



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

203
S

**ACUEDUCTOS CON TUBERIAS DE CONCRETO
PRESFORZADO**

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a :

RAMON AGUIRRE DIAZ

México, D. F.

1983



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.

I N D I C E

	HOJA.
1.- INTRODUCCION.	1
2.- ESTUDIOS PRELIMINARES.	4
2.1.- Estudio de demandas.	4
2.2.- Fuentes de abastecimiento.	9
2.3.- Líneas de conducción.	13
3.- ESTUDIOS DE CAMPO.	28
3.1.- Estudios topográficos.	28
3.2.- Estudios Geotécnicos.	30
3.3.- Estudios de corrosión.	33
4.- FABRICACION DE TUBERIAS DE CONCRETO PRESFORZADO	36
4.1.- Fabricación del tubo primario	37
4.2.- Tensado circunferencial.	38
4.3.- Prueba hidrostática.	38
4.4.- Recubrimiento.	38
5.- PIEZAS ESPECIALES Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y FUNCIONAMIENTO	39
5.1.- Dispositivos de seguridad y funcionamiento.	40
5.2.- Piezas especiales de concreto presforzado.	45

6.- PROYECTO DE INSTALACION (DESPIECE).	51
6.1.- Trabajos preliminares.	52
6.2.- Elaboración del proyecto.	59
6.3.- Ejemplo de aplicación.	65
7.- ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.	66
7.1.- Caminos de acceso.	67
7.2.- Recepción de tuberías.	70
7.3.- Excavación de zanjas.	70
7.4.- Plantillas.	72
7.5.- Instalación de tuberías.	74
7.6.- Instalación de piezas especiales.	81
7.7.- Relleno de zanja.	84
7.8.- Construcción de atraques.	87
7.9.- Instalación de V.A.E.A. y desfogues.	90
7.10.- Prueba hidrostática y llenado de la línea.	90
8.- CONCLUSIONES.	93

TABLAS.

EJEMPLO DE PROYECTO DE INSTALACION.

BIBLIOGRAFIA.

1.- INTRODUCCION.

El abastecimiento de agua a las poblaciones ha sido una de las principales prioridades nacionales.

Cuando las demandas de los centros de población son pequeñas, éstas se satisfacen con la construcción de acueductos que conducen pequeños caudales. Su estudio, proyecto y construcción se efectúa con normas ya tradicionales, que son fruto de una amplia experiencia de años y número de acueductos construidos.

Con el crecimiento de las poblaciones se generan paralelamente mayores necesidades de bienes y servicios. En el aspecto agua, las fuentes de abastecimiento que cumplan con los requerimientos de cantidad y calidad, se localizan cada vez más

retiradas de las ciudades y normalmente con desniveles significativos.

Estas condiciones: grandes demandas, largas longitudes de desarrollo y niveles de las fuentes menores al de las ciudades, han desarrollado nuevos procedimientos y técnicas, donde el uso de las tuberías de concreto presforzado tiene ventajas considerables.

De este tipo de acueductos, con diámetros mayores de 1.5 m, se tiene comparativamente poca experiencia; hasta la fecha no se cuenta con especificaciones y lineamientos clara y universalmente aceptados, donde se observe la diferencia que existe entre éstos y los pequeños acueductos, en los aspectos de estudios, proyectos y procedimientos constructivos.

El objetivo de esta tesis es el de aportar una metodología general para grandes acueductos, particularizando en el caso que se construyan con tuberías de concreto presforzado.

En el capítulo 2 se presentan los estudios preliminares -- que se deben efectuar para un mejor conocimiento de las fuentes de abastecimiento y las demandas de la población. Debido a su importancia para la comprensión del problema se incluyen también las bases necesarias para la elaboración de anteproyectos.

El capítulo 3 se refiere a los estudios topográficos, geotécnicos y demás trabajos de campo requeridos.

Por considerar de interés la fabricación de tuberías de -- concreto presforzado, así como sus piezas especiales y dispositivos de seguridad y funcionamiento, dichos temas se tratan

en los capítulos 4 y 5.

En el proyecto de instalación o despiece, motivo del capítulo 6, se hace especial énfasis, ya que la metodología para su elaboración se transmite por los propios ingenieros dedicados a este trabajo, sin que el autor conozca una fuente de información dónde recurrir, pretendiendo contribuir a su entendimiento con su discusión.

Dentro del capítulo 7, aspectos constructivos, se presenta todo el proceso constructivo en general, donde se exponen algunos procedimientos que aún no se han plasmado en especificaciones generales, pero que ya han sido utilizados y proporcionan excelentes resultados.

2.- ESTUDIOS PRELIMINARES.

Debido a la importancia que representa el conocimiento de los estudios preliminares para la comprensión del problema, se ha fijado como objetivo en este capítulo la descripción general de los mismos, a manera de contar con los elementos necesarios para el planteamiento y solución del estudio de alternativas, el cual es base fundamental para la elaboración de los proyectos de un acueducto.

2.1.- Estudio de demandas.

Para lograr un diseño adecuado de un sistema de abastecimiento de agua, es necesario efectuar estudios sobre los volúmenes implicados, así como su relación con la población y

el tiempo. Interpretar las tendencias sociales y económicas de la población, y a partir de la experiencia pasada predecir las necesidades futuras.

Los estudios y estimaciones que se deben efectuar se mencionan en las secciones a continuación.

2.1.1.- Conocimiento histórico del abastecimiento. El conocimiento de la experiencia pasada es indispensable para la obtención de los datos base. Su estudio es determinante, incluso, en la fuente futura de abastecimiento y es recomendable que se efectúe de la mejor manera posible.

Debe contemplar los siguientes puntos: población de los últimos censos, dotación histórica, coeficientes de variación diaria y horaria, fuentes de abastecimiento actuales, comportamiento observado de dichas fuentes, características de los sistemas de transmisión y distribución de aguas, capacidad de regularización, relación histórica de los volúmenes entregados por las fuentes, etc..

2.1.2.- Periodo de diseño. Se define como el lapso durante el cual la obra a construir complementará el volumen de agua requerido por la población.

Existen tablas que recomiendan periodos de diseño en función del número de habitantes de la población, aunque es conveniente considerar también factores técnicos, sociales, económicos, operativos y políticos.

2.1.3.- Población de proyecto. Dentro del estudio de demandas, es necesario efectuar una estimación anual de la población que en un futuro solicitará el servicio. Esta estimación debe ela-

borarse cuidadosamente tomando en cuenta los datos históricos de crecimiento, así como las características de desarrollo industrial, agrícola, ganadero, turístico, etc., con el que se cuenta a la fecha, para lo que se debe considerar la influencia sobre el crecimiento de las poblaciones que el gobierno fija mediante la implantación de incentivos o restricciones.

El primer paso consiste en calcular la población futura con ayuda de los distintos métodos conocidos (aritmético, geométrico, logístico, Fowell, etc.)

El segundo paso es la elección del método que a juicio del proyectista dé mejores resultados.

2.1.4.- Dotación de proyecto. Es la cantidad de agua que en promedio anual se requiere suministrar por persona y por día, para satisfacer la demanda de agua en los usos domésticos, comerciales, industriales y municipales, considerando además, pérdidas y fugas.

La dotación de agua requerida es diferente para cada localidad, ya que innumerables factores influyen en ésta, como son: el tamaño de la localidad, sus características (urbana, industrial, etc.), clima, hábitos higiénicos, forma de abastecimiento, calidad del agua, presión en la red, disposición de líquidos residuales, control del consumo, costo del agua, etc.

Es conveniente elaborar este estudio en coordinación con el organismo operador del sistema de abastecimiento existente. Finalmente, como un auxiliar para la determinación de la dotación, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos sugiere en una tabla, valores que están en función del clima y

número de habitantes considerado como población de proyecto. (tabla No. 1).

2.1.5.- Coeficientes de variación de la demanda. Es conocido que el consumo de agua no se realiza en forma uniforme durante el día, ni en forma similar durante todos los días del año, sino siguiendo una variación horaria y estacional. En el verano el consumo aumenta debido a los grandes volúmenes requeridos para refrescar al hombre y animales domésticos. En las noches cuando la población se encuentra descansando, el consumo disminuye.

De tal forma que se hace necesario analizar los coeficientes específicos de la población en estudio:

- a) Coeficiente de variación diaria Cd. Representa la variación que se tiene del consumo medio anual con el del día de mayor consumo. Generalmente se tienen valores entre 1.2 y 1.5.
- b) Coeficiente de variación horaria Ch. Representa la variación que se tiene del consumo medio diario al consumo horario dentro del día de mayor consumo. Oscila generalmente de 1.3 a 1.6.

La importancia de los coeficientes Cd y Ch estriba en que el primero se debe tomar en cuenta para el diseño de las líneas de transmisión de aguas, y ambos intervendrán en el diseño de los sistemas de distribución.

2.1.6.- Volúmenes y gastos requeridos. Para reflejar el resultado final del estudio de demandas, se elaborará una tabla -- donde se exprese anualmente el volumen solicitado al nuevo --

sistema en proyecto.

Esta tabla deberá contener los puntos que a continuación se indican.

- a) Año.- El estudio se llevará a cabo anualmente hasta llegar al periodo de diseño, el cual marca la etapa en que la fuente de abastecimiento será suficiente para complementar la demanda.
- b) Población total.- Se obtiene del estudio de proyección de población.
- c) Porcentaje de población servida por medio de la red de distribución.- En las grandes ciudades se presentan graves problemas para el abastecimiento a toda la población por medio de la red, por lo que siempre habrá un porcentaje que sea servida por otros medios.
- d) Porcentaje de población servida por otros medios.- Este es variable con el tiempo, dependiendo de los programas de rehabilitación y ampliación de la red. De cualquier manera es conveniente suponer que disminuirá con el tiempo.
- e) Gasto medio anual requerido a la red.- Se obtendrá anualmente con auxilio de los estudios de proyección de población y dotación.
- f) Gasto anual requerido por la población servida por otros medios.- La población servida por medio de pipas e hidrantes consumirá menor volumen de agua por persona; se deberá tratar de conocer o en su caso suponer, la dotación real de ésta, para así determinar la demanda. En algunos estudios se ha tomado el valor de 80 lts/hab./dfa.

- g) Gasto total requerido.- Se obtendrá en forma anual, mediante la suma de los resultados obtenidos en los puntos anteriores.
- h) Gasto proporcionado por las fuentes de abastecimiento actuales.- Estos valores se pueden deducir a partir del conocimiento de las fuentes cuya metodología en forma general fue descrita en el inciso 2.1.1.
- i) Gasto demandado a la nueva fuente.- Es la diferencia del gasto total requerido y el proporcionado por las fuentes actuales de abastecimiento.

Una tabla como la descrita anteriormente es de gran utilidad para la elaboración de los estudios técnicos, socioeconómicos, financieros, operativos y de tarifas.

2.2.- Fuentes de abastecimiento.

Una vez que se ha estudiado la demanda, siendo conocidos los volúmenes requeridos, se debe encontrar la nueva fuente de abastecimiento a la población. La calidad de este trabajo es muy importante y tiene su mayor influencia en el aspecto económico, por lo tanto, es como la cimentación de todas las actividades subsecuentes.

Las fuentes de abastecimiento se encuentran dentro de cuatro grandes grupos: agua de lluvia, agua superficial, agua subterránea y agua de mar.

2.2.1.- Agua de lluvia. Se utiliza generalmente en regiones semiáridas, carentes de aguas satisfactorias subterráneas o superficiales. Consiste en la recolección del agua de lluvia

que escurra de los tejados o incluso de colectores mayores -- preparados, conducida por canales o ductos a cisternas de almacenamiento.

2.2.2.- Aguas superficiales. Pueden ser estanques naturales (lagos) o corrientes mediante toma continua, siempre que el flujo de la corriente o la capacidad del estanque sean lo suficientemente grandes durante todas las estaciones del año - para suministrar los volúmenes requeridos.

Es factible encontrar también corrientes con flujo adecuado en crecientes, con suficiente descarga anual, pudiéndose construir una toma intermitente, temporal o selectiva, almacenando agua en depósitos adyacentes a las corrientes, o bien - mediante la construcción de presas de almacenamiento.

Los estudios de aguas superficiales tienen como base fundamental los datos históricos que se obtengan de los reportes - de las estaciones climatológicas e hidrométricas con que se cuenta en puntos estratégicos en todo el país. A partir de éstos y con visitas a los sitios, se trabajará en los hidrogramas, estudio de cuencas, filtraciones, precipitaciones, evaporaciones, escurrimientos y demás datos necesarios para el conocimiento de las fuentes.

2.2.3.- Aguas subterráneas. En primer término se tienen los manantiales naturales, cuyo comportamiento es conveniente estudiar durante las diferentes épocas del año. Es posible, en algunos casos, mejorar su rendimiento mediante la introducción de tubos colectores.

Dependiendo de las características de las formaciones geo-



Molinete para el aforo de corrientes en estaciones hidrométricas.

lógicas del subsuelo, es posible la excavación a mano, de norias o bien la perforación de pozos que pueden tener profundidades de cientos de metros.

Una galería filtrante es el sistema mediante el cual se puede captar el agua subterránea que fluye hacia una corriente o lago, siendo ventajoso que sea tendida en ángulo recto hacia la dirección del flujo; consiste en zanjas o túneles a través del suelo, construida de mampostería de piedra o de concreto con numerosas aberturas, rodeadas preferentemente de grava para evitar el taponamiento de los orificios.

2.2.4.- Agua de mar. Esta alternativa se debe contemplar prácticamente como último recurso, ya que la desalación del agua es un proceso excesivamente caro y rara vez utilizado para fines de abastecimiento de agua a comunidades. La calidad del agua que se obtiene es deficiente, por lo que se requiere mezclarla con aguas provenientes de otras fuentes.

2.2.5.- Definición de la fuente de abastecimiento. Primeramente es necesario localizar todas las posibles fuentes cercanas a la población. A continuación se deben descartar aquellas que ya sea por su calidad del agua o bien por su capacidad, no cumplan con los requisitos del proyecto.

Posteriormente se plantearán las diferentes alternativas de abastecimiento, que pueden estar constituidas por una o más fuentes.

La definición de la futura fuente de abastecimiento estará basada en los resultados de un estudio económico.

2.3.- Líneas de conducción.

La transmisión de aguas desde la fuente de abastecimiento al sitio de entrega, es posible efectuarla en conductos abiertos o cerrados, dependiendo de las características específicas del proyecto, aprovechando la fuerza de gravedad en algunos casos y en otros suministrando la energía por bombeo.

El objetivo de este trabajo es mencionar los principales aspectos relativos a conductos a presión.

2.3.1.- Régimen laminar y turbulento. Osborne Reynolds estudió el comportamiento del flujo de los líquidos y pudo encontrar dos tipos de movimientos en una tubería. En el primero, llamado régimen laminar, las partículas fluidas presentan trayectorias bien definidas, que no se cruzan, por lo que semejan láminas imaginarias en movimiento relativo. Al aumentar el gasto y velocidad del líquido, observó un movimiento desordenado de las partículas, donde la velocidad presentaba en cualquier instante, una componente transversal; este tipo de movimiento se llama régimen turbulento, (figura No. 1)

Finalmente Reynolds concluyó que el mejor criterio para determinar el tipo de movimiento en una tubería no se limita exclusivamente al valor velocidad, y sí al valor de una expresión adimensional, en la cual se considera también la viscosidad del líquido; así, el número de Reynolds se define:

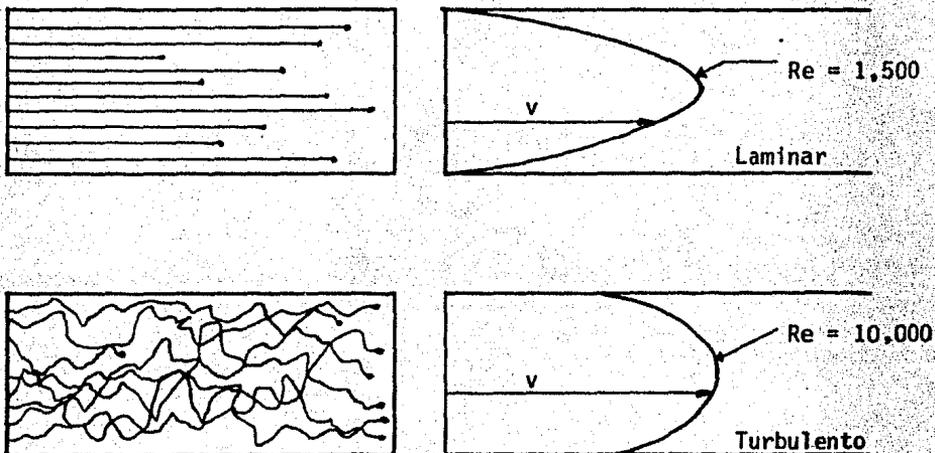
$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

donde:

V = velocidad media del flujo (m/s)

D = diámetro del tubo (m)

ν = viscosidad cinemática (m²/seg)



Trayectoria de las partículas y comportamiento de las velocidades transversales para los regímenes laminar y turbulento.

Para tuberías, el flujo en régimen laminar ocurre y es estable para valores menores de 2,000; entre este valor y 4,000 existe una zona crítica, y para valores mayores se presenta régimen turbulento.

Un número de Reynolds grande indica una preponderancia marcada de las fuerzas de inercia sobre las viscosas, mientras que en un régimen laminar el comportamiento hidráulico está basado en la viscosidad.

En la práctica no es común encontrar tuberías que lleven líquidos con comportamiento laminar, por tal motivo, en el inciso siguiente se mencionan únicamente aspectos y fórmulas que se aplican para régimen turbulento.

2.3.2.- Velocidades máximas y mínimas. Para evitar el azolvamiento de las tuberías cuando conducen líquidos que contienen

materiales en suspensión, la velocidad mínima recomendable es 0.5 m/seg.

