE (6,40)
40  FORMAT (8X, 'PIPE NOo ', 5X, 'LENGTH ', 5X, 'DIAo ', 5X, ' WAVE VEL. ', 5X, ' FRU )
2C FACTOR ' 21X, '(M)', 7X, '(M)', 7X, '(M/S)' )
WRITE (6,50) (L(I), D(I), A(I), F(I), I = 1, NP)
50  FORMAT (10X, I3, 6X, F7.1, 3X, F5.2, 5X, F7.1, 11X, F5.3)
WRITE (6,51)
51  FORMAT (8X, 'PIPE NOo ', 5X, 'ADJUSTED WAVE VEL. ' 27X, '(M/S)')
C
C CALCULATION OF PIPE CONSTANTS
C CALCULO DE LAS CONTANTES DE LAS TUBERIAS
DO 60 I = 1, NP
AR (I) = 0.7854 * D (I) ** 2
AUNAIJ = A (I)
AN = L (I) / (DT * A (I))
N (I) = AN
ANI = N (I)
IF ( ( AN-ANI).GE.0.5) N (I) = N (I) + 1
A (I) = L (I) / (DT * N (I))
WRITE (6,55) I, A (I)
55  FORMAT (10X, I3, 12X, F7.1)
56  CA (I) = G * AR (I) / A (I)
CF (I) = F (I) * DT / 2. * G * D (I) * N (I) * AR (I)
F (I) = F (I) * L (I) / (2. * G * D (I) * N (I) * AR (I) ** 2)
60  CONTINUE
C
C CALCULATION OF STEADY STATE CONDITIONS
C CALCULO DE LAS CONDICIONES DE FLUJO ESTABLE
H (1,1) = HRES
DO 80 I = 1, NP

```

```

NN = N (I) + 1
DO 70 J=1, NN
H (I,J) = H (I,1) - (J-1) *F (I) *QO**2
Q (I,J) = QO
70 CONTINUE
H (I+1, 1) = H (I, NN)
CONTINUE
80 NN = N (NP) + 1
IF (QO.NE.0.) HS = H (NP, NN)
DO 85 I=1, NP
NN = N (I) + 1
DO 85 J=1, NN
HMAX (I, J) = H (I,J)
HMIN (I, J) = H (I,J)
85 CONTINUE
NP1 = NP - 1
T = 0.0
TAU = TAUO
WRITE (6,88)
88 FORMAT (8X'TIME ', 2X,'TAU ', 2X,'PIPE ', 7X,'HEAD (M) ', 7X,'DISCH. ',
1'(M3/S) '/20X,'NO ', 5X,'(1) ', 5X,'(N+1) ',5X,'(1) ', 5X,'(N+1) ')
90 K = 0
I = 1
NN = N (I) + 1
WRITE (6,100) T, TAU, I, H (I,1), H (I,NN), Q (I,1), Q (I,NN)
100 FORMAT (F12.1, F6.3, 14, 2F9.2, F9.3, F10.3)
IF (NP.EQ.1) GO TO 150
DO 140 I=2, NP
NN = N (I) - 1
WRITE (6,120) I, H (I,1), H (I,NN), Q (I,1), Q (I,NN)
120 FORMAT (20X, I2, 2F9.2, F9.3, F10.3)
140 CONTINUE
150 T = T+DT
K = K+1
IF (T.GT. TLAST) GO TO 240

C
C UPSTREAM RESERVOIR
C DEPOSITO AGUAS ARRIBA
HP (1,1) = HRES
CN = Q (1,2) - H (1,2) *CA (1) - CF (1)*Q (1,2)*ABS (Q (1,2))
QP (1,1) = CN + CA (1)*HRES

C
C INTERIOR POINTS
C PUNTOS INTERIORES
DO 170 I=1, NP
NN = N (I)
DO 160 J=2, NN
JP1 = J+1
JM1 = J-1

```

```

CN = Q (I,JP1) - CA (I)*H (I,JP1) - CF (I)*Q (I,JP1)*ABS (Q(I,JP1))
CP = Q (I,JM1) + CA (I)*H (I,JM1) - CF (I)*Q (I,JM1)*ABS (Q(I,JM1))
QP (I,J) = 0.5*(CP + CN)
HP (I,J) = (CP - QP (I,J)) / CA (I)
160 CONTINUE
170 CONTINUE
C
C SERIES JUNCTION
C PUNTOS DE UNION
C IF (NP.EQ.1) GO TO 178
DO 175 I=1, NP1
IP1 = I+1
NI = N (I)
NN = N (I) + 1
CN = Q (IP1,2) - CA (IP1)*H (IP1) *Q (IP1,2)*ABS (Q(IP1,2))
CP = Q(I,NI) + CA (I) *H (I,NI)CF (I)*QQ (I,NI) *ABS (Q(I,NI))
HP (I,NN) = (CP-CN) / (CA (I) + CA (IP1))
HP (IP1,1) = HP (I,NN)
QP (I,NN) = CN + CA(IP1) *HP (IP1,1)
175 CONTINUE
C
C VALVE AT DOWNSTREAM END
C VALVULA EN EL EXTREMO AGUAS ABAJO
178 NN = N (NP) + 1
NMI = N (NP)
CP = Q (NP,NM1) + CA (NP)*H (NP,NM1) - CF (NP)*Q (NP,NM1)*ABS (Q(NP,NM1))
IF (T.GETV) GO TO 180
CALL PARAB (T,DXT,Y,TAU)
GO TO 190
180 TAU = TAUF
IF (TAU.LE.0.0) GO TO 200
190 CV = (OS*TAU)**2 / (HS*CA (NP))
QP (NP,NN) = 0.5 * (-CV + SQRT (CV*CV + 4. *CP*CV))
HP (NP,NN) = (CP - QP (NP,NN)) / CA (NP)
GO TO 210
200 QP (NP,NN) = 0.0
HP (NP,NN) = CP / CA (NP)
C
C STORING VARIABLES FOR NEXT TIME STEP
C ALMACENAMIENTO DE VARIABLES PARA EL SIGUIENTE PASO
210 DO 230 I=1, NP
NN = N (I) + 1
DO 220 J=1, NN
Q (I,J) = OP (I,J)
H (I,J) = HP (I,J)
IF (H (I,J).GT. HMAX (I,J))HMAX (I,J) = H(I,J)
IF (H (I,J).LT. HMIN (I,J)) HMIN (I,J) = H (I,J)
220 CONTINUE
230 CONTINUE

```

```

IF ( K.EQ..IPRINT) GO TO 90
GO TO 150
240 WRITE (6,250 )
250 FORMAT (8X, 'PIPE NO ', 3X, 'SECTION NO ', 3X, 'MAX PRESS ', 3X,
1 'MIN. PRESS ')
DO 270 I = 1, NP
NN = NN (I) + 1
DO 270 J = 1, NN
WRITE ( 6,260 ) I, J, HMAX ( I,J )
260 FORMAT (9X, 12, 13X, 12, 2F13.2)
270 CONTINUE
STOP
END
SUBROUTINE PARAB (X, DX, Y, Z )
DIMENSION Y (20)
I = X/DX
R = (X - I*DX) /DX
IF (I.EQ.0) R = R-1.
