

COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE

SUBCOORDINACIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA

Informe Final del Proyecto Interno
RD-1105.1

ESTADO DEL ARTE SOBRE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES ENTUBADAS DE RIEGO

M.I. RAFAEL ESPINOSA MÉNDEZ

Jefe de Proyecto

M.C. JUAN MANUEL ÁNGELES HERNÁNDEZ

M.I. MARIO A. MONTIEL GUTIÉRREZ

M.C. PEDRO PACHECO HERNÁNDEZ

M.C. EFRÉN PEÑA PEÑA

ING. JOSÉ ÁNGEL GUILLÉN GONZÁLEZ

M.C. JOSÉ RAMÓN LOMELÍ VILLANUEVA

M.A. MARÍA DOLORES OLVERA SALGADO

DR. ARTURO GONZÁLEZ CASILLAS

M.C. JUAN CARLOS HERRERA PONCE

Participantes

Jiutepec, Morelos, 2011

Directorio

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Director General

Dr. Polioptro F. Martínez Austria

Coordinador de Tecnología de Riego y Drenaje

M.C. Fernando Fragoza Díaz

Subcoordinador de Operación y Mantenimiento de Infraestructura Hidroagrícola

Dr. Arturo González Casillas

Jefe de Proyecto

M.I. Rafael Espinosa Méndez

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	2
III. RESULTADOS ESPERADOS	3
IV. METODOLOGÍA	4
V. DESARROLLO	5
5.1 Revisión bibliográfica	5
5.2 Índice maestro y encuestas de diagnóstico	10
5.3 Visitas técnicas.....	14
5.4 Integración y análisis de información	17
VI. RESULTADOS	20
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21

ÍNDICE DE CUADROS

5.1 Páginas WEB consultadas.....	6
5.2 Visitas técnicas a las organizaciones de usuarios de riego	15

ÍNDICE DE FIGURAS

5.1 Búsqueda de información en el CENCA del IMTA.....	8
5.2 Resultados de búsqueda en bases de datos internacionales	8
5.3 Resultados de búsqueda en bibliotecas.....	9
5.4 Resultados de búsqueda: Presentaciones de empresas	9
5.5 Encuesta para “Usuarios”.....	13
5.6 Hoja de cálculo para el análisis de información de las encuestas	14
5.7 Captura de encuestas	18
5.8 Manual sobre “Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego”	19

ÍNDICE DE FOTOS

5.1 Aplicación de encuestas.....	16
5.2 Recorridos de campo	17

I. INTRODUCCIÓN

En México existen 85 Distritos de Riego (DR) y alrededor de 39,492 Unidades de Riego (UR), que cuentan con infraestructura hidroagrícola para la distribución del agua a las zonas de cultivo. Únicamente en los DR se tiene una longitud de 57,742 km de canales en donde se estima una eficiencia de conducción promedio del 60%; parte de la problemática de esta infraestructura son las fuertes pérdidas de agua ya que la mayor parte de los canales se encuentran excavados en tierra, falta de mantenimiento, presencia de basura, entre otros factores.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para promover el uso eficiente del agua ha implementado en los Programas de Rehabilitación y Modernización de las zonas de riego acciones estructurales como el revestimiento o entubamiento de las redes de conducción y distribución de las zonas de riego. Paulatinamente el entubamiento de los canales en las zonas de riego ha tenido un incremento significativo, derivado de la disminución de los costos de adquisición e instalación, la durabilidad y principalmente por la optimización de la conducción y distribución del agua de riego, en donde se alcanzan eficiencias de conducción de hasta el 98%.

Actualmente son 35 Distritos de Riego que han avanzado en el entubamiento de canales con una longitud de 943 km, que representa el 7.82% de su infraestructura de distribución, destacando los DR 034-Estado de Zacatecas, 060-El Higo, 028-Tulancingo, 103-Río Florido, 048-Estado de Yucatán, 013-Estado de Jalisco, 008-Metzitlán, 083-Papigochic, 076-Valle del Carrizo, 005-Delicias, 001-Pabellón y 011-Alto Río Lerma.