Se fija un límite a la velocidad máxima con objeto de evitar daños por erosión a las tuberías. Este límite es variable, dependiendo del material de que se trate, los valores adoptados al respecto por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos se exponen en la tabla No. 2.

2.3.3.- Pérdidas de carga por fricción. Existen varias fórmulas que permiten calcular las pérdidas de energía que se presentan en las tuberías principalmente al efecto combinado de las fuerzas relativas a la inercia, viscosidad y fricción. Estas fórmulas indican que las pérdidas están en función de la rugosidad de las paredes de la tubería, el diámetro del ducto, la velocidad media del flujo y la longitud de la conducción. En ellas se considera que para un flujo permanente, en un tubo de diámetro constante, la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía e inclinada en la dirección del movimiento.

La fórmula de Hazen-Williams es la más recomendada para el cálculo de pérdidas de carga:

$$v = 0.355 C D^{0.63} S_f^{0.54}$$

donde:

v = velocidad media (m/seg)

D = diámetro del ducto (m)

C = coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes del tubo.

S_f = pérdida de carga unitaria (m/m)

En la tabla No. 3, presentada en el apéndice, se muestran los valores del coeficiente C para distintos materiales.

Debido a su simplicidad y a la excelente aproximación que se obtiene con ella, la fórmula de Manning es también muy utilizada para los cálculos:

$$S_f = \frac{10.3 n^2 Q^2}{D^{16/3}}$$

donde:

S_f = pérdida de carga unitaria

n = coeficiente de fricción

Q = gasto (m^3/seg)

D = diámetro (m)

En la tabla No. 3, se exponen los valores comúnmente utilizados para el coeficiente n .

La principal aplicación de las anteriores fórmulas radica en su auxilio para la solución de la ecuación de la energía a problemas específicos:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + hb = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + hf$$

La cual indica que la suma de energías de posición, presión, velocidad e impartida al agua por una bomba en el punto 1, es igual a la suma de las energías de posición, presión y velocidad, más las pérdidas en el proceso. En la figura No. 2 se muestra esquemáticamente esta situación.

2.3.4.- Golpe de ariete. Durante la vida operativa de un acueducto, el paro y arranque de bombas, o la apertura o cierre de válvulas, provocan cambios bruscos en la velocidad del agua, la cual es acompañada por un aumento y disminución de presión.

Cuando un líquido que escurre en una línea de tubería se -

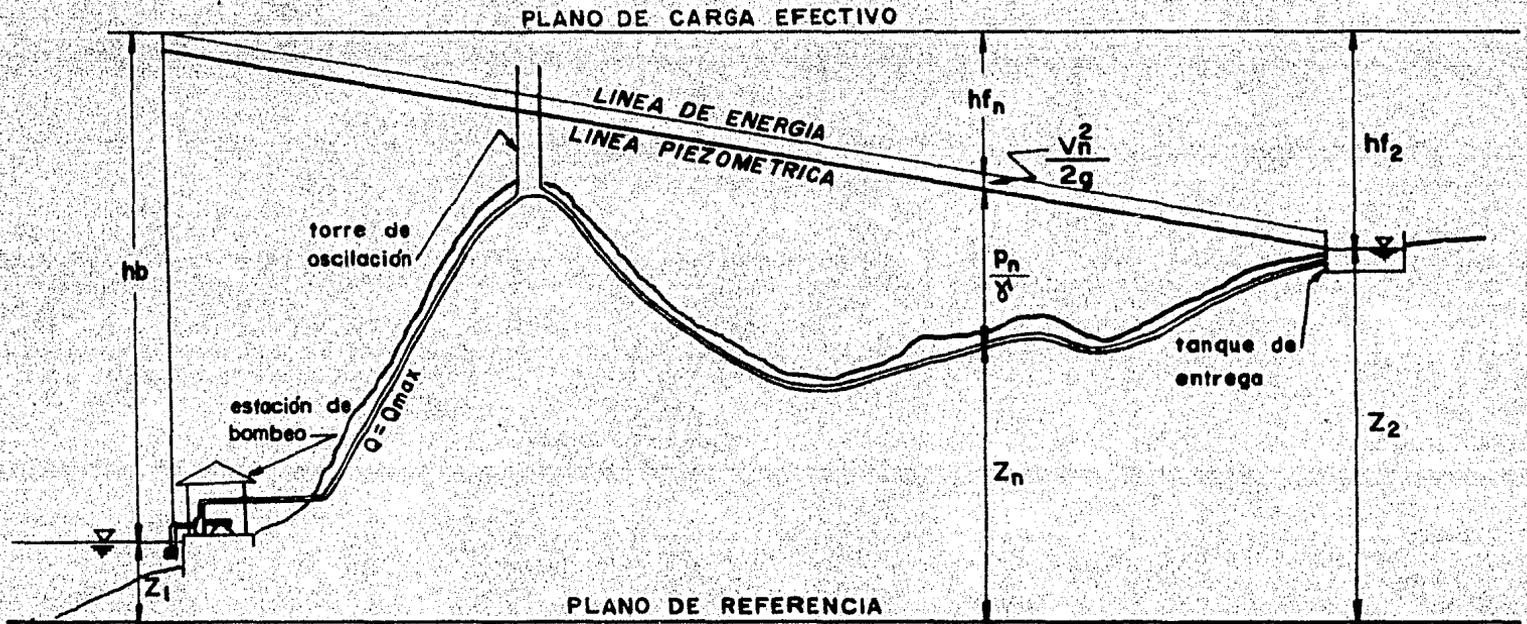


FIGURA No. 2.- Planteamiento gráfico de la ecuación de la energía en una planta de bombeo, sitio de entrega y punto intermedio en la tubería.

detiene bruscamente mediante el cierre de una válvula, la energía dinámica se transforma en energía elástica y una serie de ondas de presión positivas y negativas viajan de ida y vuelta en la tubería hasta que son amortiguadas por la fricción. Este fenómeno se le conoce como GOLPE DE ARIETE.

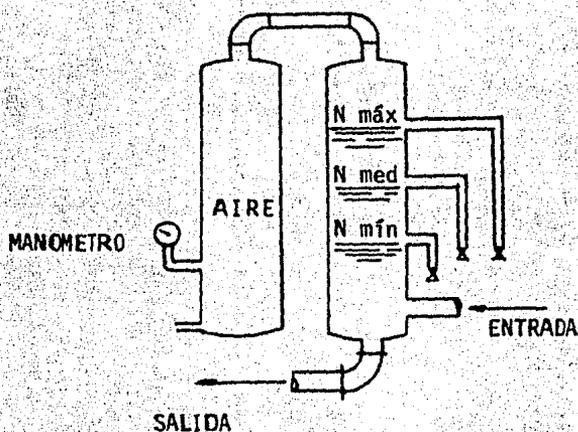
Una vez conocida su causa, durante el diseño se procura impedir la posibilidad que se presente; sin embargo, en el caso de acueductos con estaciones de bombeo, esto es imposible debido al paro y arranque de equipos o a una falla en el suministro de la energía eléctrica.

En este caso, debido a la inercia de las partes rotativas de los equipos, inmediatamente después de la falta de corriente, la velocidad de las bombas empieza a disminuir, por lo que se reduce rápidamente el caudal. La columna líquida continúa subiendo por la tubería de descarga, hasta que la inercia es vencida por la acción de la gravedad. Durante este periodo se verifica una descompresión en el interior de la tubería.

En seguida, ocurre una inversión en el sentido del flujo y la columna líquida vuelve a las bombas. Si no existe una válvula de retención las bombas comienzan a funcionar como turbinas, lo que es perjudicial para los equipos, por lo que normalmente se instalan estas válvulas en una estación de bombeo.

La corriente líquida, al encontrar la válvula de retención cerrada, ocasiona el choque y la compresión del fluido, lo cual da origen a una onda de sobrepresión.

Con objeto de prevenir y limitar el golpe de ariete, se pueden tomar algunas de las siguientes medidas de protección:



CAMARA DE AIRE COMPRIMIDO.

- a) Instalar válvulas de retención o "check" de buena calidad, que al cerrarse en el momento de la inversión en el sentido del escurrimiento, paren la columna líquida cuando viaje a su menor velocidad.
- b) Considerar el efecto que tiene el fenómeno en la presión - que deben resistir los tubos.
- c) Colocar válvulas de alivio para que se libere energía, ya que permiten que escape fluido al presentarse la sobrepresión.
- d) Emplear cámaras de aire comprimido, que durante la etapa - de descompresión el aire se expande y la cámara cede agua a la tubería, para atenuar el efecto negativo. Durante la

fase de sobrepresión la cámara pasa a recibir agua de la tubería, comprimiendo el aire, con lo que se reduce en parte las sobrepresiones altas. El mantenimiento de este dispositivo requiere de ciertos cuidados, para que se conserve el aire comprimido en la cámara.

- e) Construir una torre de oscilación, que en su forma más simple consiste en un tubo vertical conectado a la línea, localizada tan próxima como sea posible a la casa de máquinas, la que mediante oscilaciones de su nivel de agua absorberá casi la totalidad de las sobrepresiones generadas entre la estación de bombeo y la torre, dejando casi sin efectos por fenómenos transitorios al resto de la tubería.
- f) En la llegada a las estructuras instalar válvulas de cierre lento que, al hacer gradual el cambio de la velocidad del agua, permiten a las ondas regresar y encontrarse con las nuevas generadas que tienen sentido inverso; con ello se logra la disminución en la sobrepresión.

El estudio completo de este fenómeno en proyectos específicos se convierte en todo un capítulo, dentro del que intervienen muy diversos factores. Para pequeños proyectos que no ameriten un estudio tan complejo, o bien para hacer estimaciones preliminares en anteproyectos, se utiliza la siguiente fórmula:

$$h = \frac{145 \cdot v}{\sqrt{1 + \frac{k D}{E e}}}$$

donde:

h = sobrepresión generada por golpe de ariete (m)

v = velocidad media (m/seg)



Torre de oscilación No. 5 con altura de 61 m.
Acueducto Linares-Monterrey.

k = módulo de elasticidad del agua (20,670 kg/cm²)

E = módulo de elasticidad del material del tubo (kg/cm²)

D = diámetro interior (cm)

e = espesor de la pared del tubo (cm)

Es práctica común considerar que la sobrepresión que absor

berá la tubería sea del 20 por ciento del valor obtenido de h , el 80 por ciento restante deberá liberarse por medio de válvulas.

2.3.5.- Presiones de trabajo en tuberías. Generalmente, dentro de un acueducto con bombeo, se pueden distinguir dos zonas -- principales.

La primera zona, llamada de presión, es la tubería comprendida entre la estación de bombeo y la estructura disipadora de sobrepresiones. Esta zona está sujeta a los efectos causados por la presión estática más sobrepresión por golpe de ariete.

La segunda zona, comprendida desde la estructura hasta el próximo sitio de entrega, aún cuando trabaje a tubo lleno con presión interna, es llamada zona de gravedad, ya que su comportamiento es similar al de un acueducto que trabaje por gravedad, sin estación de bombeo. En esta zona las sobrepresiones por fenómenos transitorios tienen efectos mínimos, que son de tomarse en cuenta.

En los casos que se coloque una válvula de seccionamiento en el sitio de entrega, se genera presión interna causada por presión estática. Para que no se presenten mayores presiones, es necesario que la válvula sea de cierre lento. Entonces, la presión estática queda definida por una línea horizontal cuyo nivel es el punto donde el agua derramaría, como en el caso del nivel superior de la toma directa de un río o lago.

Si en la entrega no se instala algún dispositivo que pueda detener la corriente líquida, la presión interna está defini-

da por la línea piezométrica.

Una vez definida la línea de máximas presiones para todo el acueducto, la presión interna se obtiene mediante la resta de los niveles de esta línea con los de la tubería por instalar.

Finalmente, las tuberías que se instalen en los diferentes puntos serán de presiones de trabajo comercial, éstas se elegirán, por supuesto, de la menor presión de trabajo posible.

Existe una excepción a lo anterior y es en el caso en que las presiones externas son de consideración, ya sea por tránsito de vehículos o por colchones fuera de especificación, donde se hace necesario efectuar un estudio de esfuerzos combinados. En estos casos deben estudiarse los efectos en la tubería por cargas internas, cargas externas y cama de apoyo.

2.3.6.- Diámetro económico. Aun respetando los límites de velocidades máximas y mínimas, el caudal que se pretende suministrar puede conducirse por diferentes diámetros comerciales.

Aplicando la ecuación de la energía presentada en el inciso 2.3.3., al caso específico de una estación de bombeo en el punto 1 y un tanque de entrega en el punto 2, para un mismo diámetro en toda la línea, se tiene que $v_1 = v_2$ ya que el gasto es constante y el régimen está establecido. De igual forma $p_1 = p_2 =$ presión atmosférica; con lo cual la fórmula queda reducida a:

$$Z_1 + hb = Z_2 + hf$$

Puesto que Z_1 y Z_2 son constantes para cualquier diámetro, está claro que la variación de hb depende exclusivamente del

valor de hf.

Un mismo gasto puede transportarse por una pequeña tubería con bajo costo de construcción pero grandes pérdidas por fricción (que obligan a fuertes costos por consumo de energía eléctrica); o bien por un acueducto con tubería grande, con mínimas pérdidas por fricción pero con alto costo inicial.

La solución al problema se obtiene al encontrar la alternativa que tenga los menores cargos anuales totales. En los cargos por operación se encuentran salarios al personal, lubricantes, materiales y costo de la energía eléctrica. En los cargos por amortización de la inversión, se incluyen las anualidades para el pago de la inversión de la obra, más los intereses. Entonces, el estudio del diámetro económico consiste en la conjugación más conveniente de los costos operativos, con los costos de inversión.

Sobre todo para satisfacer grandes demandas, puede pensarse en la construcción de acueductos con 2 o más líneas paralelas, con la ventaja de poder diferir así la inversión ya que las líneas se construirán de acuerdo a las necesidades, sin requerirse hacer la obra completa desde un principio.

2.3.7.- Revisión de las etapas de operación. El proyecto inicialmente se elaborará para el gasto máximo, éste será el principal parámetro de diseño de tuberías, estaciones de bombeo, planta potabilizadora, etc.; se tendrá perfectamente definida la línea piezométrica para esta etapa y se verificará su buen comportamiento hidráulico.

Pero se debe recordar que éste será el comportamiento últi

mo del sistema, el cual está diseñado para las necesidades futuras que, generalmente, son inferiores a las inmediatas, razón por la que es conveniente seccionar las estaciones de bombeo y planta potabilizadora. Además es obligatorio revisar el comportamiento hidráulico de la tubería para las etapas intermedias.

Al suministrar un caudal menor, las pérdidas de energía, que son proporcionales a su cuadrado, disminuyen. Por lo que se obtiene como resultado una reducción en la pendiente de la línea piezométrica, (figura No. 3).

Es factible que esta nueva línea piezométrica corte la tubería en algunos puntos, en tales casos habrá tramos donde la tubería se comporte como un canal cerrado, con presión atmosférica en la superficie del agua. Se deberá entonces revisar la velocidad del agua en esta situación y comprobar que no pase el límite establecido. En caso de que ésto suceda, se harán correcciones al proyecto.

2.3.8.- Selección de ruta. Una vez definidas las fuentes de abastecimiento, el problema radica en cómo llevar las aguas a la población; dónde estarán ubicadas las diferentes estructuras, y por dónde irá el trazo del acueducto. Conviene plantear varias alternativas para su análisis, donde un estudio de cargas de bombeo, presiones en la tubería y niveles debe intervenir.

Es conocido que la mínima distancia entre dos puntos es la línea recta, y esta situación debe buscarse en todo momento; pero la decisión puede provocar mayores desventajas que bene-

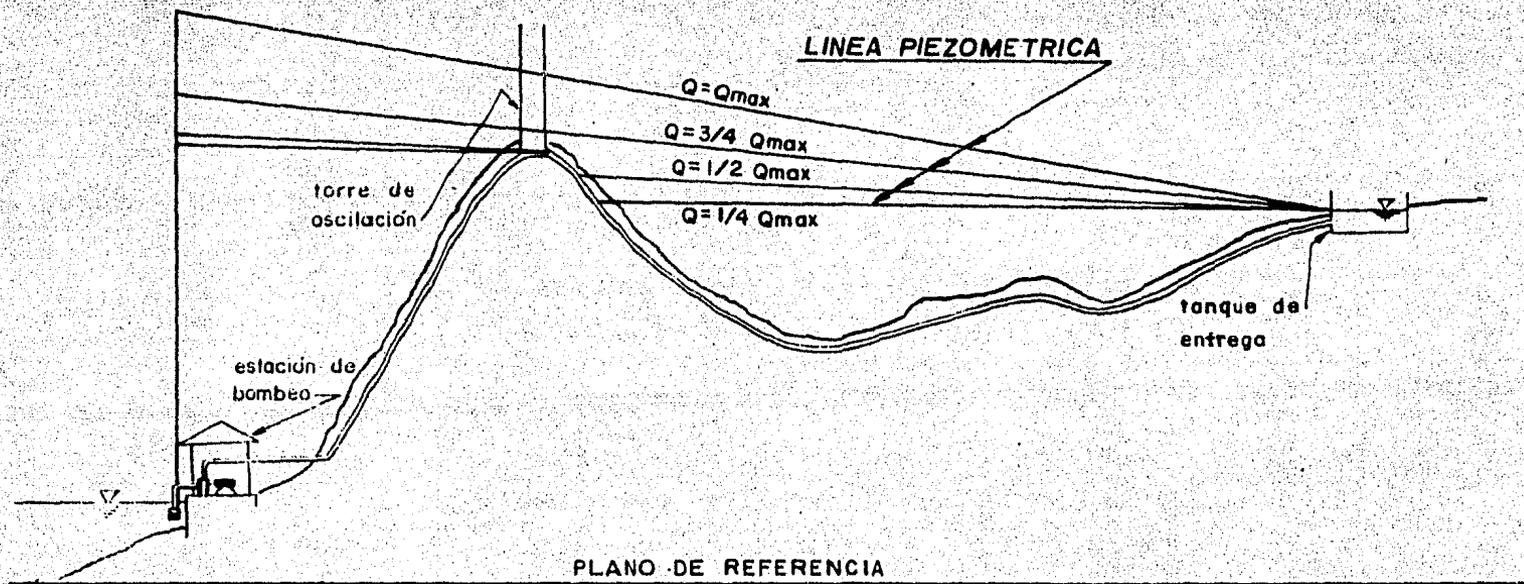


FIGURA No. 3.- Reducción de la línea piezométrica al disminuir el gasto en una planta de bombeo seccionada con cuatro equipos.

ficios, ya que implica atravesar linderos y dividirlos no siempre de manera satisfactoria, con los consecuentes problemas sociales que se generarían. Adicionalmente, sería necesario hacer caminos de acceso para construcción y mantenimiento.