I = I - 1
IF (I.LT.2) I = 2
Z = Y (I) + 0.5*R*(Y (I-1) - Y (I-1) + R*(Y (I+1) + Y (I-1) - 2.*Y (I)))
RETURN
END

```

#### **DATOS NECESARIOS PARA UTILIZAR EL PROGRAMA DE COMPUTADORA.**

##### **LINEA 1**

*El análisis de golpe de ariete para la línea 1 se realizó en dos etapas, la primera abarca el tramo 1 y 2, y la segunda el tramo 3 de la línea.*

*Por lo tanto el primer análisis va de la obra de captación a la caja rompedora de presión (CRP-1), el segundo análisis se considera de la caja rompedora de presión al tanque de almacenamiento.*

*ANALISIS 1 (de la obra de toma a la caja rompedora de presión " CRP-1 ")*

## DATOS GENERALES.

1) Para el primer análisis se tienen 2 tipos de materiales ( P.V.C. y Fo.Go. ) por lo tanto se consideran 2 tubos ( NP = 2 ).

2) Para determinar el número de secciones del último tubo ( tramo 2 ), se realizaron los siguientes cálculos:

Cálculo del número de secciones ( tramo 2 )

$$\Delta x = \frac{L}{N}$$

donde:

L = Longitud total, m.  
N = Número de secciones.

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{A}$$

donde:

$\Delta x$  = Intervalo de longitud, m.  
A = Celeridad de la onda, m/s

Cálculo de la celeridad.

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \left(\frac{K}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)C_1}}$$

donde :

K = Módulo volumétrico del agua,  $2.24 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$  ver ref. 7

$\rho$  = Densidad del agua,  $101.94 \text{ kg seg.}^3/\text{m}^3$  ver ref. 7

E = Módulo de elasticidad del tubo,  $1.124 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$  ver ref. 7

D = Diámetro del tubo, 0.0553 m.

e = Espesor de la pared del tubo, 0.0025 m.

C<sub>1</sub> = Parámetro adimensional que describe el efecto de la velocidad de la onda de presión sobre el tubo. ( 0.91 )

Sustituyendo:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{2.24 \times 10^8}{101.94}}{1 + \left(\frac{2.24 \times 10^8}{1.124 \times 10^8}\right)\left(\frac{0.0553}{0.0025}\right)0.91}} = 230 \%$$

Por lo tanto:

$$\Delta x = \frac{709.15}{12} = 59.10 \text{ m.}$$

$$\Delta t = \frac{59.10}{237} = 0.25 \text{ Seg.}$$

Para determinar un intervalo de tiempo de 0.25 seg. se propusieron 12 secciones de 59.10 m. ( NRLP ).

3) El número de intervalos de tiempo después del cual las condiciones serán impresas " IPRINT " será 1.0 ( imprime todos los intervalos ).

4) El valor de la gravedad " G " es de 9.81 m/s.

5) El gasto del flujo permanente " Qo " es el determinado en el inciso 1.11 con el valor de 0.00294 m<sup>3</sup>.seg.

6) El nivel en la obra de toma " HRES " tiene un valor de 1.000.00 m., en el cadenamamiento 0+ 000

7) El tiempo en el cual se analiza el fenómeno transitorio " TLAST ", se propone un tiempo de 6.0 seg.

#### DATOS DE LA VALVULA

1) El número de puntos en la curva TAU contra el tiempo " M " se determinará al calcular el número de puntos comenzando de cero hasta llegar a 6.0 seg. ( TLAST ) con un intervalo  $\Delta t$  de 0.25 seg. por lo tanto se determinaron 25 puntos.

2) El intervalo de tiempo para cerrar o abrir la válvula " TV ", este valor lo proporciona el fabricante, pero para este análisis se propone un tiempo de cierre de 6.0 seg.

3) El intervalo de tiempo para guardar la curva de TAU contra tiempo " DXT ", en el listado se propone un segundo ( 1.0 ).

4) El valor inicial de cierre de una válvula ( TAUI ), de acuerdo a la ley de cierre de la válvula es de 1.0 ( completamente abierta ).

5) El valor final de cierre de una válvula ( TAUIF ), de acuerdo a la ley de cierre de la válvula es de 0.0 ( completamente cerrada ).