En este contexto, con la finalidad de proporcionar una herramienta de consulta al personal técnico de las instituciones y especialmente de las organizaciones de usuarios que operan directamente la infraestructura de riego, en el presente trabajo se plantea la revisión del estado del arte sobre la operación y mantenimiento de las redes entubadas, en donde se plasmará en un documento maestro los principales lineamientos que permitan eficientar el uso de esta tecnología para optimizar los recursos naturales, económicos y técnicos de las zonas de riego.

II. OBJETIVO

- Obtener el estado del arte de los sistemas conducción y distribución con tuberías.

III. RESULTADOS ESPERADOS

- Documento con estado del arte sobre operación y mantenimiento de redes entubadas de conducción y distribución del agua de riego.

IV. METODOLOGÍA

1. Revisión bibliográfica sobre la operación y mantenimiento de redes entubadas de agua de riego, en donde se consultarán bases de información nacional e internacional, documentales y bibliotecas de los principales centros de estudios e investigación del país, etc.
2. Elaboración del índice del documento maestro y de las encuestas de diagnóstico de la instalación, operación y mantenimiento de tuberías de conducción y distribución en zonas de riego, en donde participará personal técnico con experiencia en diseño, operación y mantenimiento de canales y sistemas de riego.
3. Visitas técnicas a DR representativos para obtener información documental, testimonial, fotográfica y de video sobre la problemática y perspectivas en la operación y mantenimiento de las redes entubadas incluyendo su costo de instalación, operación y mantenimiento. Se aplicarán las encuestas de diagnóstico a personal técnico operativo de los DR y Asociaciones Civiles de Usuarios (ACU).
4. Integración y análisis de la información bibliográfica y de campo para elaborar el documento maestro con base en el índice definido. Se analizarán las encuestas para definir el grado de detalle de cada tema del índice.
5. Revisión, corrección de estilo y edición del documento maestro.
6. Informe final donde se indiquen los resultados del estado del arte sobre la operación y mantenimiento de las redes entubadas de agua de riego.

V. DESARROLLO

5.1 Revisión bibliográfica

En reuniones de trabajo con los colaboradores del proyecto y personal técnico de la Universidad Autónoma Chapingo, se elaboró un índice temático base, con la finalidad de acotar la búsqueda de información sobre el estado del arte en operación y mantenimiento de redes entubadas en zonas de riego.

Se procedió a realizar el trabajo de gabinete, consistente en la búsqueda de información que se centró en las siguientes fuentes:

- a) Primarias editadas: Libros, revistas especializadas, normas, patentes, etc.
- b) Primarias inéditas: Tesis, informes científico-técnicos (informes de proyectos), etc.
- c) Secundarias: Catálogos de bibliotecas, bases de datos factuales, referenciales y/o de texto completo a nivel nacional e internacional, etc.
- d) Información científica en línea: Utilización de buscadores de información en Internet, bibliotecas nacionales, universitarias, especializadas, digitales, etc.

Específicamente los sitios y fuentes de información consultadas fueron:

- Bibliotecas
 - Centro de Consulta del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
 - Bibliotecas departamentales de irrigación, fitotecnia, suelos, maquinaria agrícola y biblioteca central de la Universidad Autónoma Chapingo.
 - Bibliotecas de la Facultad de Ingeniería y Central de la Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Biblioteca central del Colegio de Posgraduados.
- Internet