Por tal motivo, debe estudiarse la elección de caminos, brechas y linderos, donde ya existe un derecho de paso, aun cuando pueda implicar un aumento en la línea de conducción.

La magnitud de las obras por construir, en este caso el diámetro de la tubería, su costo por metro lineal, el uso que se le den a los terrenos por atravesar y la respuesta esperada de los propietarios, son los principales auxiliares en la toma de esta decisión, la cual debe plantearse a lo largo de toda la ruta.

Finalmente, cabe mencionar que para la etapa de anteproyectos, los planos editados por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), en escala 1:50,000, son una fuente de información muy útil.

3.- ESTUDIOS DE CAMPO.

Una vez que se han planteado las alternativas de ruta, se procede a efectuar un recorrido de campo de las mismas, para poder así definir la más conveniente.

Posteriormente se deben iniciar los estudios que servirán de base para la elaboración de los proyectos constructivos. Debido a que el punto de interés de este trabajo es la línea de conducción, se tratarán únicamente los estudios relativos a ésta.

3.1.- Estudios topográficos.

3.1.1.- Nivelación diferencial a lo largo del trazo. El primer trabajo topográfico consistirá en una nivelación a lo -

largo del trazo o bien por caminos muy cercanos a éste (menos de 500 m), ubicando bancos de nivel a cada cinco kilómetros - por lo menos y tocando los bancos de nivel del sistema adoptado que se encuentren cerca de la línea.

La calidad de este trabajo deberá estar dentro de las tolerancias admitidas y además se verificará que coincidan las cotas que asigne esta nivelación a los bancos existentes encontrados, con las cotas de los mismos.

Lo anterior evitará algunas posibles complicaciones y adicionalmente servirá como auxiliar para los trabajos procedentes.

3.1.2.- Levantamiento topográfico. Está dividido en tres partes principales: trazo, nivelación y secciones.

El trazo se efectuará mediante la colocación de trompo y estaca a cada veinte metros, donde se especifique el cadenamiento del punto. Por otra parte, se deben dejar mojoneras en los puntos de inflexión y si su separación es mayor de un kilómetro, se colocarán mojoneras en los puntos sobre tangente.

La nivelación se realizará sobre los trompos y adicionalmente en las deflexiones bruscas; se tocarán las mojoneras dejadas en el trazo, los bancos de nivel construidos durante el primer trabajo de nivelación, y se fijarán bancos de nivel, fuera del eje, con separación de un kilómetro.

Las secciones se efectuarán transversales al eje del trazo y con una longitud total de 100 m, tomando como base los puntos tocados durante la nivelación de perfil.

Entonces se procederá a la elaboración (normalmente se -

considera adecuada la escala 1:2,000), de los planos del levantamiento, donde se ubicarán linderos, estructuras, arroyos, posterías, etc., para con ellos decidir en definitiva el trazo del acueducto.

3.1.3.- Nivelación de perfil por el eje del acueducto. A menos de que dicho eje coincida exactamente con el eje del trazo efectuado, se hace indispensable trazar y nivelar por éste.

Podría pensarse que este trabajo no es necesario ya que es posible obtener los datos a partir de los planos elaborados; pero hay que tomar en cuenta las interpolaciones realizadas para dibujar las curvas de nivel, y más aún, las interpolaciones que se efectuarían entre curvas para determinar el perfil de dicho eje. Definitivamente, la aproximación obtenida mediante este método no es aceptable, ya que los perfiles reales sobre el eje son básicos para un buen proyecto que facilite los trabajos en la etapa constructiva.

3.2.- Estudios geotécnicos.

El objetivo de estos estudios es conocer las características de los suelos en el área donde se ubicará el acueducto, así como localizar y evaluar los bancos de materiales.

Estos estudios comienzan con un reconocimiento de campo, observando los afloramientos de materiales en el terreno, así como los cortes existentes en las proximidades de la obra, a manera de tener una primera idea de las características y tipo de suelos por encontrar. Este recorrido general se efectuará a las alternativas de trazo, a manera de evaluarlas por es

te concepto.

3.2.1.- Pozos a cielo abierto. La excavación de pozos a cielo abierto es un gran auxiliar para el mejor conocimiento de los suelos. Sus dimensiones generalmente son de 1.5 m por 1.2 m, llegando hasta la profundidad media del proyecto de la excavación o bien al encontrar material rocoso o nivel de aguas freáticas.

Estos pozos se excavarán con una separación de un kilómetro, pudiéndose reducir esta distancia dependiendo de los cambios estratigráficos del terreno; de tal manera que se cuente, mediante una prudente aproximación, con el conocimiento de los suelos a lo largo de toda la línea.

Para el estudio de muestras en el laboratorio, en una de las paredes del pozo, se abrirá una ranura vertical de sección uniforme de 20 cm de ancho por 20 de profundidad, de donde se obtendrán muestras de cada cambio de estratos, recuperando éstas en forma alterada o inalterada, dependiendo del tipo de suelo y pruebas por realizar.

En una región es común encontrar un pequeño número de formaciones geológicas, por lo que es conveniente un estudio completo a muestras representativas de dichas formaciones, éste puede comprender: prueba triaxial lenta, prueba triaxial rápida, prueba de compresión simple, prueba de valor relativo soporte, límites de Atterberg, granulometría, contenido de agua, determinación de pesos volumétricos suelto y máximo.

Terminado el estudio, y con un mejor conocimiento de las formaciones, al resto de las muestras, es probable que solo

se requiera la elaboración de las cuatro últimas pruebas mencionadas.

Es aconsejable que se vacfen los resultados de las pruebas y las observaciones de campo en formas elaboradas que resuman las principales características de cada pozo.

3.2.2.- Sondeos exploratorios. Para los cruces del acueducto con ríos o arroyos importantes, con carreteras y líneas ferreas, el proyecto puede requerir datos geotécnicos donde el método de penetración estandar, el muestreo con tubos de pared delgada y los métodos rotatorios para roca se hacen necesarios.

Es recomendable efectuar los sondeos hasta una profundidad del orden de 30 m. En suelos blandos se alternará el método de penetración estandar con el hincado de tubos de pared delgada tipo Shelby para la obtención de muestras. Cuando aparezca en la perforación un gran bloque o estrato rocoso, será indispensable recurrir al empleo de máquinas rotatorias, con brocas de diamante obteniendo muestras, donde el muestreador sea preferentemente de diámetro NX.

Posteriormente, las muestras serán enviadas al laboratorio para efectuar las pruebas necesarias.

3.2.3.- Estudios geofísicos. El método de resistividad eléctrica es utilizable dentro de los estudios para la elaboración de proyectos relativos a la instalación de tuberías de concreto presforzado.

La localización de bancos de materiales se inicia con el auxilio de una identificación superficial de campo, cartas

geológicas y pozos a cielo abierto. A los bancos que se encuentren con mayor potencialidad, un estudio geofísico es un buen método para la delimitación de fronteras de los estratos y por lo tanto de cuantificación de volúmenes.

3.3.- Estudios de corrosión.

A lo largo de una línea de conducción, es común encontrarse con gran variedad de estratos de diferentes características. En algunos casos, afortunadamente aislados, se pueden presentar terrenos potencialmente agresivos para el acero de presfuerzo de las tuberías de concreto presforzado.

Estos terrenos contienen agentes perniciosos que generan corrosión al acero al penetrar a través del mortero de recubrimiento, afectando la estructura física del tubo.

Este fenómeno de tipo electromecánico, es producto de la disolución del hierro y se debe a diversos factores, donde destaca la infiltración de aguas cuyo PH es menor de nueve y a la permeabilidad del mortero de recubrimiento.

Las aguas que se infiltran pudieran ser agresivas debido a la contaminación que tengan con suelos si éstos contienen gran concentración de sales. El proceso de corrosión se puede ver como una filtración de aguas al mortero y un fenómeno de lenta extracción de los electrones del acero de refuerzo, como producto de reacciones químicas, dañándolo irreparablemente.

La extracción de electrones se activa en gran manera si se presenta un proceso mojado-secado de las tuberías. Esto puede

verificarse al observar que las tuberías que se encuentran dentro del agua de mar no son afectadas y sí las que se tienen en las orillas donde el fenómeno de mojado-secado ocurre.

Por lo tanto, al tener la tubería rodeada por terrenos con gran contenido de sales, principalmente si éstas son cloruros, que contaminarán el agua de lluvia, se atacará al acero de refuerto y el proceso será acelerado por un mojado de las tuberías por lluvia y un secado por evaporación del agua en el terreno. En esta condición se tendrá de manera permanente el agente agresivo junto a la tubería.

Estos suelos debido a su composición química, presentarán baja resistividad al pasar una corriente por los mismos, y esa es la razón por la que deberá hacerse un estudio de resistividad eléctrica. Con ayuda de los resultados que se obtengan con él, se seleccionarán muestras que deben ser sometidas a un análisis que determine las sales que los terrenos contengan.

Finalmente, se puede mencionar, que los suelos que presenten una resistividad menor de 4,000 ohms/cm, deberán ser objeto de un mayor análisis. Si el estudio respectivo informa que dicho suelo contiene concentraciones de cloruro mayor de 0.02 por ciento o concentraciones de ácido sulfhídrico disuelto mayores de 0.01 por ciento, entonces son suelos potencialmente agresivos y este hecho se deberá contemplar en el proyecto.

Sin embargo, es de importancia hacer la observación de que dentro del estudio de resistividad eléctrica se debe tomar en cuenta que un suelo agresivo sin humedad poseerá una resisti-

vidad alta. Por lo tanto, el estudio es de mayor confiabilidad si se efectúa en diferentes épocas del año, donde se incluya inmediatamente después de la temporada de lluvias, determinándose así los sitios donde el análisis de muestras es requerido.

4.- FABRICACION DE TUBERIAS DE CONCRETO PRESFORZADO.

El conocimiento del producto con el que se manobra es necesario para la mejor ejecución de los trabajos, a manera de darles un trato más adecuado. Por tal motivo, se ha considerado necesaria la introducción de este tema, en el que se tratará de manera muy somera el proceso de fabricación.

A la fecha existen en México tres fabricantes de tuberías de concreto presforzado, los cuales trabajan diferentes sistemas patentados.

Los tres cuentan con diferentes procesos de fabricación, pero desde un punto de vista general, se puede mencionar el proceso dividido en cuatro partes: fabricación del tubo primario, tensado circunferencial, prueba hidrostática y recubri--

miento.

4.1.- Fabricación del tubo primario.

En un molde de acero, que tiene en sus extremos piezas maquinadas para formar con toda precisión la espiga y la campana, se colocan de manera longitudinal alambres de acero con puntas roscadas y tuercas en sus extremos, y se someten a una tensión próxima al 80 por ciento de su resistencia de ruptura mediante gatos hidráulicos.

Posteriormente, se somete el molde a una centrifugación a baja velocidad recibiendo el concreto distribuido por una banda transportadora. Después de distribuido el concreto, la rotación a gran velocidad le provoca una aceleración centrífuga, produciéndose también una vibración intensa y compactación a alta presión, elaborándose así un concreto extremadamente denso y con resistencia mayor de 500 kg/cm^2 después de 28 días.

Entonces se somete al producto a un proceso de curado al vapor, y posteriormente ya desmoldeado, se efectuará un rectificado y corrección de imperfecciones, para ser depositado en patios de almacenamiento o bien otro proceso de curado a manera de alcanzar el grado requerido por el proceso precedente.

Lo anterior describe el tubo primario de dos de los fabricantes, el correspondiente al tercero consiste en un tubo de acero que es recubierto por ambos lados con concreto, a manera de protección, mediante un proceso similar al anterior. Este cilindro de acero garantiza la impermeabilidad del producto y en sus extremidades se sueldan las formas de espiga y -- campana.

4.2.- Tensado circunferencial:

Una vez que el tubo primario ha adquirido una resistencia adecuada, se procede al tensado circunferencial.

Durante este proceso se aplica una tensión y paso controlados, que van de acuerdo con la carga de trabajo a que esté diseñada la tubería.

4.3.- Prueba hidrostática.

Consiste en colocar el tubo en una máquina que contiene en sus extremos formas de espiga y campana, y hacer el enchufamiento para después llenarlo de agua y elevar la presión hasta una y media veces la presión de trabajo. Se mantendrá durante un mínimo de tres minutos y observará su comportamiento.

Con este procedimiento se comprueba la resistencia mecánica del concreto y del acero, y la hermeticidad del tubo.

4.4.- Recubrimiento.

Posteriormente, el tubo se pasa a la máquina de revestir, donde también por rotación y vibrado a alta frecuencia se cubre el acero del zunchado con una capa de concreto de no menos de 19 mm.

El tubo así terminado, se somete a otro curado al vapor, con lo cual el concreto adquiere una resistencia $f'_c = 500 \text{ kg/cm}^2$. Algunos fabricantes efectúan el recubrimiento con anterioridad a la prueba hidrostática.

Al terminar este proceso el tubo está en condiciones de ser transportado a la obra.

5.- PIEZAS ESPECIALES Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y FUNCIONAMIENTO.

El correcto funcionamiento hidráulico de una línea y las necesidades operativas y de mantenimiento, obligan a la instalación de una serie de accesorios, los que a su vez requieren fabricación e instalación de piezas especiales de concreto - presforzado.

Igualmente se solicitarán piezas que faciliten la etapa - constructiva, en adición a las necesarias para salvar los obstáculos topográficos.

Es ventajoso prever estas piezas, tanto de concreto como - los dispositivos, a manera de permitir el tiempo necesario para su fabricación y envío a la obra.

5.1.- Dispositivos de seguridad y funcionamiento.

5.1.1.- Válvulas de seccionamiento. Para aislar y regular el flujo en tramos del acueducto, en algunas ocasiones se contempla la instalación de este tipo de válvulas. Existen de dos tipos: de compuerta y de mariposa. En diámetros mayores de 12" es común utilizar válvulas de mariposa por razones de costos; en diámetros de hasta 12" las válvulas de compuerta son mejores.

Por economía, al usar diámetros más pequeños que la tubería, el ahorro en el costo de las válvulas se balancea contra una mayor pérdida de carga.

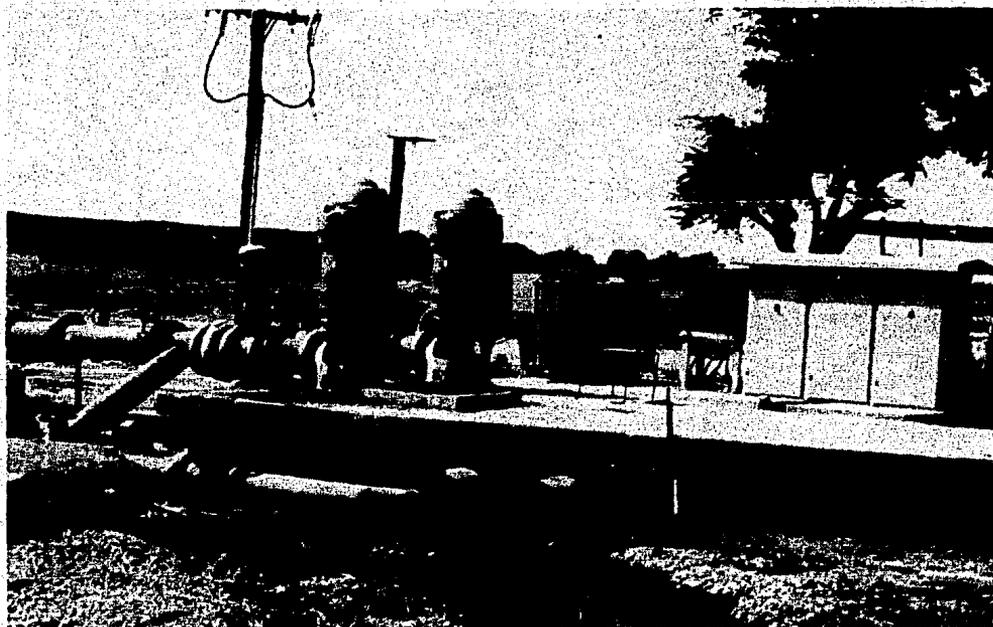


VALVULA DE MARIPOSA.

5.1.2.- Válvulas de retención o "check". Estas válvulas permiten el escurrimiento únicamente en una dirección.

En su forma más simple, consisten en una hoja que se cierra bajo su propio peso cuando el escurrimiento en dirección permitida cesa, el cierre entonces también es provocado por el empuje de la propia agua. Su instalación es casi obligada en la descarga de los equipos de bombeo.

5.1.3.- Válvulas de admisión y expulsión de aire. Son piezas de funcionamiento automático, reguladas para la presión de trabajo, que se colocan en todos los puntos elevados. Cumplen con tres objetivos: la expulsión del aire desplazado durante



ESTACION DE BOMBEO. Siguiendo el sentido del escurrimiento, se observa el equipo motor-bomba, válvulas de aire, check y mariposa.

el llenado de la línea, la expulsión del aire desprendido del agua en circulación y la admisión de aire durante el vaciado.

Lo anterior se refiere a una válvula del tipo mixto, que en ocasiones se sustituye por una válvula admisoras y una o dos expulsoras. Es conveniente que la instalación de estas válvulas no exceda una separación de 1.5 kilómetros.