Para determinar los valores " TAU " que se encuentran entre la condición inicial ( 1.0 ) y final ( 0.0 ), nos apoyamos en la ley de cierre de Berezowsky, la cual esta dada por las siguientes expresiones:

$$\tau = \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^6 \quad \text{para } 0 \leq \frac{t}{t_c} \leq 0.4$$

$$\tau = 0.14354 \left(1 - \frac{f}{f_c}\right)^{2.2} \quad \text{para } 0.4 \leq \frac{f}{f_c} \leq 1.0$$

6) El valor de gasto de descarga en la válvula " Qs " es de 0.00294 m<sup>3</sup>/seg.

7) La pérdida de carga por el flujo de Qo ( Hs ), el cual se determino en el diseño hidráulico de la línea es de 891.01 m.

#### DATOS DE LA TUBERIA

1) La longitud se definió en el diseño hidráulico de la línea, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Longitud tubo 1 ( P.V.C. )} &= 1,806.85 \text{ m.} \\ \text{Longitud tubo 2 ( Fo.Go. )} &= 709.15 \text{ m.} \end{aligned}$$

2) El diámetro se definió en el diseño hidráulico de la línea, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro tubo 1 ( P.V.C. )} &= 0.0508 \text{ m. ( 2" )} \\ \text{Diámetro tubo 2 ( Fo.Go. )} &= 0.0508 \text{ m. ( 2" )} \end{aligned}$$

3) La celeridad de la onda se determinó en el inciso 2, el cual tiene un valor de 230 m/seg.

4) El coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{El coeficiente de fricción para el tubo 1 de P.V.C.} &= 0.013 \text{ adimensional} \\ \text{El coeficiente de fricción para el tubo 2 de Fo.Go.} &= 0.010 \text{ adimensional} \end{aligned}$$

ANALISIS 2 ( de la caja rompedora de presión " CRP-1 " al tanque de almacenamiento )

#### DATOS GENERALES.

1) Para el segundo análisis se tiene 1 tipo de material ( P.V.C. ) por lo tanto se considera 1 tubo ( NP=1 ).

2) Para determinar el número de secciones del ultimo tubo ( tramo 3 ), se realizaron los siguientes cálculos:

*Cálculo del número de secciones ( tramo 3)*

$$\Delta x = \frac{L}{N}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{A}$$

donde:

$L$  = Longitud total, m.  
 $N$  = Número de secciones.

donde:

$\Delta x$  = Intervalo de longitud, m.  
 $A$  = Celeridad de la onda, m/s

*Cálculo de la celeridad.*

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \left(\frac{K}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)C_1}}$$

donde :

$K$  = Módulo volumétrico del agua,  $\text{kg}/\text{m}^2$  ver ref. 7 (  $2.24 \times 10^8$  )  
 $\rho$  = Densidad del agua,  $\text{kg seg.}^2/\text{m}^4$  ver ref. 7 ( 101.94 )  
 $E$  = Módulo de elasticidad del tubo,  $\text{kg}/\text{m}^2$  ver ref. 7 (  $1.124 \times 10^8$  )  
 $D$  = Diámetro del tubo, m. ( 0.0553 )  
 $e$  = Espesor de la pared del tubo, m. ( 0.0025 )  
 $C_1$  = Parámetro adimensional que describe el efecto de la velocidad de la onda de presión sobre el tubo. ( 0.91 )

*Sustituyendo:*

$$a = \sqrt{\frac{\frac{2.24 \times 10^8}{101.94}}{1 + \left(\frac{2.24 \times 10^8}{1.124 \times 10^8}\right)\left(\frac{0.0553}{0.0025}\right)0.91}} = 230 \%$$

Por lo tanto:

$$\Delta x = \frac{1,726.90}{30} = 57.56 \text{m.}$$

$$\Delta t = \frac{57.56}{230} = 0.25 \text{Seg.}$$

Para determinar un intervalo de tiempo de 0.25 seg. se propusieron 30 secciones (NRLP).



3) El número de intervalos de tiempo después del cual las condiciones serán impresas " IPRINT " será 1.0 ( imprime todos los intervalos ).

4) El valor de la gravedad " G " es de 9.81 m/s.

5) El gasto del flujo permanente " Qo " es el determinado en el inciso 1.11 con el valor de 0.00294 m<sup>3</sup> seg.

6) El nivel en la obra de toma " HRES " tiene un valor de 694.00 m., en el cadenamiento 2 · 516.00

7) El tiempo en el cual se analiza el fenómeno transitorio " TLAST " se propone un tiempo de 6.0 seg.

#### DATOS DE LA VALVULA

1) El número de puntos en la curva TAU contra el tiempo " M " se determinará al calcular el número de puntos comenzando de cero hasta llegar a 6.0 seg. ( TLAST ) con un intervalo  $\Delta t$  de 0.25 seg. por lo tanto se determinaron 25 puntos.

2) El intervalo de tiempo para cerrar o abrir la válvula " TV " este valor lo proporciona el fabricante, para este análisis se propone un tiempo de cierre de 6.0 seg.

3) El intervalo de tiempo para guardar la curva de TAU contra tiempo " DXT " en el listado se propone un segundo ( 1.0 ).

4) El valor inicial de cierre de una válvula ( TAUO ), de acuerdo a la ley de cierre de la válvula es de 1.0 ( completamente abierta ).

5) El valor final de cierre de una válvula ( TAUF ), de acuerdo a la ley de cierre de la válvula es de 0.0 ( completamente cerrada ).