5.1.4.- Válvulas de alivio de presión. Se ajustan para abrirse automáticamente con un valor de la presión. Son utilizables en pequeñas líneas de tubería, donde el escape de una relativamente pequeña cantidad de agua aliviará las presiones de golpe de ariete.

5.1.5.- Válvulas reguladoras de presión. Eventualmente se necesita interconectar un sistema de alta presión con uno de baja presión. La colocación de este tipo de válvulas en el punto de la unión, permite un escurrimiento desde el sistema de alta hasta el sistema de baja presión cuando la generada en el lado de presión baja no exceda del valor prefijado.

5.1.6.- Medidores de gasto. La cuantificación de los volúmenes suministrados y la vigilancia operativa del sistema hacen necesaria la instalación de medidores de gasto en el punto de entrega, debiéndose analizar la opción de instalar un medidor a la salida de cada planta de bombeo, sitios de entrega, y a la salida de las fuentes de abastecimiento.

Los medidores de Venturi, de placa de orificio y toberas, provocan una diferencial de presiones mediante estrangulamientos en las tuberías, las que se conocen gracias a la instalación de manómetros en puntos adecuados, de tal forma que conocidas las presiones, con la pérdida por el estrangulamiento

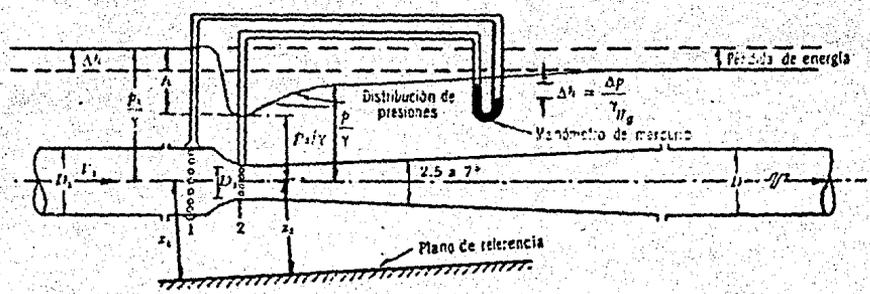
previamente estudiadas, se puede deducir las velocidades y por lo tanto el gasto, (figura No. 4).

Otro tipo de medidores son los molinetes, que constan de una hélice pequeña conectada a un cuerpo fuselado, que al producirse la rotación, envía una serie de señales eléctricas conociendo así la velocidad del flujo y por lo tanto el gasto.

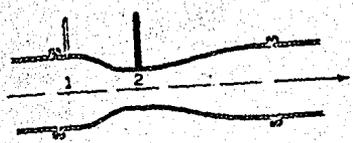
Ampliamente son conocidos los medidores Parshall para canales a cielo abierto, donde como en el caso de los venturímetros y toberas, se provoca una contracción con pérdidas de energía previamente estudiadas. Este tipo de medidor se coloca generalmente dentro de un conjunto de estructuras o en la llegada a ellas, pero nunca dentro de un tramo continuo de la línea de conducción.

5.1.7.- Protección catódica. En los casos que el estudio de corrosión indique la existencia de suelos agresivos y peligrosos para el acero circunferencial de las tuberías, una solución a este problema es la protección catódica.

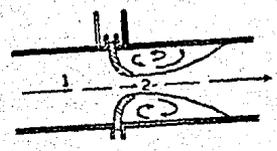
Consiste en la producción de un largo potencial negativo en todos los puntos sobre la superficie del acero presforzado circunferencial, obligando al mismo a convertirse en un cátodo, a lo largo de toda su longitud, enviando electrones. De este modo solo pueden producirse reacciones catódicas en la superficie del acero, que previenen completamente la corrosión, ya que éste es un proceso completamente anódico. Al aplicar la protección catódica al acero de presfuerzo y éste funcionar como cátodo, aumenta el PH adyacente al acero con lo que se evita su corrosión.



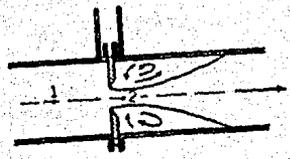
Venturímetro en una tubería.



Venturímetro.



Tobera.



Placa orificio.

Figura No. 4.

Lo anterior se logra mediante la aplicación de corriente eléctrica al acero de presfuerzo, por lo que en cada tubo se deja una terminal ligada al acero circunferencial y se debe tender un alambre a lo largo de la línea del acueducto, con ramificaciones que lo ligen con las terminales. Una pila puede auxiliar para el suministro de la energía, el sistema de protección catódica debe garantizar que el potencial del suelo en cualquier punto de la parte metálica protegida esté entre -850 y -1,000 m.v.. Una vez ajustado el sistema, se debe supervisar regularmente que el potencial de la tubería a suelo se encuentre dentro de los valores establecidos.

5.2.- Piezas especiales de concreto presforzado.

Cabe mencionar que el proceso de fabricación de este tipo de piezas es diferente al de las tuberías estándar.

En primer término, son hechas casi totalmente a mano, y consisten en un cilindro de acero de espesor acorde al requerido para soportar la presión de trabajo, el cual se corta y suelda conforme al tipo de piezas por fabricar, y se le sueldan las extremidades de macho o campana según sea solicitado; ocasionalmente se requiere que una o dos extremidades sea bridado o liso, lo que no representa problemas. Posteriormente se someten a un zunchado con varillas que mejorará la resistencia de la pieza, para entonces recubrirlo interior y exteriormente de concreto.

5.2.1.- Tee con salida radial. En una línea de conducción este tipo de pieza se ocupa principalmente para permitir sobre ella

la instalación de una válvula de aire, para lo cual se fabricarán con salida bridada y del diámetro deseado. Es posible contemplarlas también como ocasionales entradas de hombre, debiéndose instalar con un diámetro de salida en la tee de 24".

Cuando se desee que las entradas de hombre para la inspección de la tubería tengan una separación menor a la obtenida utilizando las válvulas de aire para este fin, se instala una tee con salida radial en algunos puntos intermedios colocándole una tapa ciega.

Es útil su instalación en los puntos bajos donde se vaciará la tubería y se requerirá bombear el volumen de agua que por presión hidrostática no pueda salir. También se pueden ocupar para la derivación de agua a otras líneas.

5.2.2.- Tee con salida tangencial. Se utilizan para el vaciado de la línea, debido a que la salida se encuentra en la parte más baja, se puede llevar una tubería hasta una zona de nivel apropiado, de tal forma que el vaciado se efectúe por gravedad, sin necesidad de bombeo; sin embargo, esta medida puede implicar una larga línea de descarga con problemas de afectaciones a terrenos y dejar la tubería prácticamente abandonada y sin ningún mantenimiento, ya que rara vez se requerirá vaciar un acueducto bien construido.

Por esta razón, normalmente la idea por la que se fundamenta la instalación de tees tangenciales para desfogues, no se aplica en la práctica y se opta por arreglos como los mostrados en la figura No. 5.

De acuerdo con lo anterior, y considerando la restricción

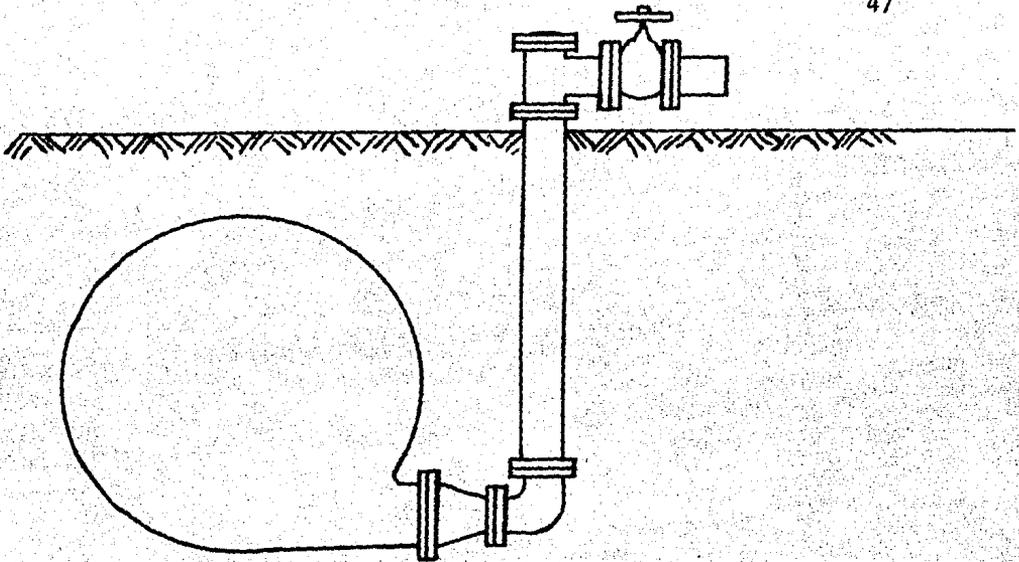


FIGURA No. 5.- Arreglo comunmente utilizado para desfogues con tees tangenciales.

constructiva en cuanto a la reubicación y dirección de frentes de ataque, ya que estas piezas se fabrican izquierdas o derechas, cabe analizar la opción de utilizar salidas radiales para el vaciado de las líneas de conducción.

Por otra parte, las piezas tees tangenciales son igualmente útiles para la derivación a otras tuberías.

5.2.3.- Codos. Para librar los obstáculos topográficos, tanto horizontales como verticales, se utilizan este tipo de piezas. Se pueden fabricar para un ángulo específico de acuerdo al proyecto, pero en algunos casos, por simplicidad en su fabricación, un ángulo se toma mediante la instalación de dos y hasta tres codos de ángulos estandar ($2^{\circ}15'$, $4^{\circ}30'$, $7^{\circ}30'$, $11^{\circ}45'$, $22^{\circ}30'$, 45° y 90°).

5.3.4.- Biseles y medios biseles. Se denominan así a los co-

dos de $4^{\circ}30'$ y $2^{\circ}15'$, respectivamente. Es conveniente contar con medios biseles adicionales para auxiliar a la construcción al presentarse obstáculos imprevistos, aunque cabe decir que la correcta ejecución de un buen proyecto los evitará al mínimo.

5.2.5.- Tubos cortos. Los cambios de dirección y la llegada a estructuras generalmente están definidas en campo y en ocasiones sólo es posible cumplir con estas restricciones mediante la instalación de piezas cortas. Estos tubos son hechos a mano y se fabrican de cualquier longitud que se desee.

5.2.6.- Reducciones. Son requeridas para los cambios de diámetro en la tubería. Estas piezas cónicas son utilizadas para la instalación de válvulas de seccionamiento, que normalmente son de diámetro menor al de la tubería.

5.2.7.- Adaptador recto. Consiste en una pieza que en un extremo tiene la forma de espiga o campana y en el otro se deja el extremo liso de acero. Se ocupan para la llegada y salida de estructuras y para ligar tuberías de concreto con tuberías de acero.

Algunas veces la distribución de los frentes de ataque o situaciones especiales que en la construcción obliguen invertir el sentido de colocación, hacen necesaria la instalación de piezas espiga por espiga.

5.2.8.- Inserciones. Cuando se desea la conexión de la tubería con una línea de concreto presforzado, sin que se tenga una preparación para este fin, o cuando por algún motivo se requiera una derivación sin que se haya previsto con anterior-

ridad a la instalación, las inserciones son un insustituible auxiliar. Se forman con una placa que se ajusta perfectamente al diámetro exterior del tubo y que tiene una perforación que lleva soldada alrededor una salida de acuerdo con el diámetro que se desee. En los extremos se tienen preparaciones para -- instalar tiras de lámina de acero que tensionarán y apretarán al tubo con ayuda de tornillos. Además llevan gomas para sellar la junta perimetralmente, debiéndose rellenar la pieza interiormente de concreto.

Una vez instalada, bien apretada y tensionada, se rompe el concreto del tubo con cincel y marro, el acero de presfuerzo se corta con soplete.

El diámetro de salida de la inserción deberá ser siempre menor al diámetro de la tubería instalada.

5.2.9.- Abrazaderas y brazaletes. Al localizar una pequeña fuga en una junta de un acueducto en operación, es posible sellarla mediante la instalación de esta pieza.

Se instala en la parte externa del tubo por lo que no se requiere suspender el servicio. El sellado de la fuga se obtiene mediante la colocación conveniente de una o dos gomas que con auxilio de las demás piezas que componen la abrazadera, logran sellar externamente la junta.

5.2.10.- Juntas mecánicas. La unión de dos extremos lisos de acero se puede lograr por medio de soldadura. Para conectar válvulas o accesorios y ocasionalmente poderlas retirar aprovechando el juego que las juntas mecánicas permiten, es preferible ocuparlas en lugar de soldadura. Adicionalmente, su --

flexibilidad ayuda para absorber expansiones, contracciones y vibraciones. En la figura No. 6 se puede observar en forma esquemática este tipo de juntas.

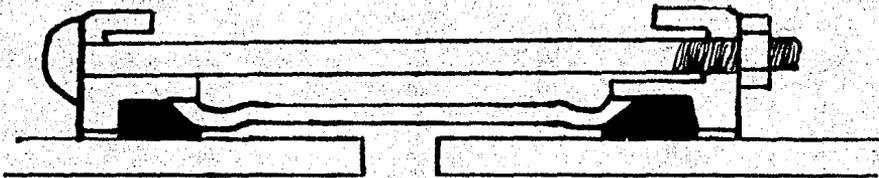


FIGURA No. 6.- Junta mecánica.

6.- PROYECTO DE INSTALACION (DESPIECE).

El proyecto de instalación o despiece consiste básicamente en la ubicación en el espacio de los elementos que integran la línea de conducción, esto es, la definición precisa de las coordenadas X, Y y Z de cada pieza, tanto tuberías estandar como piezas especiales.

De acuerdo con el sistema ortogonal convencional de coordenadas, el trazo del acueducto se encuentra en el plano X-Z, por tal motivo, al hablar de cierto cadenamiento en realidad se está haciendo referencia a una simplificación práctica para la ubicación de un punto en dicho plano. En el presente trabajo a manera de facilitar la exposición del tema, se ocupará esta misma simplificación.

Ya que el proyecto de instalación ubica y define los elementos que formarán la línea de conducción, su principal utilidad será la previsión y programación de las piezas y tubos que se requieran, siendo además un excelente e indispensable auxiliar durante la etapa constructiva.

6.1.- Trabajos preliminares.

Para la elaboración de los despieces, es necesario recopilar primero cierta información de los fabricantes de tubería y hacer algunos trabajos de campo y gabinete.

6.1.1.- Planos del eje del trazo de la tubería. Tomando como base los resultados obtenidos del levantamiento de perfil a lo largo del eje de la tubería, se elaborarán planos a escala adecuada para el proyecto de despiece así como planos generales del acueducto, la experiencia indica como recomendable para los primeros escala vertical 1:100 y horizontal 1:1,000, y para los segundos 1:500 y 1:5,000 para las mismas escalas, respectivamente.

Con auxilio de los trabajos de trazo, se elaborarán planos en planta, que auxiliarán para un mejor conocimiento del acueducto y para controles de avance, a escalas 1:20,000 y 1:50,000, exponiendo en cada punto de inflexión su cadenamiento y ángulo.

6.1.2.- Carga de trabajo en las tuberías. En un plano de perfil con escala horizontal 1:5,000, se deberá trazar una línea que contemple las máximas presiones que se generarán en cada punto. Posteriormente se determinarán las presiones a que es-

tarán sometidas las tuberías, localizando tramos para las diferentes presiones de diseño. Por otra parte, el ahorro que se tenga por realizar muchos cambios en este concepto, puede crear confusiones y dificultades durante la descarga e instalación.

6.1.3.- Ubicación de tapones de prueba. Para su ubicación se tienen dos alternativas principales. La primera es la de localizar estos tapones en las partes altas, donde estarán sujetos a menores presiones; la otra es en los puntos bajos, donde se facilitará el pasar el agua de un tramo de prueba al siguiente. Sobre lo anterior, algunos especialistas opinan que en tuberías de 2.5 m de diámetro y menores, sujetas a presiones iguales o menores de 10 kg/cm^2 , la fuerza resultante por la presión ejercida no representa graves problemas. Por lo tanto en estos casos, es más conveniente ubicar los tapones en las partes bajas.

No es recomendable que la separación entre tapones de prueba exceda de 3 kilómetros. Se debe diseñar de tal manera que se logre una presión en las tuberías que vaya del 70 por ciento a un máximo del 110 por ciento de la presión de diseño, pero siempre se procurará probar a una presión mayor o igual a la máxima de trabajo.

6.1.4.- Pendientes máximas y mínimas. La pendiente mínima se fija a manera de tener siempre un correcto funcionamiento en cuanto a la expulsión del aire en las tuberías, para tal efecto debe considerarse:

$$S_{\min} = \frac{1}{2,000 D} \times 100$$

donde: S_{min} = pendiente mínima, en porcentaje
 D = diámetro interior (m)

El valor de la pendiente mínima nunca deberá ser menor del 0.5 por ciento, ya que para menores pendientes, constructivamente es difícil asegurar que se obtengan las pendientes deseadas.

En cuanto a las pendientes máximas, se debe tomar en cuenta el sentido de instalación. En ascenso, la pendiente máxima estará restringida por la versatilidad y capacidad del equipo de instalación, en condiciones normales de un equipo (con capacidad nominal de la grúa de 2.5 a 3 veces el peso del tubo), una pendiente máxima del 16 por ciento no crea problemas de consideración. En descenso, pendientes de hasta el 12 por ciento no representan mayores dificultades si el fondo de la zanja no es resbaloso, para pendientes mayores el propio peso de la tubería abrirá las juntas por lo que será necesario anclar los tubos.

6.1.5.- Frentes de ataque y sentido de instalación. Para este efecto se debe haber definido la ubicación de los tapones de prueba y estimado las pendientes aproximadas del perfil del terreno, aún cuando esto último no significa que la tubería las seguirá estrictamente, ya que se tienen unos colchones máximos y mínimos y también se pueden efectuar trabajos de cortes y terraplenes.

El sentido de instalación deberá ser ascendente de preferencia, ya que el propio peso de la tubería facilitará el enchufamiento. En un tramo normalmente se tendrán pendientes en ascenso y descenso y conviene entonces que el sentido de ins-

talación sea tal que predominen los tramos en ascenso y que los descensos no tengan pendientes mayores del 12 por ciento si es posible.

En caso de que la línea de conducción se instale con dos o más frentes de ataque, es de importancia considerar que su iniciación y terminación coincida con los tapones de prueba (ya que estos son cierres obligados) o bien a la salida o llegada de estructuras. Otra opción consiste en la instalación de adaptadores espiga por espiga, poniendo a trabajar dos frentes a partir de un mismo punto en sentido contrario. La última opción deberá ser la instalación de un cierre para dar continuidad a dos frentes de instalación.

6.1.6.- Ancho de zanja. Su dimensión deberá ser la mínima posible, ya que los esfuerzos externos a los que se someterá el tubo depende en gran medida de este valor y además está directamente ligado con los volúmenes de excavación y relleno.

Tradicionalmente se ha adoptado el valor de 60 cm. más el diámetro exterior del cuerpo del tubo. Esto es muy aconsejable para tubos de 91 cm. de diámetro y menores, donde la profundidad de la excavación es pequeña y la deflexión entre tubos permite un rápido alineamiento.

En tuberías de grandes diámetros, las profundidades de excavación son de tomarse en cuenta; la seguridad del personal que instale, acuíe y compacte, requiere de nuevas consideraciones al respecto. Adicionalmente, la deflexión permitida entre tubos es mucho menor que en pequeños diámetros. Si se excava la zanja muy angosta, se requerirán piezas especiales

que auxilien en el alineamiento, con la gran desventaja de - que éstas no son predecibles.

Probablemente un ancho de zanja de 1.6 m más el diámetro - exterior de la tubería sea suficiente para cumplir con las ne - cesidades al respecto en diámetros mayores de 1.54 m; para me - nores diámetros se podría interpolar hasta llegar al mínimo - ya recomendado que corresponde a tuberías de 91 cm.

La estabilidad de las paredes, ya sea por su profundidad o por las características de los estratos a excavar, debe tener se presente, en algunas ocasiones será necesario darles incli - nación o talud; o bien, instalar ademe.

6.1.7.- Colchones máximos y mínimos. A reserva de que se soli - citen a los fabricantes especificaciones para cada proyecto - particular, se puede generalizar diciendo que para zonas urba - nas con tránsito de vehículos sobre las tuberías, el colchón de relleno deberá ser de 1.5 m mínimo, hasta un máximo de 2.0 m. En campo traviesa los colchones pueden variar de 0.9 m has - ta 2.5 m.

6.1.8.- Consideraciones para cruces de arroyos. La versatili - dad con que cuentan las tuberías de concreto presforzado, de - bido principalmente a la posibilidad de la fabricación de las piezas especiales que se requieran, permite de alguna manera salvar casi cualquier obstáculo. Sin embargo, en los cruces - de arroyos o ríos permanentes, se hace latente la probabilidad de que exista precisamente bajo el arroyo alguna fuga que di - fícilmente se podría detectar y en un momento dado, su repara - ción y construcción es complicada. Considerando la relativa -

seguridad que se tiene con las tuberías de acero, ya que el control de calidad de las soldaduras por medio de radiografías permite asegurar su hermeticidad, es muy oportuna la instalación de tuberías de acero en los cruces de arroyos permanentes.

Por otra parte, el movimiento y trabajos de maquinaria previos a la instalación, pueden alterar las condiciones de los arroyos que crucen la línea, y es necesario que los perfiles para el proyecto tengan la elevación real del arroyo en el cruce, por tal motivo, se deberá entonces auxiliar con un levantamiento de perfil a lo largo del arroyo, que cubra 400 m tanto aguas arriba como aguas abajo.

6.1.9.- Longitudes efectivas de las piezas. Para la elaboración del proyecto de instalación es indispensable el conocimiento de las longitudes efectivas de las tuberías, tees, adaptadores, codos, etc., estas dimensiones varían de un diámetro a otro e incluso entre los diferentes fabricantes, por lo que se debe solicitar a los mismos datos para cada proyecto.

En el caso de los codos, en el proyecto, se deberán contemplar como dos elementos en uno, pensando que la pieza parte de una pendiente para llegar a otra o que parte en una dirección para cambiarla a otra. Entonces un codo se define con tres dimensiones: su ángulo, la longitud espiga y la longitud campana, en la figura No. 7 se muestra esta situación.

6.1.10.- Deflexión entre juntas. La separación o abertura entre las juntas de una tubería está permitida dentro de dos valores, un máximo y un mínimo. Aprovechando esta situación es posible obtener cierta deflexión al cerrar un extremo al mínimo y abrir

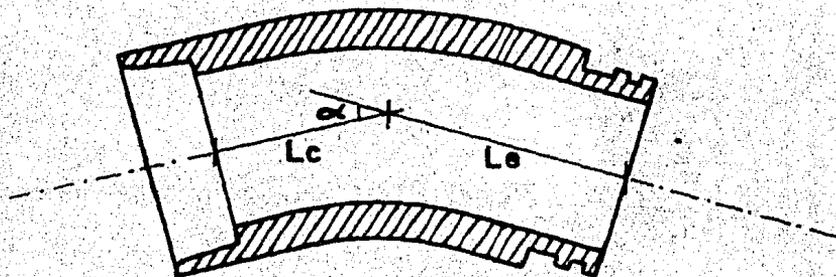


Figura No. 7.- Elementos de un codo.

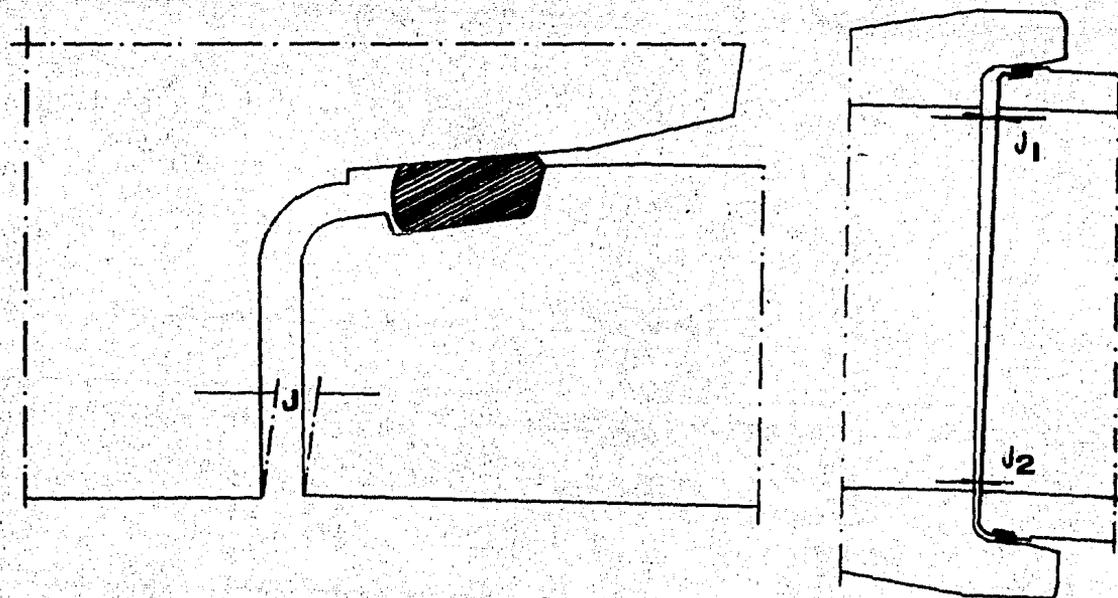


Figura No. 8.- Deflexión entre juntas.

el otro, tal como se expone en la figura No. 8 .

Los valores máximos y mínimos deberán ser proporcionados por los fabricantes para el diámetro a instalar, y la deflexión máxima angular entre juntas está dada por la fórmula:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{J_1 - J_2}{D}$$

donde:

θ = deflexión máxima angular
 J_1 = separación máxima (mm)
 J_2 = separación mínima (mm)
 D = diámetro interior (mm)

Entonces, si no existe ningún obstáculo o impedimento, con una serie de tubos con deflexiones entre sí es posible lograr cualquier cambio de dirección o pendiente; por razones de seguridad es preferible que esta serie no exceda de 5 juntas.

6.2.- Elaboración del proyecto.

Como ya se mencionó, el cadenamiento expresa implícitamente las coordenadas X-Z, y la cota indica la coordenada Y; puesto que una coordenada define un solo punto en el espacio, y la tubería es un cuerpo, en el proyecto se contempla lo siguiente: el cadenamiento representa la ubicación de uno de los extremos del elemento, el cual generalmente es la campana por razones prácticas; la cota representa la elevación de alguna parte de la tubería, usualmente es la parte inferior donde hace contacto con la cama de apoyo, es la elevación o cota de la plantilla terminada.

Este sistema ubica perfectamente a los diferentes elementos, ya que la cota y cadenamiento de un elemento define el extremo

campana, así se define también el extremo espiga del siguiente.

En el proyecto de instalación se utilizan planos con escala vertical 1:100 y escala horizontal 1:1,000. La secuencia a seguir para su elaboración se expone a continuación.

6.2.1.- Primer paso. Consiste en marcar líneas verticales a todo lo ancho del plano en los cadenamientos donde se encuentren cambios de dirección y de carga de las tuberías, a manera de que estos hechos no se pasen por alto.

6.2.2.- Segundo paso. Conocidos los colchones máximos y mínimos y el diámetro exterior de la tubería, al sumarlos se obtienen las dos profundidades posibles (máxima y mínima). Para asegurar que el proyecto no se saldrá de estos límites se miden y dibujan gráficamente. La separación entre los puntos será la diferencia entre los colchones permitidos, ésto se debe hacer a lo largo de todo el plano y el número de puntos estará en función de los cambios topográficos del terreno.

6.2.3.- Tercer paso. Con una regla se tirarán tangentes que se encuentren dentro de los puntos dibujados, determinándose sus pendientes.

6.2.4.- Cuarto paso. Las pendientes de la primer tangente en estudio se pasan a ángulos ($\alpha = \tan^{-1} S$) obteniéndose la deflexión angular de las líneas. Conocido este valor, se decide cómo se hará el cambio de pendiente, existen tres opciones: con codos, con codos y deflexión entre tubos, con deflexión entre tubos únicamente.

6.2.5.- Quinto paso. El punto de arranque, o sea la espiga del primer tubo, se habrá fijado anteriormente en el estudio para la ubicación de frentes de ataque. A partir de este punto

se debe determinar la distancia al siguiente cambio obligado (cambio de dirección, de carga de trabajo o de pendiente).

6.2.6.- Sexto paso. Como resultado del cuarto paso, se conoce el número y tipo de piezas especiales con que se efectuará el cambio de pendiente. Si se trata de cambio de dirección, también es conocida la forma de obtenerlo.

Ahora es necesario determinar el número de tubos por instalar en la tangente en estudio. De acuerdo con el triángulo rectángulo de la figura No. 9, la diferencia de cadenamientos obtenidos en el quinto paso corresponde al cateto adyacente (a), mientras que la tubería representa la hipotenusa (c). Entonces la longitud de tubería para cubrir un tramo, siempre será mayor a la diferencia de cadenamientos, excepto cuando $\alpha = 0^\circ$. Este hecho se debe reflejar en los cálculos.

Para conocer el número de tubos que se instalarán en el tramo, se deben primero sumar las longitudes efectivas de todas las piezas especiales definidas para el tramo y multiplicarlas

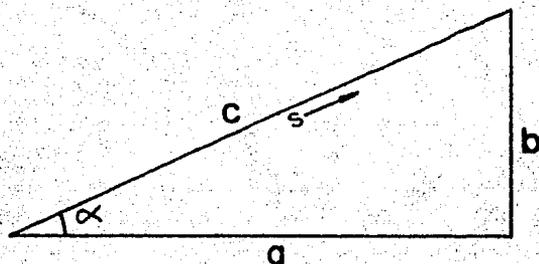


FIGURA No. 9. Representación con un triángulo rectángulo de la proyección de la tubería con respecto a la horizontal.

por su proyección ($\cos \alpha$). A la diferencia de cadenameintos se le resta este producto, obteniendo así la distancia por cubrir con tubería únicamente. Este último valor se debe dividir entre la longitud efectiva de la tubería. Para determinar el número de tubos por instalar, se divide el resultado anterior entre $\cos \alpha$.

Generalmente se obtendrá un número real como resultado, por lo que se elegirá entre reubicar el sitio del cambio y seleccionar el número entero que más se apegue al número real obtenido, o mandar a fabricar tubos cortos.

Por economía esto último se hace en raras ocasiones y casi siempre se debe a cambios de dirección, en cambios de pendiente o de carga, lo normal es reubicar el sitio del cambio.

6.2.7.- Séptimo paso. Consiste en el reajuste debido a la variación del sitio del cambio en caso de que lo hubiere. En caso de cambios de pendiente, esto modificará ligeramente la pendiente siguiente, debiéndose plantear la deflexión angular de las líneas y proceder a los cálculos descritos en el cuarto paso.

6.2.8.- Octavo paso. Una vez determinadas las piezas que se instalarán en este tramo en estudio, se procede al llenado de la tabla de despiece (tabla No. 4), la definición de sus columnas es la siguiente:

P.E.- Número de piezas especiales.

T.S.- Número de tubos estandar por instalar en la pendiente en estudio.

L.U.- Longitud unitaria de la pieza o tubo.

L.T.- Longitud total de la tuberías o piezas especiales.

S.- Pendiente del tramo en estudio.

- α .- Angulo respecto a la horizontal.
- C_{α} .- Variación de α con respecto al renglón anterior, es la corrección a
- C_{χ} .- Corrección a X, toma en cuenta la proyección coseno del triángulo rectángulo formado por la horizontal y la tuberfa.
- KM .- Cadenamiento del extremo campana.
- C_Y .- Corrección a Y, es la proyección seno del triángulo.
- Cota.- Elevación de la plantilla

En la tabla de despiece los cálculos del tramo o tangente - en estudio se obtienen en base a los principales datos del elemento inmediato anterior (α , KM y cota). En el caso que se - parta de un punto de arranque, se proponen la cota y el cadenamiento ignorando el valor α .

Considerando como datos m los del elemento anterior, las fórmulas utilizadas en el cálculo de despiece para el renglón n en estudio son:

$$L.T._n = \text{Número de piezas (P.E. o T.S.)} \times L.U._n$$

$$S_n = \text{Pendiente de la tangente propuesta para el tramo.}$$

$$\alpha_n = \tan^{-1} S_n$$

$$C_{\alpha}_n = \alpha_n - \alpha_m \text{ . Este valor debe ser igual al ángulo de deflexión de la junta.}$$

$$C_{\chi}_n = L.T._n \times (1 - \cos \alpha_n)$$

$$KM_n = KM_m + L.T._n - C_{\chi}_n$$

$$C_{Y}_n = L.T._n \times \sin \alpha_n$$

$$\text{Cota} = \text{Cota}_m + C_{Y}_n$$

Al terminar el trabajo o bien cada hoja, es recomendable com

probar los cálculos de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{Cota final} = \text{Cota inicial} + \sum C_y$$

$$\text{KM final} = \text{KM inicial} + \sum \text{L.T.} - \sum C_x$$

$$\alpha \text{ final} = \alpha \text{ inicial} + \sum C_\alpha$$

Para cambios de dirección, el punto de inflexión deberá coincidir dentro de los límites aceptados con el cadenamiento del punto que divide la parte espiga con la parte campana del codo; cuando se tenga que completar el ángulo con ayuda de juntas abiertas, esto se debe anotar en la tabla de despiece.

Para cambios de pendiente, se conocerá con anterioridad con cuantas juntas abiertas se complementará; entonces el número de tubos estándar que van en el tramo en estudio se le resta el número de tubos que llevan juntas abiertas y puesto que esta diferencia se refiere a tubos con la misma pendiente, se simplifican los cálculos anotando a todos ellos en el mismo renglón de la tabla. Adicionalmente, cada junta abierta y cada codo llevarán por lo menos un renglón para el cálculo.

Respecto a las juntas abiertas se tiene la siguiente nomenclatura, donde con una flecha se indica en qué parte se debe abrir el tubo e inmediatamente después se expone el ángulo de dicha deflexión (el cual debe ser igual a C_α), por ejemplo:

Junta abierta arriba 0.5° ,	J.A. \uparrow 0.5°
Junta abierta abajo 0.2° ,	J.A. \downarrow 0.2°
Junta abierta a la izquierda 0.4° ,	J.A. \leftarrow 0.4°
Junta abierta a la derecha 0.5° ,	J.A. \rightarrow 0.5°

6.2.9.- Noveno paso. Finalmente, el punto y la tangente obtenida con los cálculos se dibujan, uniéndolos con lo anterior y formando así la línea que definirá la plantilla de la tubería.

Cabe mencionar que este trabajo se basa en el método de -- prueba-error, donde es posible que se requiera plantear varias veces los últimos cinco pasos, hasta obtener resultados satisfactorios.

6.3.- Ejemplo de aplicación.

A manera de facilitar la comprensión de la elaboración del proyecto de instalación, se incluye al final de esta tesis un ejemplo de despiece de 600 m de tubería de 2.1 m de diámetro, donde se ha procurado utilizar los principales auxiliares en la instalación de tuberías: tees, adaptadores, codos, biceles, abertura de juntas, etc..

Se inicia en el Km 0+000 donde se localiza una obra de toma en un canal de riego con la que se alimentará la tubería; en el km 0+107.05 se encuentra un cambio de dirección, y de acuerdo al perfil, en los kms. 0+179.71 y 0+286.46 se prevee la instalación de tees radiales para la posterior instalación de piezas de fofo para un desfogue y una válvula de admisión y expulsión de aire.