Para determinar los valores " TAU " que se encuentran entre la condición inicial ( 1.0 ) y final ( 0.0 ), nos apoyamos en la ley de cierre de Berzowsky, la cual esta dada por las siguientes expresiones:

$$\tau = \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^0 \quad \text{para} \quad 0 \leq \frac{t}{t_c} \leq 0.4$$

$$\tau = 0.14354 \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{2.2} \quad \text{para} \quad 0.4 \leq \frac{t}{t_c} \leq 1.0$$

- 6) El valor de gasto de descarga en la válvula " Qs " es de  $0.00294 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- 7) La pérdida de carga por el flujo de  $Q_0$  ( Hs ) el cual se determino en el diseño hidráulico de la línea es de  $630.11 \text{ m.}$

#### DATOS DE LA TUBERIA

- 1) La longitud se definió en el diseño hidráulico de la línea, por lo tanto:  
$$\text{Longitud tubo ( P.V.C. )} = 1,726.90 \text{ m.}$$
- 2) El diámetro se definió en el diseño hidráulico de la línea, por lo tanto:  
$$\text{Diámetro tubo ( P.V.C. )} = 0.0508 \text{ m. ( 2" )}$$
- 3) La celeridad de la onda se determinó en el inciso 2, el cual tiene un valor de  $230 \text{ m/seg.}$
- 4) El coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach es el siguiente:  
$$\text{El coeficiente de fricción para el tubo de P.V.C.} = 0.013 \text{ adimensional}$$

#### LINEA 2

El análisis de golpe de ariete para la línea 2 se llevara a cabo en una sola fase, y va del tanque de almacenamiento al tanque de regulación.

#### ANALISIS 1 ( del tanque de almacenamiento al tanque de regulación )

#### DATOS GENERALES.

- 1) Para el análisis se tiene 1 tipo de material ( P.V.C. y Fo.Go. ) por lo tanto se considera 1 tubo (  $NP=1$  ).

2) Para determinar el número de secciones del último tubo ( tramo 1 ), se realizaron los siguientes cálculos:

Calculo del número de secciones ( tramo 1 )

$$\Delta x = \frac{L}{N}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{A}$$

donde:

$L$  = Longitud total, m.  
 $N$  = Número de secciones.

donde:

$\Delta x$  = Intervalo de longitud, m.  
 $A$  = Celeridad de la onda, m/s

Cálculo de la celeridad.

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \left(\frac{K}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)C_1}}$$

donde :

$K$  = Módulo volumétrico del agua,  $\text{kg/m}^2$  ver ref. 7 (  $2.24 \times 10^8$  )  
 $\rho$  = Densidad del agua,  $\text{kg seg.}^2/\text{m}^4$  ver ref. 7 ( 101.94 )  
 $E$  = Módulo de elasticidad del tubo,  $\text{kg/m}^2$  ver ref. 7 (  $1.124 \times 10^8$  )  
 $D$  = Diámetro del tubo, m. ( 0.0553 )  
 $e$  = Espesor de la pared del tubo, m. ( 0.0025 )  
 $C_1$  = Parámetro adimensional que describe el efecto de la velocidad de la onda de presión sobre el tubo. ( 0.91 )

Sustituyendo:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{2.24 \times 10^8}{101.94}}{1 + \left(\frac{2.24 \times 10^8}{1.124 \times 10^8}\right)\left(\frac{0.0553}{0.0025}\right)0.91}} = 230 \%$$

Por lo tanto:

$$\Delta x = \frac{1,316.00}{23} = 57.22\text{m.}$$

$$\Delta t = \frac{57.22}{230} = 0.25\text{Seg.}$$

3) El número de intervalos de tiempo después del cual las condiciones serán impresas " IPRINT " será 1.0 ( imprime todos los intervalos ).

4) El valor de la gravedad " G " es de 9.81 m/s.

5) El gasto del flujo permanente " Qo " es el determinado en el inciso 1.11 con el valor de 0.00294 m<sup>3</sup>/seg.

6) El nivel en la obra de toma " HRES " tiene un valor de 587.34 m., en el cadenamamiento 0+000

7) El tiempo en el cual se analiza el fenómeno transitorio " TLAST " se propone un tiempo de 6.0 seg.

#### DATOS DE LA VALVULA

1) El número de puntos en la curva TAU contra el tiempo " M " se determinará al calcular el número de puntos comenzando de cero hasta llegar a 6.0 seg. ( TLAST ) con un intervalo  $\Delta t$  de 0.25 seg. por lo tanto se determinaron 25 puntos.

2) El intervalo de tiempo para cerrar o abrir la válvula " TV " este valor lo proporciona el fabricante, para este análisis se propone un tiempo de 6.0 seg.

3) El intervalo de tiempo para guardar la curva de TAU contra tiempo " DXT " se propone un segundo ( 1.0 ).

4) El valor inicial de cierre de una válvula ( TAUO ), de acuerdo a la ley de cierre de la válvula es de 1.0

5) El valor final de cierre de una válvula ( TAUf ), de acuerdo a la ley de cierre de la válvula es de 0.0

Para determinar los valores " TAU " que se encuentran dentro del rango de 1.0 a 0.0, nos apoyamos en la ley de cierre de Berezowsky, la cual esta dada por las siguientes expresiones:

$$\tau = \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^6 \quad \text{para } 0 \leq \frac{t}{t_c} \leq 0.4$$

$$\tau = 0.14354 \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{2.2} \quad \text{para } 0.4 \leq \frac{t}{t_c} \leq 1.0$$

6) El valor de gasto de descarga en la válvula " Qs " es de 0.00294 m<sup>3</sup>/seg.

7) La pérdida de carga por el flujo de  $Q_0$  ( Hs ) el cual se determino en el diseño hidráulico de la línea es de 568.94 m.

#### DATOS DE LA TUBERIA

1) La longitud se definió en el diseño hidráulico de la línea, por lo tanto:

Longitud tubo 1 ( P.V.C. ) = 1,316.00 m.

2) El diámetro se definió en el diseño hidráulico de la línea, por lo tanto:

Diámetro tubo 1 ( P.V.C. ) = 0.0600 m. ( 2½" )

3) La celeridad de la onda se determinó en el inciso 2, el cual tiene un valor de 230 m/seg.

4) El coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach es el siguiente:

El coeficiente de fricción para el tubo 1 de P.V.C. = 0.013 adimensional

#### 6.4.3 ANALISIS DE LA LINEA DE CONDUCCION POR GOLPE DE ARIETE.

A continuación se listan los datos de entrada requeridos para analizar la línea 1.

#### LINEA 1

DATOS GENERALES	TRAMO 1 - 2	TRAMO 3
NP	2	1
NRLP	12	30
IPRINT	1	1
G	9.81	9.81
$Q_0$	0.00294	0.00294
HRES	1000	694
TLAST	6.0	6.0

<b>DATOS DE LA VALVULA</b>	<b>TRAMO 1 - 2</b>	<b>TRAMO 3</b>
<i>M</i>	25	25
<i>TV</i>	6.0	6.0
<i>DXT</i>	1.0	1.0
<i>TAUO</i>	1.0	1.0
<i>TAUF</i>	0.0	0.0
<i>QS</i>	0.00294	0.00294
<i>HS</i>	891.013	630.11

<b>DATOS DE LA TUBERIA</b>	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
<i>L</i>	1806.80	709.15	1,726.90
<i>D</i>	0.0553	0.0553	0.0553
<i>A</i>	230	230	230
<i>F</i>	0.013	0.010	0.013

*Los resultados obtenidos son los siguientes:*

	<b>PRESION MAXIMA POR GOLPE DE ARIETE (M)</b>	<b>COTA (M)</b>	<b>SOBRE PRESION (M)</b>	<b>SOBRE PRESION KG/CM2</b>	<b>MATERIAL DE LA TUBERIA</b>	<b>P.M.T. (KG/CM2)</b>
<b>TRAMO 1</b>	979.71	898.22	81.49	8.15	P.V.C.	11.2
<b>TRAMO 2</b>	987.74	693.65	294.09	29.4	Fo.Go.	100.0
<b>TRAMO 3</b>	692.70	587.34	105.36	10.5	P.V.C.	11.2

*Como se puede observar de acuerdo a los resultados obtenidos, los materiales propuestos en el diseño hidráulico de la línea soportan la sobrepresión generada por el golpe de ariete. Por lo que su utilización se considera adecuada para el presente proyecto.*

*A continuación se presenta el listado de resultados que proporciona el programa, el cual está dividido para la línea 1 en dos análisis, el primero está formado por dos tuberías y el segundo por una, también se presenta de acuerdo a los resultados obtenidos una gráfica de presión y depresión por golpe de ariete.*

*A continuación se listan los datos de entrada requeridos para analizar la línea 2.*

**LINEA 2**

**DATOS GENERALES**

**TRAMO 1**

<i>NP</i>	<i>1</i>
<i>NRLP</i>	<i>23</i>
<i>IPRINT</i>	<i>1</i>
<i>G</i>	<i>9.81</i>
<i>Qo</i>	<i>0.00294</i>
<i>HRES</i>	<i>587.34</i>
<i>TLAST</i>	<i>6.0</i>

**DATOS DE LA VALVULA**

**TRAMO 1**

<i>M</i>	<i>25</i>
<i>TV</i>	<i>6.0</i>
<i>DXT</i>	<i>1.0</i>
<i>TAUO</i>	<i>1.0</i>
<i>TAUF</i>	<i>0.0</i>
<i>QS</i>	<i>0.00294</i>
<i>HS</i>	<i>568.94</i>

**DATOS DE LA TUBERIA**

**Tramo 1**

<i>L</i>	<i>1316.00</i>
<i>D</i>	<i>0.0067</i>
<i>A</i>	<i>230</i>
<i>F</i>	<i>0.013</i>

*Los resultados obtenidos son los siguientes:*

	<b><i>PRESION MAXIMA POR GOLPE DE ARIETE (M)</i></b>	<b><i>COTA (M)</i></b>	<b><i>SOBREPRESIO N (M)</i></b>	<b><i>SOBRE PRESION KG/CM2</i></b>
<b><i>TRAMO 1</i></b>	596.73	564.10	32.63	3.26

*Como se puede observar de acuerdo a los resultados obtenidos, los materiales propuestos en el diseño hidráulico de la línea soportan la sobrepresión generada por el golpe de ariete. Por lo que su utilización se considera adecuada para el presente proyecto.*

*A continuación se presenta el listado de resultados que proporciona el programa para la línea 2, con su gráfica de presión y depresión por golpe de ariete.*



NUMBER OF PIPES = 2  
 NUMBER OF REACHES OF LAST PIPE = 12  
 STEADY STATE DISCH. = .003 M3/S  
 RESERVOIR LEVEL = 1000.0 M  
 TIME FOR WHICH TRANSIENTS ARE TO BE COMPUTED = 6.0 S

NUMBER OF POINTS ON TAU VS TIME CURVE = 25  
 VALVE OPERATION TIME = 6.00 S  
 TIME INTERVAL FOR STORING TAU CURVE = 1.000 S  
 VALVE LOSS = 891.13 M FOR QS = .003 M3/S  
 STORED TAU VALUES :

1.000      .775      .735      .449      .335      .246      .178      .126

PIPE NO	LENGTH (M)	DIA (M)	WAVE VEL. (M/S)	FRIC FACTOR
1	1806.8	.06	230.0	.013
2	709.2	.05	230.0	.010

PIPE NO	ADJUSTED WAVE VEL (M/S)
1	226.8
2	230.0

TIME	TAU	PIPE NO	HEAD (M) (1) (N+1)	DISCH. (M3/S) (1) (N+1)
.0	1.000	1	1000.00	.003
		2	967.56	.003
.3	.925	1	1000.00	.003
		2	967.56	.003
.5	.861	1	1000.00	.003
		2	967.56	.003
.8	.810	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
1.0	.771	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
1.3	.745	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
1.5	.730	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
1.8	.728	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
2.1	.726	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
2.3	.672	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
2.6	.602	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
2.8	.516	1	1000.00	.003
		2	967.56	.002
3.1	.433	1	1000.00	.003
		2	967.56	.001
3.3	.391	1	1000.00	.003
		2	969.07	.001
3.6	.360	1	1000.00	.003
		2	970.36	.001
3.9	.341	1	1000.00	.003
		2	971.55	.001
4.1	.324	1	1000.00	.003

		2	972.47	980.09	.002	.001
4.4	.299	1	1000.00	973.23	.003	.002
		2	973.23	981.35	.002	.001
4.6	.276	1	1000.00	973.69	.003	.002
		2	973.69	982.47	.002	.001
4.9	.255	1	1000.00	973.95	.003	.002
		2	973.95	983.63	.002	.001
5.1	.235	1	1000.00	974.17	.003	.002
		2	974.17	984.68	.002	.001
5.4	.217	1	1000.00	975.57	.003	.002
		2	975.57	985.76	.002	.001
5.7	.199	1	1000.00	977.31	.003	.002
		2	977.31	986.73	.002	.001
5.9	.183	1	1000.00	979.61	.003	.002
		2	979.61	987.74	.002	.001

PIPE NO	SECTION NO	MAX PRESS.	MIN. PRESS.