7.- ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

Es por demás mencionar la aplicación de factores de seguridad en la ingeniería, ya que éstos son ampliamente conocidos y utilizados en un sin número de ocasiones. Son de alguna forma la garantía de durabilidad, buen comportamiento y calidad de la obra. Desafortunadamente, en algunos casos el constructor que conoce la existencia de estos factores, disminuye la calidad para abatir costos, con el único problema que al utilizar este sistema en una actividad repetitiva, el límite de falla se llega a violar en alguna ocasión.

En una línea de conducción, la tubería y su transporte influyen en los costos totales en un porcentaje que varía del 60 al 80 por ciento. Ha sido comprobado que las característi-

cas y control de calidad de los tubos son excelentes. Al recibir una tubería en obra, se puede decir que en promedio el 75 por ciento de los trabajos están bien ejecutados.

Ahora solo resta que los trabajos inherentes a la instalación se realicen correctamente. Se hace hincapié que cualquier error cometido en la instalación no se refleja únicamente en sus costos, su influencia puede llegar a multiplicarse por un 300 a 400 por ciento adicional, debido a las tuberías y piezas que se requieran para reparar el daño.

El autor de ninguna manera quiere expresar una falta de profesionalismo y responsabilidad de los constructores, sino únicamente recalcar que en un acueducto, el proceso de instalación se reproduce cientos y hasta miles de veces y si por cualquier causa se toman medidas en otros casos aceptables, en éste la probabilidad de falla es enorme, debido al número de repeticiones que tiene el evento.

7.1.- Caminos de acceso.

Como se mencionó en el inciso de selección de ruta, algunas veces se optará por llevar el acueducto cruzando propiedades y linderos, o bien por caminos o brechas existentes que no siempre se encuentran en buen estado o en las condiciones requeridas por el proyecto.

En estos casos será necesaria la construcción de caminos de acceso, adicionalmente a la preparación de terracerías, que contemplen los espacios necesarios para la recepción de tuberías, maniobras, ubicación de la zanja y depósito de materia-

les producto de excavación. Esquemáticamente se muestra lo anterior en la figura No. 10.

Es recomendable que durante la construcción de los caminos se ejecuten los trabajos necesarios para toda la sección, estudiando casos específicos y no únicamente se realicen cortes y terraplenes para el camino.

Las características principales requeridas de los caminos de acceso para la construcción y operación de acueductos son:

- a) Amplitud necesaria para maniobras. La capacidad de la grúa precisada para la instalación, su tamaño, dependerá del peso y por lo tanto diámetro de la tubería, de igual forma - dependen de este valor el ancho de zanja y el volumen de materiales producto de la excavación por depositar. En general, un camino de 7 m es suficiente para diámetros de -- hasta 1.8 m ; para mayores 9 m es aconsejable.
- b) Pendientes que permitan el tránsito de camiones cargados con tuberías. Esto se cumple al no sobrepasar un 9 por -- ciento.
- c) Transitables todo el tiempo. El revestimiento de caminos - con materiales adecuados se hace necesario. Estos materiales serán gravas bien graduadas con clasificación GW según el S.U.C.S.
- d) Grado de curvatura y curvas verticales que permitan el paso de camiones plataforma. Cumpliendo con los requisitos - fijados para un camino con velocidad de proyecto de 40 km/hr es suficiente.

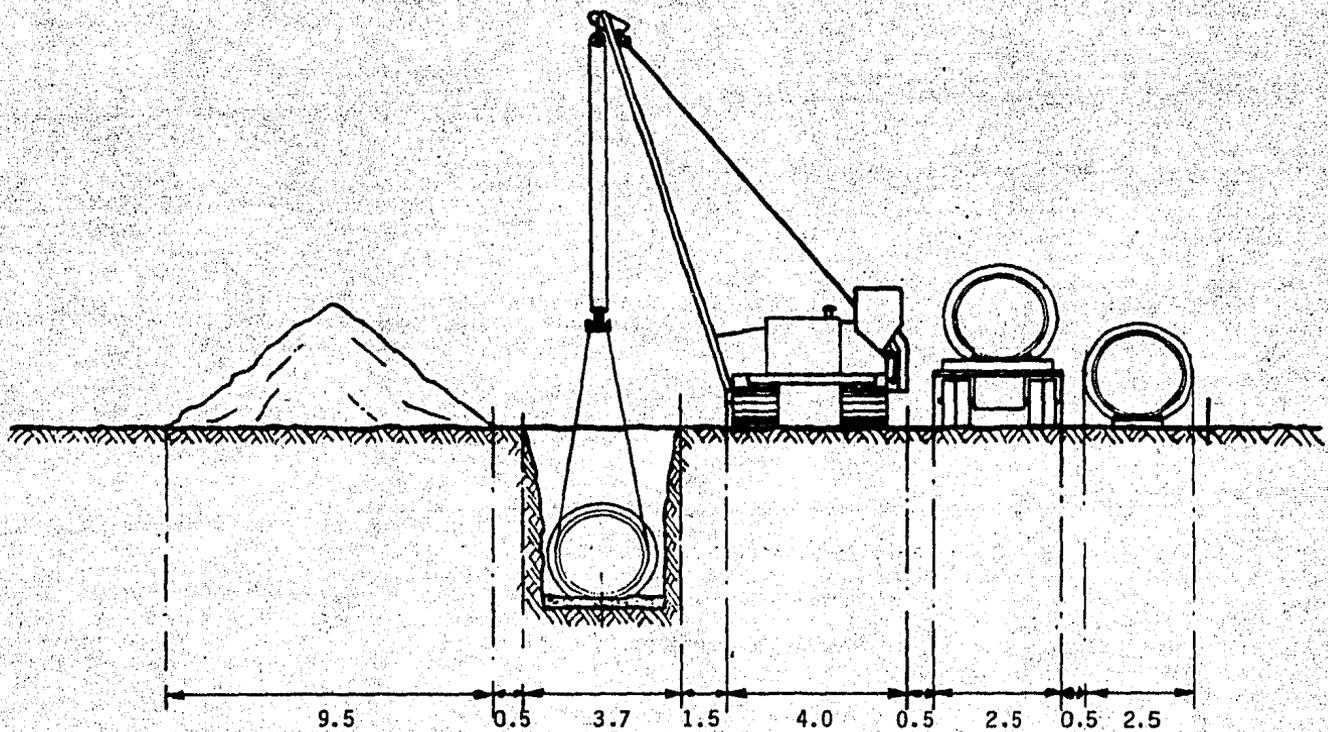


Figura No. 10.- Sección constructiva para tubería \varnothing 1.80 m.
(dimensiones en metros).

7.2.- Recepción de tuberías.

A manera de evitar los movimientos innecesarios de las tuberías, es primordial verificar constantemente que la suma de las longitudes unitarias de la tubería descargada corresponda a las longitudes que indique el proyecto para el tramo en cuestión. Es necesario dejar un espacio entre tubos en la descarga del orden de 40 cm para así proteger las espigas y campanas, por lo que dependiendo de la longitud unitaria de los tubos, se deberá duplicar el tirado en una relación de X número de tubos. Verificar el tirado es ventajoso efectuarlo en subtramos de 300 m, teniendo especial cuidado en los cambios de carga.

Con el propósito de evitar giros de 180° para colocar la tubería, con su consecuente pérdida de tiempo al instalador, es importante que el tirado vaya acorde al sentido previsto de instalación.

Sobre todo en los casos de tuberías con espigas y campanas de concreto, es recomendable apoyar la tubería sobre madera o montículos de tierra, en forma que se protejan.

Se debe contar con tubería adicional en un 0.5 a 1.0 por ciento para los casos que durante las maniobras o por causas ajenas se dañen las tuberías irreparablemente.

7.3.- Excavación de zanjas.

La retroexcavadora es el equipo más utilizado para la excavación de todo tipo de zanjas, se tiene gran variedad de potencias y alcances de este tipo de equipo.

En zanjas para tuberías de 1.5 m y mayores, cuando las características de los suelos lo permiten, se obtienen buenos resultados también con dragas.

En las retroexcavadoras se ha observado que al aumentar su capacidad se obtienen mejores rendimientos y mayor profundidad de alcance, pero no existe una diferencia significativa en cuanto a la dureza de los materiales que se puedan extraer, es decir, el material que no se pueda excavar con una máquina de regular capacidad, probablemente tampoco se logrará con una de gran tamaño.

Entonces, en los casos que aparezcan estratos rocosos, lo más recomendable será primeramente barrenación y tronado. Si los estratos duros no se presentan con regularidad, pudiera convenir excavar dejando los tramos que no se puedan extraer con equipo para después con pistolas barrenar y tronar, regresando posteriormente a rezagar los materiales.

En campo se debe contar con un estacado que defina el eje de la excavación y su cadenamiento. Se deben pintar con cal las orillas de la zanja de acuerdo con el ancho que indique el proyecto. Las profundidades de la zanja son variables y estarán indicadas en el proyecto para cada estación.

Para el chequeo de las profundidades de la excavación se utiliza el escantillón, que es una tira de madera de largo suficiente con marcas que auxilian para medir la profundidad de la excavación, de tal forma que el ayudante indicará al operador del equipo el momento en que se llegue a la profundidad deseada.

Para evitar en lo posible la intemperización de la zanja



Excavación de zanja con retroescavadora Caterpillar 235.

y los derrumbes, se instalará y rellenará a la mayor brevedad, por lo que el avance en excavación no debe exceder al de la instalación en más de 400 m o una semana de trabajo. En terrenos inestables, la distancia permitida entre la instalación y la excavación ha llegado a reducirse hasta lo necesario para colocar un tramo de tubo.

7.4.- Plantillas.

En el fondo de la zanja se colocará una capa de material seleccionado, cuyo espesor generalmente deberá ser un séptimo del diámetro interior del tubo, debidamente nivelada y compactada donde se practicarán concavidades para alojar las campa-

nas.

Los materiales utilizados para la cama serán preferentemente gravas limpias o gravas empacadas en un bajo porcentaje de arenas, limos y arcillas. Es necesario retirar las piedras - con tamaños mayores de 2½ pulgadas, a manera de permitir al tubo repartir perfectamente su carga, evitando la posibilidad de que esfuerzos locales puedan dañar la tubería. Por razones económicas, preferentemente se ocuparán en las plantillas materiales producto de excavación, solo en los casos de que estos sean de muy mala calidad se desecharán.

Con excepción a terrenos con baja capacidad de carga, el apoyo de la tubería también podrá consistir en dos bancos de piedra triturada por tubo, de largo de 1 m y a todo lo ancho de la zanja, asegurando así dos zonas de perfecto apoyo para cada elemento.

La correcta ejecución de los niveles de plantilla indicados en el proyecto facilitarán en forma definitiva la instalación de las tuberías.

Para este efecto, en una de las paredes de la zanja ya excavada y a una altura aproximada de 1 m, se colocará una estaca horizontal por estación y en los cambios de pendiente, nivelando dichas estacas y calculando las diferentes profundidades que a partir de ellas deberá estar el nivel superior de la cama de apoyo.

Si la zanja es lo suficientemente ancha que permita el acceso de una motoconformadora, lo más aconsejable es ocupar este equipo. El caso usual es el de que no sea así, por lo que

el extendido y nivelado del material debe hacerse a mano.

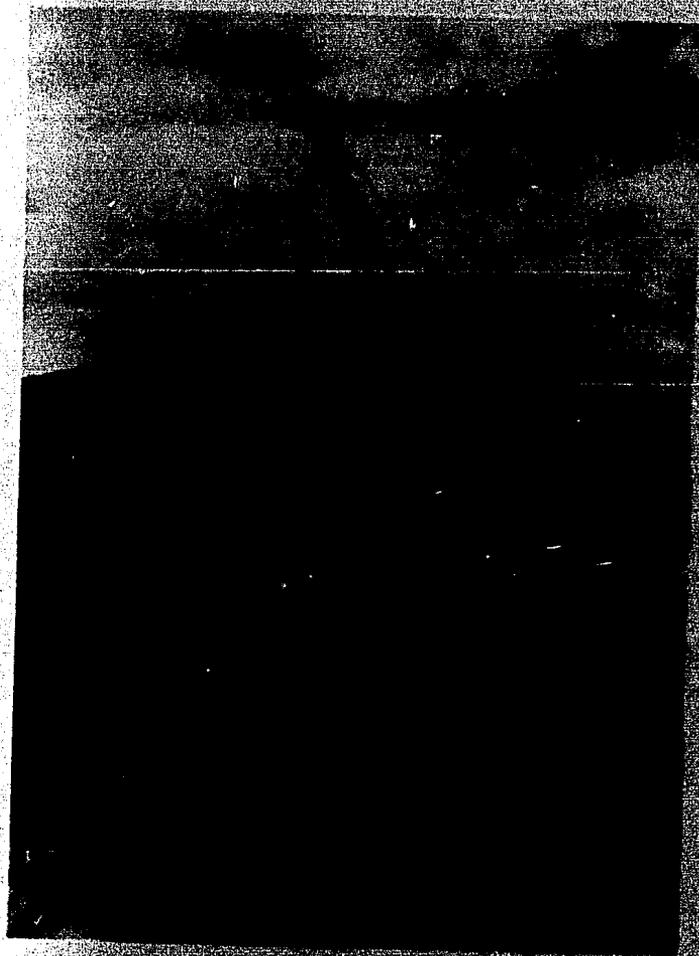
Posteriormente se procederá al compactado de la cama. La calidad de este trabajo debe ser tal que cuando menos se obtenga un 85 por ciento de la compactación de la prueba Próc-tor. En la actualidad, con la existencia de equipos de compactación vibratorios de anchos reducidos, la compactación por medio de pizón de mano es cada vez menos practicada.

En los casos que se tenga el nivel freático arriba del fondo de la zanja, se bombeará continuamente. Una opción que ha dado buenos resultados consiste en la excavación de una pequeña zanja en un extremo del fondo de la excavación ya efectuada, para alojar en ella una tubería de 15 cm perforada que funcionará como dren para la descarga de las aguas a cárcamos de bombeo. Adicionalmente en estos casos se deberán utilizar gravas limpias o balastro para la construcción de la plantilla.

7.5.- Instalación de tubería.

7.5.1.- Equipo. Para esta maniobra, el equipo con el que se descenden y unen los tubos consiste en grúas, marcos, tiende tubos (tractores con pluma lateral), retroexcavadoras, montacargas y tripiés.

a) INSTALACION CON GRUA. Este equipo es el más utilizado. Ya que la capacidad nominal de las grúas se refiere a la máxima del equipo, con la pluma levantada 75°, para la instalación de tuberías se seleccionan equipos con una capacidad nominal mínima de 2.5 veces el peso del tubo.



Instalación de tubería.

- b) **INSTALACION CON TIENDE TUBOS.** Debido al corto alcance de la pluma de este equipo, se es recomendable para diámetros mayores de 1.5 m.
- c) **INSTALACION CON RETROEXCAVADORA.** Puesto que estos equipos no son diseñados para la carga, las retroexcavadoras se utilizan para instalar solo diámetros pequeños. Con ellas se tiene la ventaja de ejecutar los trabajos de excavación e instala-

ción con una sola máquina. En función del tipo de terreno por atacar, el principal problema consistirá en la coordinación de los tiempos en cada actividad y su combinación con el personal y resto del equipo.

d) **INSTALACION CON MARCO.** Este sistema se utiliza en zonas -- donde se tiene poco avance, ya sea por encontrar material difícil de excavar o nivel freático alto en materiales permeables. También es muy utilizado en zonas urbanas donde el ancho de las calles sea reducido o existan cables a baja altura.

El marco deberá ser diseñado para soportar el peso de un tubo en el centro del claro, cargándolo no precisamente vertical, sino con una excentricidad a los lados de hasta 1 m que se puede presentar durante la instalación. Debe tener una luz de cuando menos dos veces el ancho de la cepa más el diámetro exterior del tubo.

e) **INSTALACION CON MONTACARGA.** Aún cuando no es el equipo más recomendable, en algunas ocasiones se tiene la disponibilidad de él, pudiéndose utilizar en la instalación. Aproximadamente a 60 cm del extremo de las uñas se le acondiciona un gancho para la colocación de cables que levanten la tubería. Este sistema requiere cierta pericia y experiencia del operador y personal instalador.

7.5.2.- Sistema de tracción horizontal. Una vez que el equipo instalador baje el tubo a la zanja, éste deberá dejarse suspendido en forma tal que deje totalmente libre el dispositivo de tracción para el enchufe.