1	1	1000.00	1000.00
1	2	998.95	998.95
1	3	997.91	997.91
1	4	996.86	996.86
1	5	995.81	995.81
1	6	994.77	994.77
1	7	993.72	993.72
1	8	992.68	992.68
1	9	991.63	991.63
1	10	990.58	990.58
1	11	989.54	989.54
1	12	988.49	988.49
1	13	987.44	987.44
1	14	986.40	986.40
1	15	985.35	985.35
1	16	984.30	984.30
1	17	983.26	983.26
1	18	982.21	982.21
1	19	981.17	981.17
1	20	980.12	980.12
1	21	979.07	979.07
1	22	979.07	978.03
1	23	979.00	976.98
1	24	978.95	975.93
1	25	978.75	974.89
1	26	978.48	973.84
1	27	978.00	972.79
1	28	977.37	971.75
1	29	976.71	970.70
1	30	977.19	969.66
1	31	978.07	968.61
1	32	979.61	967.56
2	1	979.61	967.56
2	2	981.46	966.50
2	3	982.43	965.45
2	4	983.07	964.39
2	5	983.46	963.33
2	6	983.74	962.27
2	7	984.36	961.21
2	8	984.91	960.16
2	9	985.54	959.10
2	10	986.08	958.04

2  
2  
2

11  
12  
13

986.70  
987.24  
987.74

956.98  
955.92  
954.86

NUMBER OF PIPES = 1  
 NUMBER OF REACHES OF LAST PIPE = 30  
 STEADY STATE DISCH. = .003 M3/S  
 RESERVOIR LEVEL = 694.0 M  
 TIME FOR WHICH TRANSIENTS ARE TO BE COMPUTED = 6.0 S

NUMBER OF POINTS ON TAU VS TIME CURVE = 25  
 VALVE OPERATION TIME = 6.00 S  
 TIME INTERVAL FOR STORING TAU CURVE = 1.000 S  
 VALVE LOSS = 630.11 M FOR QS = .003 M3/S  
 STORED TAU VALUES :  
 1.000 .775 .735 .449 .335 .246 .178 .126 .088

PIPE NO	LENGTH (M)	DIA (M)	WAVE VEL. (M/S)	FRIC FACTOR
1	1726.9	.06	230.0	.013

PIPE NO	ADJUSTED WAVE VEL (M/S)
1	230.0

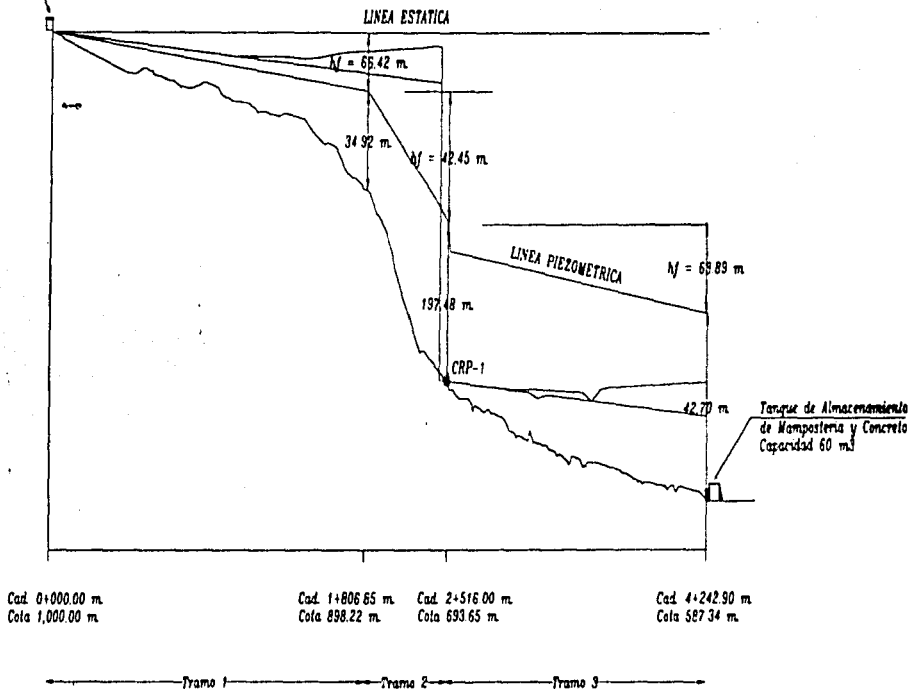
TIME	TAU	PIPE NO	HEAD (M) (1)	HEAD (M) (N+1)	DISCH. (M3/S) (1)	DISCH. (M3/S) (N+1)
.0	1.000	1	694.00	663.00	.003	.003
.3	.926	1	694.00	665.07	.003	.003
.5	.864	1	694.00	666.82	.003	.003
.8	.814	1	694.00	668.39	.003	.002
1.0	.775	1	694.00	669.60	.003	.002
1.3	.748	1	694.00	670.59	.003	.002
1.5	.732	1	694.00	671.20	.003	.002
1.8	.728	1	694.00	671.57	.003	.002
2.0	.735	1	694.00	671.56	.003	.002
2.3	.686	1	694.00	673.19	.003	.002
2.5	.622	1	694.00	675.19	.003	.002
2.8	.543	1	694.00	677.78	.003	.002
3.0	.448	1	694.00	680.74	.003	.001
3.3	.404	1	694.00	682.42	.003	.001
3.5	.370	1	694.00	683.74	.003	.001
3.8	.347	1	694.00	684.84	.003	.001
4.0	.335	1	694.00	685.58	.003	.001
4.3	.310	1	694.00	686.73	.003	.001
4.5	.287	1	694.00	687.78	.003	.001
4.8	.265	1	694.00	688.86	.003	.001
5.0	.246	1	694.00	689.83	.003	.001
5.3	.227	1	694.00	690.84	.003	.001
5.5	.209	1	694.00	691.75	.003	.001
5.8	.193	1	694.00	692.70	.003	.001

PIPE NO	SECTION NO	MAX PRESS.	MIN. PRESS.
1	1	694.00	694.00
1	2	692.97	692.97
1	3	691.93	691.93
1	4	690.90	690.90
1	5	689.87	689.87
1	6	688.83	688.83
1	7	687.80	687.80
1	8	686.77	686.77

1	9	686.68	685.73
1	10	686.54	684.70
1	11	686.41	683.67
1	12	686.17	682.63
1	13	685.86	681.60
1	14	685.37	680.57
1	15	684.77	679.53
1	16	683.92	678.50
1	17	684.20	677.47
1	18	684.82	676.43
1	19	686.02	675.40
1	20	687.68	674.36
1	21	688.45	673.33
1	22	688.98	672.30
1	23	689.37	671.26
1	24	689.46	670.23
1	25	689.98	669.20
1	26	690.42	668.16
1	27	690.92	667.13
1	28	691.34	666.10
1	29	691.83	665.06
1	30	692.24	664.03
1	31	692.70	663.00

# SOBREPRESION Y DEPRESION POR GOLPE DE ARIETE EN LA LINEA 1

Tanque de Captacion  
con Carcamo  
de Mamposteria y Concreto  
Capacidad 4.41 m<sup>3</sup>



NUMBER OF PIPES = 1  
 NUMBER OF REACHES OF LAST PIPE = 23  
 STEADY STATE DISCH. = .003 M3/S  
 RESERVOIR LEVEL = 587.0 M  
 TIME FOR WHICH TRANSIENTS ARE TO BE COMPUTED = 6.0 S

NUMBER OF POINTS ON TAU VS TIME CURVE =25  
 VALVE OPERATION TIME = 6.00 S  
 TIME INTERVAL FOR STORING TAU CURVE = 1.000 S  
 VALVE LOSS =568.94 M FOR QS = .003 M3/S  
 STORED TAU VALUES :  
 1.000 .775 .735 .449 .335 .246 .178 .126

PIPE NO	LENGTH (M)	DIA (M)	WAVE VEL. (M/S)	FRIC FACTOR
1	1316.0	.07	230.0	.013

PIPE NO	ADJUSTED WAVE VEL (M/S)
1	230.0

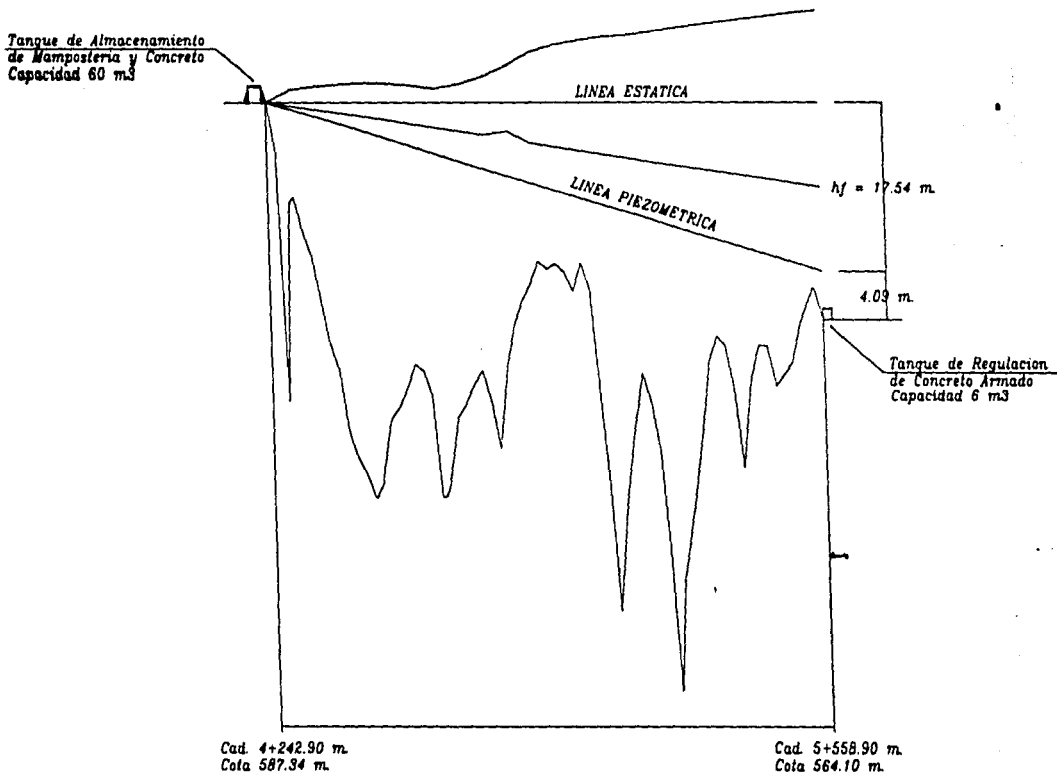
TIME	TAU	PIPE NO	HEAD (M) (1)	HEAD (M) (N+1)	DISCH. (M3/S) (1)	DISCH. (M3/S) (N+1)
.0	1.000	1	587.00	577.95	.003	.003
.2	.927	1	587.00	579.36	.003	.003
.5	.865	1	587.00	580.55	.003	.003
.7	.815	1	587.00	581.58	.003	.002
1.0	.776	1	587.00	582.37	.003	.002
1.2	.748	1	587.00	582.99	.003	.002
1.5	.732	1	587.00	583.37	.003	.002
1.7	.728	1	587.00	583.55	.003	.002
2.0	.734	1	587.00	583.49	.003	.002
2.2	.689	1	587.00	584.48	.003	.002
2.5	.626	1	587.00	585.77	.003	.002
2.7	.548	1	587.00	587.41	.003	.002
3.0	.455	1	587.00	589.33	.003	.001
3.2	.407	1	587.00	590.44	.003	.001
3.5	.372	1	587.00	591.25	.003	.001
3.7	.349	1	587.00	591.89	.003	.001
4.0	.336	1	587.00	592.29	.003	.001
4.2	.312	1	587.00	592.93	.003	.001
4.5	.289	1	587.00	593.53	.003	.001
4.7	.268	1	587.00	594.14	.003	.001
5.0	.248	1	587.00	594.68	.003	.001
5.2	.229	1	587.00	595.25	.003	.001
5.5	.211	1	587.00	595.75	.003	.001
5.7	.195	1	587.00	596.27	.003	.001
6.0	.180	1	587.00	596.73	.003	.001

PIPE NO	SECTION NO	MAX PRESS.	MIN. PRESS.
1	1	587.00	587.00
1	2	588.31	586.61
1	3	588.67	586.21
1	4	588.89	585.82
1	5	589.02	585.43
1	6	588.98	585.03
1	7	588.81	584.64

1	8	588.49	584.25
1	9	588.93	583.85
1	10	589.69	583.46
1	11	590.80	583.07
1	12	592.22	582.67
1	13	592.97	582.28
1	14	593.48	581.88
1	15	593.85	581.49
1	16	594.01	581.10
1	17	594.40	580.70
1	18	594.77	580.31
1	19	595.15	579.92
1	20	595.48	579.52
1	21	595.84	579.13
1	22	596.14	578.74
1	23	596.46	578.34
1	24	596.73	577.95