El dispositivo deberá aplicar una fuerza horizontal sobre

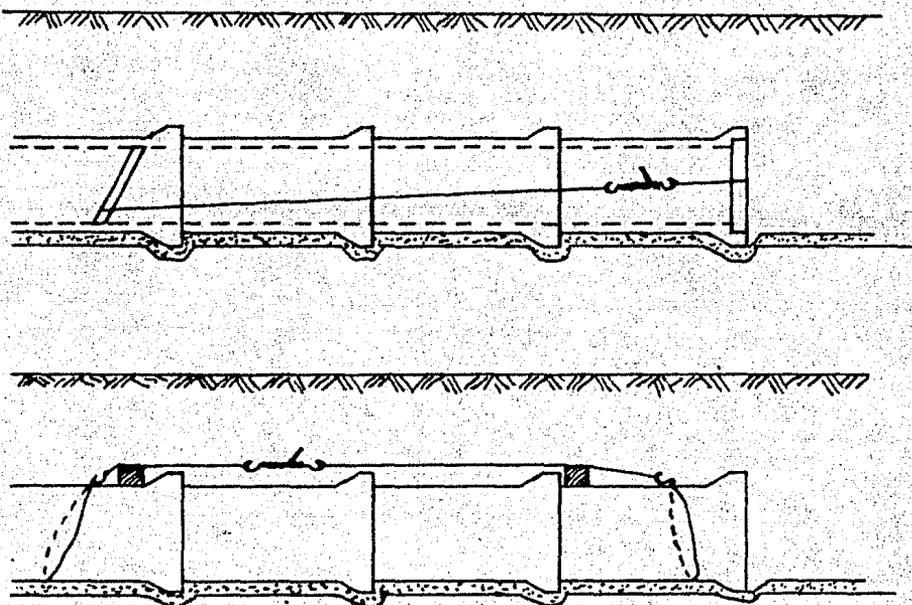
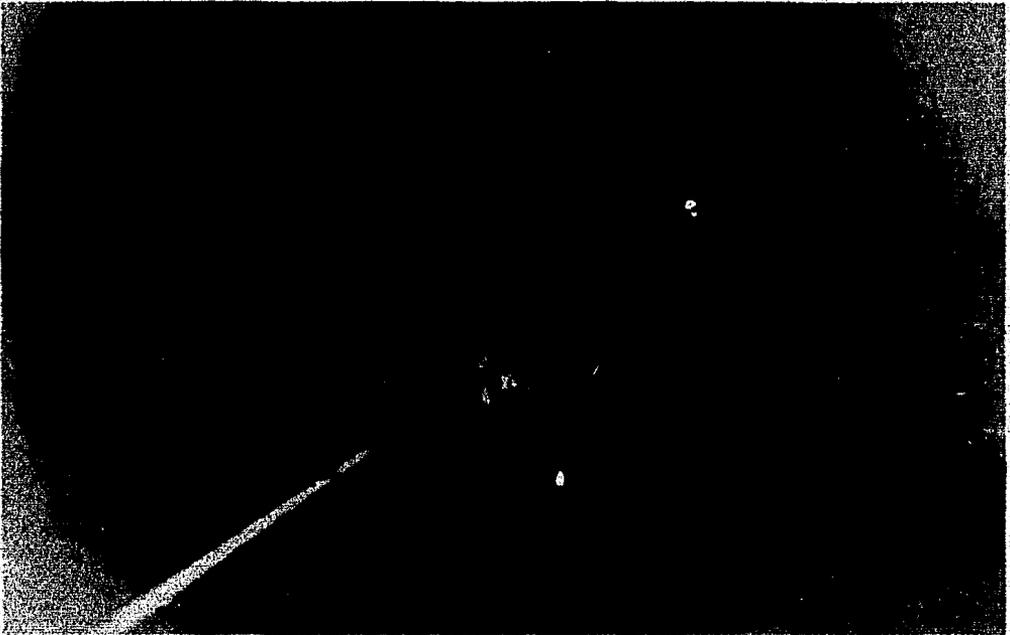


Figura No. 11.- Sistema de tracción interior y exterior.

el tubo que provoque el enchufe. Hay dos maneras de aplicarla, ya sea con la colocación de este equipo interior o exteriormente, de acuerdo con lo expuesto en la figura No. 11. En las tuberías mayores de 90 cm, el sistema interior es el más utilizado; consiste en un tensor de cadena (tecle), cuya capacidad mínima en toneladas deberá ser $1/20$ del diámetro nominal de la tubería en centímetros.

7.5.3.- Trazado del eje de la tubería. A manera de auxiliar en el correcto alineamiento de la tubería por instalar, se traza sobre la plantilla terminada el eje de la tubería con trompo y estaca a cada veint metros.



7.5.4.- Descripción del proceso de instalación. Los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Descenso de la tubería en la zanja y presentación del extremo macho al extremo campana del tubo ya instalado. Cabe mencionar que este proceso es el más sencillo, en sentido inverso, instalar el extremo campana en el macho, es posible aunque más difícil.
- b) Limpieza de los extremos y colocación del anillo de hule en el extremo macho. Estas operaciones se pueden efectuar con anterioridad al descenso del tubo, teniendo así ahorros en los tiempos de instalación.
- c) Lubricación del extremo hembra. Es necesario efectuarla pa

- ra facilitar el enchufe, pero se hace únicamente en los tubos con junta encajonada.
- d) Empuje al tubo hacia el enchufe por efecto pendular con el equipo instalador.
 - e) Colocación del sistema de tracción, comenzando a aplicar la fuerza horizontal.
 - f) Verificación de la correcta posición del anillo con auxilio de un escantillón (figura No. 12).
 - g) Puesta en operación del sistema de tracción al mismo tiempo que el tubo recibe un ligero balanceo en el extremo. Al terminar esta actividad el tubo debe quedar alineado en la zanja y con las aberturas de junta que indique el proyecto. Para provocar las aberturas deseadas, regularmente se utilizan trozos de madera que se colocan dentro de la junta para impedir su cierre total.

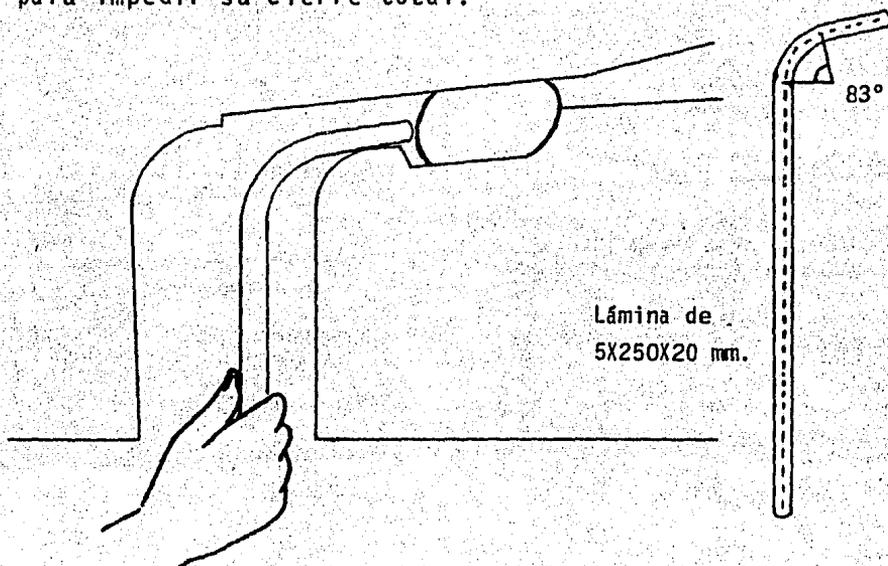
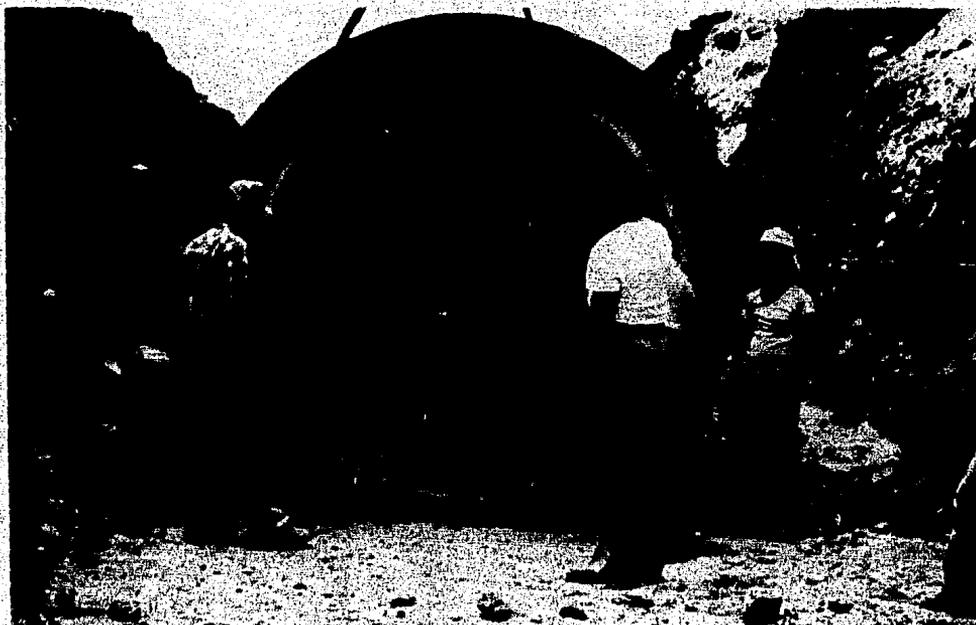


Figura No. 12.- Escantillón para verificar la correcta posición del anillo.

Para alinear la tuberfa, con ayuda de un nivel de albañil se marcará el eje del tubo en la parte inferior y se tirará un reventón tomando como base el eje del tubo anterior y el trompo del trazo existente, haciendo las correcciones necesarias para que el tubo quede alineado con el reventón.

- h) Acuñaamiento del tubo con pizones curvos. Se debe apisonar lateralmente el tubo para asegurar que al ser soltado por la grúa no tenga movimiento.
- i) Una vez acuñado, la grúa o equipo instalador deberá dejar descansar el tubo.



Alineamiento de la tuberfa.

- j) Comprobación de la nivelación y alineamiento del tubo ya -
suelto. En caso necesario se volverá a levantar el tubo pa -
ra hacer los ajustes que procedan.
- k) Retiro de los estrobos, dejando que la grúa pase a tomar -
el siguiente tubo.
- l) Preparación de la cama para el siguiente tubo, con ayuda -
de un reventón al trompo más cercano, considerando el espe -
sor de las paredes del tubo al colocar el reventón en el
trompo. En estos casos se puede tomar en cuenta que el jue -
go entre tubos auxiliará para modificar en lo menos posi -
ble la plantilla existente. Estas operaciones son los ajus -
tes que se requieren debido a la diferencia que normalmen -
te existirá entre el proyecto y la instalación real.

7.6.- Instalación de piezas especiales. .

Con diferencia de las tuberías, algunas piezas especiales deben ser instaladas en una posición específica. En la tee ra -
dial la tapa de la salida debe quedar horizontal. En la tee -
tangencial la tapa de la salida debe quedar vertical. Los co -
dos, biseles y medios biseles deben instalarse en cierta posi -
ción para lograr los cambios de dirección o pendiente desea -
dos.

No es posible obtener lo anterior con el procedimiento de
instalación de tuberías únicamente, además es necesario estro -
bar la pieza de tal forma que al descenderla y presentarla -
quede lo más apegado a la posición deseada; se continúa con
el procedimiento normal y antes del acañamiento se descansa -

la pieza dejando flojo el estrobo y permitiendo una excentricidad en la nueva colocación del mismo para que al volver a levantar, por efecto pendular y con ayuda del peso propio de la pieza, se genere una rotación hasta lograr la posición correcta.

Para comprobar la adecuada instalación de las piezas, en las tees se utiliza el nivel de albañil, colocándolo sobre la tapa de salida.

En los biseles y medios biseles, así como en los codos, un error en la posición generará cambios de pendiente y dirección muy diferentes a lo proyectado, y en algunas ocasiones bastante significativas.

Hay dos maneras de hacerlo. La primera es aplicable a codos de ángulos pequeños. En el sentido longitudinal, se efectúan mediciones directas en el interior de la pieza, localizando la dimensión menor en el lado interno de la curva y la mayor en el lado externo, acorde con la posición indicada en el proyecto se marcará el eje de la tubería con ayuda del nivel de albañil. Esta deberá hacerse de tal forma que coincidan las marcas en el tubo ya instalado y la pieza.

En los codos de grandes ángulos, el desarrollo de las piezas dificulta la medición directa, por lo que no es aplicable la primer opción mencionada. Aún cuando las piezas vienen de fábrica con marcas auxiliares, se han detectado errores en algunas de ellas, por lo que siempre se verificarán en campo.

El método consiste en un control del cumplimiento de las pendientes de proyecto y es aplicable no solo para la instala

ción de codos, sino también para tuberías y sobre todo cuando se desee efectuar cambio de pendiente aprovechando el juego entre tubos.

Se instala la pieza tomando como base las marcas que trae de fábrica, para posteriormente verificar si la pendiente del extremo libre es la de proyecto. Para este efecto se marcará en la parte superior e inferior de la pieza, en su extremo, el eje de la línea; se colocará una plomada a partir del punto superior, midiendo la distancia de la plomada hasta el punto en la parte inferior (figura No. 13). Esta distancia deberá estar de acuerdo con:

$$d = D \operatorname{sen} \alpha$$

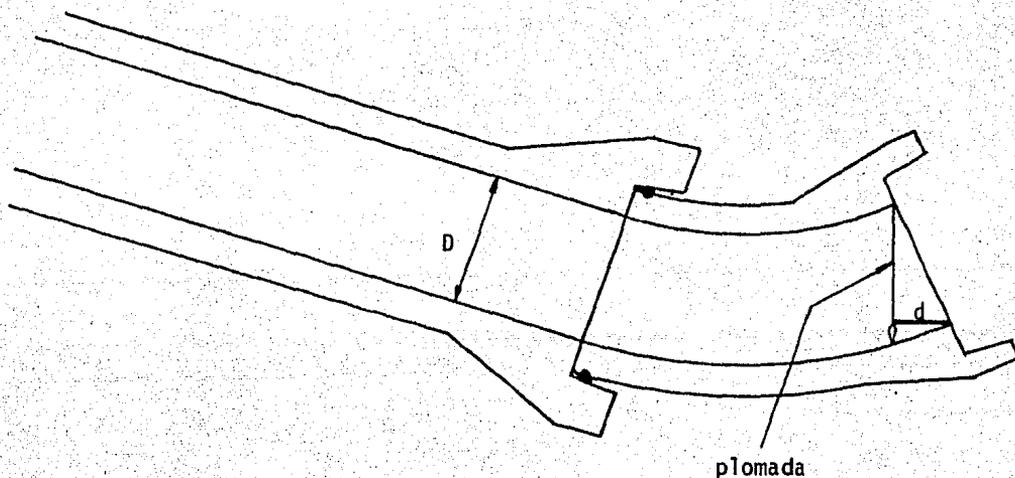


Figura No. 13.- Verificación del cumplimiento de pendientes con auxilio de una plomada.

donde: d = distancia medida del punto de la plomada al eje de la tubería (mm)
 D = diámetro interior de la tubería (mm)
 α = pendiente de proyecto ($\alpha = \tan^{-1} S$)

En caso de que no se cumpla dentro de las tolerancias admitidas con el valor calculado, se procederá al giro de la pieza. En el caso de tuberías se deberá entonces subir o bajar el extremo libre cuidando que las aberturas generadas sean aceptables.

7.7.- Relleno de zanja.

El relleno de zanja debe efectuarse inmediatamente después de la instalación y como máximo debe tenerse una diferencia de dos días de trabajo en el avance. Esto es para evitar la posibilidad de que las lluvias que se presentan alteren la cama de apoyo o provoquen incluso flotación de tubos.

Por alguna causa dicha actividad se ha discriminado, pero aún fuera de la temporada de lluvias, siempre existirá la posibilidad que se presente alguna lluvia esporádica que arruine todo el trabajo efectuado, con su consecuentes pérdidas económicas y de tiempo en los programas constructivos. Es una actividad que se efectuará tarde o temprano, sin embargo, un gran porcentaje de los acueductos construidos han sufrido las consecuencias derivadas por falta de cumplimiento de lo anterior.

Un esquema de las diferentes clasificaciones del relleno, para los casos de tuberías sin cargas o tránsito sobre ellas, se muestra en la figura No. 14.

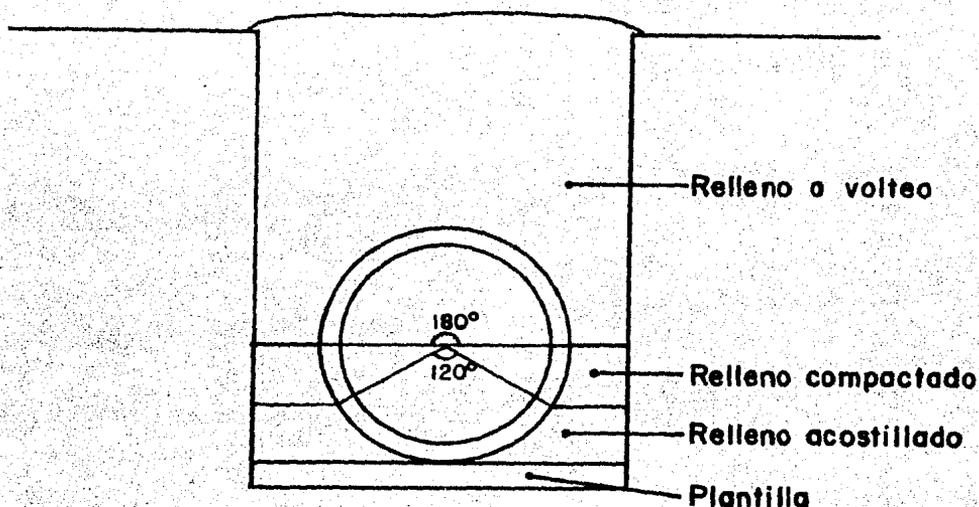


Figura No. 14.- Clasificación de rellenos.

7.7.1.- Relleno acostillado. Hasta antes de efectuar los rellenos, la tubería está apoyada en la plantilla en un área muy limitada. La importancia mayor en el auxilio para el sustento del tubo estará en el relleno hasta los 120°.

Este relleno deberá realizarse inmediatamente después de colocar el tubo, con una compactación mínima del 85 por ciento de la prueba Próctor y con material de las características de la cama de apoyo.

Es necesario el empleo de pizones curvos que compacten la cuña formada entre el tubo y la plantilla.

Por otra parte cabe subrayar la importante función que cumple el agua en las compactaciones; su influencia en la calidad y facilidad para alcanzar la compactación es notable y su utilización prácticamente obligada.

7.7.2.- Relleno compactado. De acuerdo con la figura No. 15, la proyección horizontal de los 120° es de $1.73 r$, mientras que apartir de aquí hasta los 180° aumenta tan solo a $2 r$, o sea en un 16 por ciento. En un análisis similar que considere las áreas expuestas y la fricción tubo-relleno, en este tramo hay un incremento de tan solo un 50 por ciento del área.

Donde se demuestra que en la contribución al sostenimiento del tubo, el relleno de los 120 a los 180° (relleno compactado) no es tan significativa como la del relleno acostillado, y sus principales funciones serán el atracamiento lateral a la tubería para impedir movimientos y la protección que proporciona a las capas inferiores (relleno acostillado y plantilla).

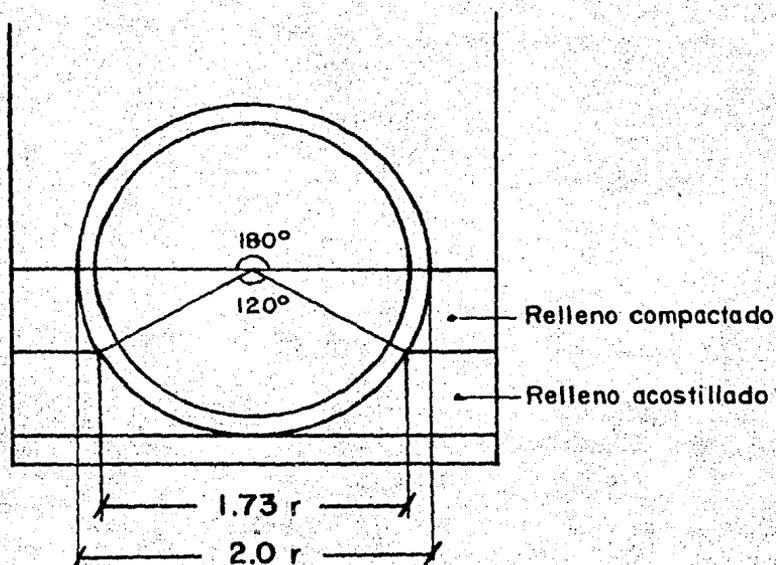


Figura No. 15.- Proyección horizontal de los 120° y 180° .

En este relleno se puede aceptar ligeramente un menor control en el material, pero siempre cumpliendo con un mínimo -- del 85% Próctor. En los casos que se espere circulación de -- vehículos sobre zanja, este relleno compactado se llevará -- hasta arriba, mejorando la compactación en las últimas capas.

7.7.3.- Relleno a volteo. Una vez relleno y compactado hasta los 180°, el resto del relleno no contribuye en el sostenimiento del tubo, por lo que no es necesario efectuar los trabajos de compactación en él.

Adicionalmente, las capas inferiores de este relleno, que son las más cercanas a los rellenos compactos, se consolidarán naturalmente por el peso del material sobre ellas y por la compactación hidráulica generada por las aguas de lluvia que caigan sobre la zanja.

De acuerdo con lo anterior, a partir de los 180°, el relleno no se efectuará a volteo, debiéndose únicamente tener cuidado de no arrojar piedras con sobretamaños que pudieran dañar el tubo mientras que éste no se haya cubierto totalmente.

No se deberán transitar sobre la zanja medios mecanizados, sino hasta que se tenga el colchón suficiente que proteja la tubería de los efectos de peso e impacto.

7.8.- Construcción de atraques.

Los empujes resultantes de las presiones de prueba y de -- trabajo generadas dentro de las tuberías deberán ser contrarrestadas por elementos que las resistan sin que se presenten movimientos en los elementos de la línea, a manera de asegurar

la hermeticidad de la misma.

Debido a su condición simétrica, las presiones internas en las tuberías estándar, que generan esfuerzos en las paredes del tubo, no tienen como resultante alguna fuerza que pudiera provocar movimientos.

Los empujes que pueden generar movimientos se presentarán entonces en elementos no simétricos como los codos, tee, yee, tapones de prueba, reducciones, etc..

En estas piezas los movimientos se evitan mediante la transmisión de los esfuerzos a las paredes de la excavación, con la construcción de atraques. Ya sea por una muy baja capacidad de carga del terreno o por otras razones, eventualmente los movimientos se evitarán mediante la fricción entre el suelo y el atraque o sea, por peso propio de este elemento.

Los atraques pueden ser de concreto ciclopeo, concreto simple o bien con algún refuerzo por temperatura. En el caso de curvas horizontales y verticales, los atraques deben ser calculados para resistir el empuje resultante F.

$$F = 2(A P \gamma) \text{ sen } \alpha/2$$

donde:

F = empuje (ton)

A = área del tubo (m²)

P = presión interna (mH₂O)

γ = peso específico del agua (ton/m³)

α = ángulo de la curva

Con la misma simbología en la figura No. 16 se exponen las fórmulas utilizadas para las tees, yees, codos y reducciones.

Para los casos en que el empuje sea transmitido a las paredes de la excavación, en la tabla No. 5 se exponen valores de

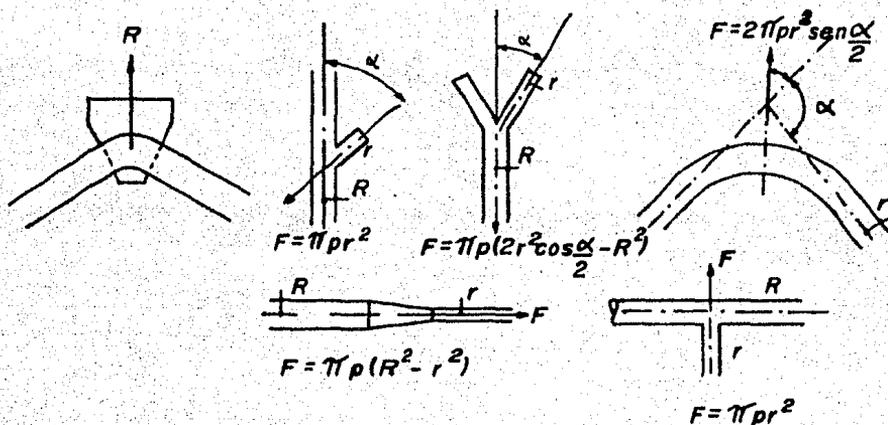


Figura No. 16.- Empujes generados por distintos elementos.

la capacidad de carga de distintos materiales.

Cuando se requiere que los atraques trabajen por peso propio, normalmente es posible considerar un coeficiente de fricción con el suelo del 70 por ciento.

En los casos de codos, cabe mencionar que al construir atraques que abracen las juntas con los tubos adyacentes, se provocarán esfuerzos adicionales que pudieran dañarlos, ya que se elimina el juego entre tubos y con cualquier movimiento ligero, se les obliga a trabajar en forma similar a un voladizo.

Por otra parte, se deberán tener siempre presente los esfuerzos que inducen los atraques sobre el terreno donde se desplantan, si el suelo no resiste dichos esfuerzos convenientemente y se presentan asentamientos, éstos repercutirán sobre los tubos, por lo que no se desplantarán sobre rellenos sueltos o materia-

les saturados, el desplante en los rellenos bien compactados - debe aceptarse con reservas, siendo preferible su construcción sobre terreno natural.

7.9.- Instalación de V.A.E.A. y desfogues.

Para la reparación y mantenimiento de las válvulas de admisión y expulsión de aire se colocan válvulas de seccionamiento que permiten el retiro provisional de estos dispositivos. Por otra parte, debido a que la tubería se encuentra enterrada, es preciso considerar la instalación de carretes que las saquen - arriba del terreno natural, de tal forma que se permita el fácil acceso y correcto drenado de sus cajas de protección.

En los casos de los desfogues, se deben reducir al mínimo - el número de juntas entre la tubería y la válvula de seccionamiento. Es preferible que sean protegidos con una cerca de malla de alambre y no con la construcción de cajas, las que en caso de una fuga, pudiera requerirse hasta su demolición.

7.10.- Prueba hidrostática y llenado de la línea.

El objeto de las pruebas es verificar la calidad de la instalación así como el comportamiento estructural de la tubería, si por alguna circunstancia fue dañada durante las maniobras - de transporte, descarga o bajado a la zanja.

Para proceder al llenado de la tubería, ésta se debe encontrar completamente limpia, por lo que se recomienda que la limpieza se haga a medida que progresa la instalación, al terminar cada jornada de trabajo.

Los tramos y las presiones de prueba fueron determinados anteriormente en el proyecto de instalación. El llenado de la tubería debe ser lento, preferentemente con un gasto que no exceda del 6 por ciento del de diseño de la tubería, vigilando que las válvulas de expulsión de aire se encuentren trabajando correctamente.

Lo descrito en el párrafo anterior, tiene por finalidad permitir la saturación del concreto y su consecuente recuperación de características mecánicas y de impermeabilidad; igualmente se cargarán la plantilla y rellenos, generándose asentamientos en forma progresiva, obteniendo así un mejor comportamiento -- del conjunto.

El proceso de saturación señalado es denominado como "colmatado", el cual tiene especial importancia en tuberías sin camisa de acero. Cabe mencionar que la cantidad de agua requerida para el "colmatado" de una línea donde el concreto se encuentre prácticamente seco, puede llegar hasta el 6 por ciento del peso de la tubería, por lo que este proceso puede absorber hasta el 1 por ciento del volumen de la conducción durante el primer llenado.

Es imprescindible estimar el orden progresivo del llenado - total de las válvulas de aire y desfuegos. Ya que se pueden conocer los volúmenes de agua necesarios para cada tramo y el - gasto de llenado, se puede hacer intervenir el factor tiempo - en los cálculos.

Con auxilio de la tabla de llenado, la cual indicará la ubicación aproximada del agua en todo momento, se deberán hacer -

recorridos para localizar posibles fugas, que normalmente se identifican por un asentamiento en el terreno.

Una vez que la tubería se encuentre completamente llena, expulsado todo el aire y efectuado el colmatado, se puede proceder a la prueba hidrostática.

Con auxilio de una bomba manual o de gasolina pequeña, se eleva la presión hasta llegar a la de prueba, la que se mantendrá durante 24 horas cuantificando la cantidad de agua necesaria para tal efecto, realizando continuos recorridos de revisión a la línea, así como al comportamiento de los atraques.

Deberá consultarse a los fabricantes la cantidad de agua de pérdida permisible para considerar aprobado el tramo. En términos generales, es aceptable para cualquier diámetro una pérdida de una milésima parte del volumen de agua necesario para llenar la línea.

B.- CONCLUSIONES.

Para el total desarrollo de los temas tratados, sería necesaria la exposición de un considerable volumen de información, que es difícil abarcar en forma completa; sin embargo, ella se encuentra claramente explicada en los libros técnicos de ingeniería hidráulica y ambiental (sanitaria), por lo que no se ha pretendido presentar una réplica de ellos, sino abarcarlos de una manera somera, que sirva como base para mencionar aspectos prácticos, no incluidos en los libros pero igualmente significativos.

Sobre los aspectos, estudios, proyectos y construcción de acueductos con tuberías de concreto presforzado, se han tocado los puntos de interés práctico considerados como más importantes.

Este trabajo es un compendio de las experiencias adquiridas durante los estudios, proyectos y construcción en el -- acueducto Linares-Monterrey, donde el autor tuvo la oportunidad de participar durante tres años, primero como Residente de Estudios y Proyectos, y posteriormente como Residente de Construcción.

Para la ejecución de los trabajos relativos al acueducto - en construcción que abastecerá de agua a la Cd. de Monterrey, se ha tenido la intervención de un gran número de ingenieros especialistas en el área, por lo que la principal utilidad de esta tesis, se basa en la exposición de la metodología aplicada en dicho acueducto, a manera de que sea tomada en cuenta - para la elaboración de futuros proyectos; sin embargo, cabe - aclarar que en muchos casos, se incluyen consideraciones e - ideas exclusivas del autor.

T A B L A S

TABLA No. 1.- Dotación específica (en litros por habitante y por día)

POBLACION DE PROYECTO (habitantes)	TIPO DE CLIMA		
	Cálido	Templado	Frío
De 2,500 a 15,000	150	125	100
De 15,000 a 30,000	200	150	125
De 30,000 a 70,000	250	200	175
De 70,000 a 150,000	300	250	200
De 150,000 o más	350	300	250

TABLA No. 2.- Velocidades máximas permisibles para evitar erosión en las tuberías.

TIPO DE TUBERIA (MATERIAL)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)
De concreto simple hasta 45 cm	3.0
De concreto reforzado de 60 cm y mayores	3.5
De asbesto cemento	5.0
De acero galvanizado	5.0
De fierro fundido	5.0
De acero sin revestimiento	5.0
De acero con revestimiento	5.0
De polietileno	5.0
De P.V.C. (cloruro de polivinilo)	5.0

TABLA No. 3.- Valores de los coeficientes C y n para el cálculo de pérdidas de carga con las fórmulas de Hazen-Williams y Manning.

MATERIAL	C	n
Asbesto cemento	140	0.010
Concreto liso	135	0.012
Concreto áspero	120	0.016
Acero galvanizado	125	0.014
Fierro fundido (nuevo)	130	0.013
Acero soldado sin revestimiento	120	0.014
Acero soldado con revestimiento	130	0.011
Plástico P.V.C.	150	0.009
Madera cepillada o en duelas	120	0.011

**TABLA No. 5.- Capacidad de carga de distintos materiales,
para el cálculo de atraques.**

<u>M A T E R I A L</u>	<u>CAPACIDAD</u>
Arena de media a alta compacidad, cementada	3 a 4 kg/cm ²
Arena de media a alta compacidad, no cementada	1.5 a 3 "
Arena de baja compacidad	0.4 a 0.8 "
Limo de mediana a alta compacidad	0.8 a 1.2 "
Limo de baja compacidad	0.3 a 0.5 "
Arcillas compactas	0.5 a 1 "
Arcillas plásticas	menos de 0.3 "

EJEMPLO DE PROYECTO DE INSTALACION.

PROYECTO DE INSTALACION del Km 0+000 al Km 0+615.26 HOJA _____

P.E	T.S.	DESCRIPCION	L.U.	L.T.	$s = \tan \alpha$	α	$C\alpha$	Cx	KM	Cy	COTA	Observaciones
						0.0			0+000		56.150	Obra de toma
1		Ex L	1.40	1.40	-0.0215	1.232	-1.232	0.0	0+001.40	-0.030	56.120	
	15	T.S.	7.00	105.0	-0.0215	1.232	0.0	-0.021	0+106.576	-2.257	55.863	
1		Codo 22.5° (E)	0.54	0.54	-0.0215	1.232	0.0	0.0	0+106.916	-0.012	53.851	Cambio dirección PI Km 0+107.05
		Codo 22.5° (C)	0.58	0.58	-0.0215	1.232	0.0	0.0	0+107.496	-0.012	53.839	
	2	T.S.	7.0	14.00	-0.0215	1.232	0.0	-0.003	0+121.493	-0.301	53.538	
1		Bisel 40°30'	0.524	0.524	-0.100	5.711	-4.479	-0.003	0+122.014	-0.052	53.486	
	1	T.S. JA ↓ 0.5°	7.0	7.0	-0.0913	5.215	0.496	-0.029	0+128.935	-0.636	52.850	
	6	T.S.	7.0	42.00	-0.0913	5.215	0.0	-0.174	0+170.811	-3.818	49.032	
1		Codo 7°30' (E)	0.234	0.234	-0.0913	5.215	0.0	-0.001	0+171.044	-0.021	49.011	
		Codo 7°30' (C)	0.274	0.274	0.040	2.291	7.506	0.0	0+171.318	0.011	49.022	
	1	T.S.	7.0	7.0	0.040	2.291	0	-0.006	0+170.512	0.280	49.302	
1		Tee rad φ 24"	1.40	1.40	0.040	2.291	0.0	-0.001	0+179.711	0.066	49.358	DEFOQUE
	15	T.S.	7.00	105.0	0.040	2.291	0.0	-0.084	0+284.627	4.197	53.556	
1		1/2 bisel 2°15'	0.432	0.432	-0.001	0.041	-2.332	0	0+285.059	0.0	53.556	
1		Tee rad. φ 24"	1.40	1.40	-0.001	0.041	0.0	0	0+286.459	-0.001	53.555	V. A. E. H.
	1	T.S. J.A. ↑ 0.5°	7.0	7.0	-0.010	0.57	-0.529	0	0+293.459	-0.07	53.485	
	1	T.S. J.A. ↑ 0.5°	7.0	7.0	-0.018	1.031	-0.461	-0.001	0+300.459	-0.126	52.359	
	1	T.S. J.A. ↑ 0.5°	7.0	7.0	-0.027	1.547	-0.516	-0.003	0+307.455	-0.189	53.170	
	44	T.S. ↓ 1° J.A. ↑ 0.5°	7.0	308.0	-0.036	2.062	-0.515	-0.199	0+615.256	-11.082	42.087	
7	87	-	-	615.784	-	-	-2.062	-0.528	-	-14.063	-	S U M A S

Verificaciones: $Km_p = (0+000) + 615.784 - 528 = 615.256 \text{ Km}$; $Cota_d = 56.15 - 14.063 = 42.087 \text{ m}$; $C\alpha = 0.0 - 2.062 = -2.062 \text{ m}$

B I B L I O G R A F I A

- J. M. de Azevedo: Manual de hidráulica; Editorial Harla, (1979).
- A. Bueno C.: Elementos de Ingeniería Sanitaria; Publicación de la SARH en coordinación con el IPN, (1981).
- Compañía Mexicana de Concreto Presforzado, S. A.: Información técnica e instalación; Folleto.
- Compañía Mexicana de Concreto Presforzado, S. A.: Estudio sobre la durabilidad del concreto; Folleto.
- U. Gutierrez B.: Abastecimiento de agua potable; UNAM, (1979).
- Ingeniería de Construcciones Hidráulicas, S. A.: Manual de Instalación; Folleto.
- G. Maskew, J. Charles, D. Alexander: Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales, Volúmen 1; Editorial Limusa, (1979).
- M. Montes de Oca: Topografía; Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A., (1979).
- R. L. Peurifoy: Métodos, planeamientos y equipos de construcción; Editorial Diana, (1978).
- G. Sotelo A.: Hidráulica General, fundamentos; Editorial Limusa, (1979).
- Tubos y Elementos Presforzados, S. A.: Manual Provisional; Folleto.