## **SOBREPRESION Y DEPRESION POR GOLPE DE ARIETE EN LA LINEA 2**



## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

*El análisis por Golpe de Ariete de la línea 1 y 2 de conducción, para el abastecimiento de agua potable a la población de Cuauhtenco, permitió garantizar el buen funcionamiento de la misma, además de precisar el tipo ó clase de tubería que se requiere para soportar la presión de trabajo máxima y mínima, que se presenta a los largo de la tubería, de tal manera que permite colocar el tubo adecuado que se requiere a lo largo de la línea.*

*El Método de las Características en el cual se basa el programa de computadora, permitió obtener las cargas máximas y mínimas que se presentarán en la línea, también considera que en líneas de conducción que trabajan por gravedad, la condición más desfavorable ( en cuanto a presión de trabajo ocasionado por el liquido transportado ), se presenta cuando se cierra la válvula al final de la tubería aguas abajo, ya que tiene que soportar el total de la carga estática, además de la carga provocada por el fenómeno transitorio, esto repercute directamente en el tubo que se requiere para garantizar la seguridad de la línea de conducción, ya que deberá soportar la presión de trabajo que en ese instante se presente. También permitió situar las presiones de trabajo en diferentes puntos de la tubería con el objeto de no sobre diseñar la línea.*

*Es indiscutible la importancia que tiene el efectuar el análisis por golpe de ariete, ya que para el diseño definitivo del proyecto, se realizaron varias alternativas de diseños hidráulicos preliminares, los cuales al ser analizados por golpe de ariete, resultaban inadecuados.*

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## **BIBLIOGRAFIA.**

- 1.- *Normas de Proyecto para Obras de Aprovechamiento de Agua potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana (reimpresión)*  
*Facultad de Ingeniería (UNAM)*  
1994
- 2.- *Abastecimiento de Agua Potable*  
*Enrique Cesar Valdez*  
*Facultad de Ingeniería, UNAM*  
*Segunda Edición*  
1991
- 3.- *Abastecimiento de Agua Potable (Vol. 2)*  
*Enrique Cesar Valdez*  
*Facultad de Ingeniería, UNAM*  
*Segunda Edición*  
1994
- 4.- *Abastecimiento de Agua Potable y disposición y eliminación de excretas.*  
*Pedro López Alegria*  
*Instituto Politécnico Nacional*  
1990
- 5.- *Hidráulica General (Vol. 1)*  
*Gilberto Sotelo Avila*  
*Editorial Limusa*
- 6.- *Física Universitaria*  
*Sear-Zemansky-Young*  
*Fondo Educativo Interamericano*  
*Sexta edición*  
1986
- 7.- *Teoría del Golpe de Ariete y sus Aplicaciones a la Ingeniería Hidráulica*  
*Uriel Mancebo*  
*Editorial Limusa*
- 8.- *Manual de Diseño de Obras Civiles*  
*Hidrotecnia*  
*Conducciones a Presión*  
*Comisión Federal de Electricidad*  
1989