En el cuadro 5.1 se muestra un resumen de las páginas WEB consultadas

Cuadro 5.1 Páginas WEB consultadas

Categoría	Nombre	Dirección WEB
General	Alltheweb	http://www. Alltheweb.com
	Altavista	http://mx. Altavista.com/
	Ask	http://es.ask.com/?o=312&l=dir
	Cuil	http://www.cuil.com
	Google	http://www.google.com.mx/
Académicos	HighBeam Research	http://www. highbeam .com/web/
	Google academic	http://www.scholar.google.es/
Directorios	Scirus – For scientific information only.	http://www.scirus.com/
	Beaucoup	http://www.beaucoup.com
	Buscopio	http://www.buscopio.net.esp/
	DevilFinder	http://www.devilfinder.com/
	Google directorio	http://www.Google.es/dirhp?hl=es
	Internet invisible.com	http://www.internetinvisible.com/iiindex.php
Bibliotecas nacionales	Instute	http://www.intute.ac.uk/
	Search Engine Colossus	http://www.searchenginecolossus.com
	Biblioteca Nacional de México	http://biblional.bibliog.unam.mx/bibn/
	Biblioteca Nacional de España	http://www.bne.es/es/inicio/index.html
	Bibliothèque nationale de France	http://www.bnf.fr/fr/acc/x.accueil.html
	The British Library	http://www.bl.uk/
	Library and archives Canada	http://www.collectionscanada.gc.ca/index-e.html
Bibliotecas universitarias	Library and of Congress	http://www.loc.gov/index.html
	Catálogo Nacional de Bibliotecas Académicas (México)	http://132.248.9.11/cgi-bin/nacional/multibase.pl
	Dirección General de Bibliotecas – UNAM (México)	http://www.dgb.unam.mx
	McGill University (Canadá)	http://www.mcgill.ca/library/
	MIT Libraries (Estados Unidos)	http://libraries.mit.edu
	Red de Bibliotecas Universitarias (REBIUN – España)	http://www.rebiun.org/bibliotecas.html
	Red de Bibliotecas ECOES (Espacio Común de Educación Superior – México)	http://132.248.9.11/cgi-bin/ecoes/multibase.pl
	The University of California Libraries (Estados Unidos)	http://librariesuniversityofcalifornia.edu/
	University of Toronto Libraries (Canadá)	http://www.library.utoronto.ca/home/

Categoría	Nombre	Dirección WEB
Bibliotecas especializadas	Centro de Conocimiento del Agua – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Centro de Investigación Científica y de educación Superior de Ensenada EPA National Library Network Linda Hall Library of Science, Engineering and Technology National Agricultural Library Red de Bibliotecas del Consejo superior de Investigaciones Científicas (España) U.S. Geological Survey Library	http://cenca.imta.mx http://biblioteca.cicese.mx http://www.epa.gov/natlibra/ http://www.lindahall.org/ http://www.nal.usda.gov/ http://bibliotecas.csic.es http://library.usgs.gov/
Bibliotecas digitales	Biblioteca Digital Mundial IRC Digital Library Red Abierta de Bibliotecas Digitales	http://www.wdl.org/es/ http://www.irc.nl/docsearch/search http://ict.udlap.mx/rabid/
Base de datos de acceso libre – Publicaciones periódicas	Base de datos UNESDOC Consejo Superior de Investigaciones Científicas Directory of Open Access Journals (DOAJ) Eolex E-Journal Electronic Journal Library E-Revistas Índice de revistas mexicanas de investigación científica y tecnológica RedALyC	http://www.unesco.org/new/es/unesco/resources/online-materials/publications/unesdoc-database/ http://www.csic.es/web/guest/bases-de-datos http://www.doaj.org/ http://www..ecolex.org/start.php http://www.Ejournal.unam.mx/index.html http://rzblx1.uni-regensburg.de/ezeit/index.phtml?bibid=AAAAA&colors=7&lang=en http://www.Erevistas.csic.es/ http://www.conacyt.mx/Indice/index:Indice.html http://redalyc.uaemex.mx

Para la búsqueda se utilizaron todas las combinaciones posibles de palabras clave con referencia a la operación y mantenimiento de redes entubadas de riego (figura 5.1), en donde se encontró información muy diversa.

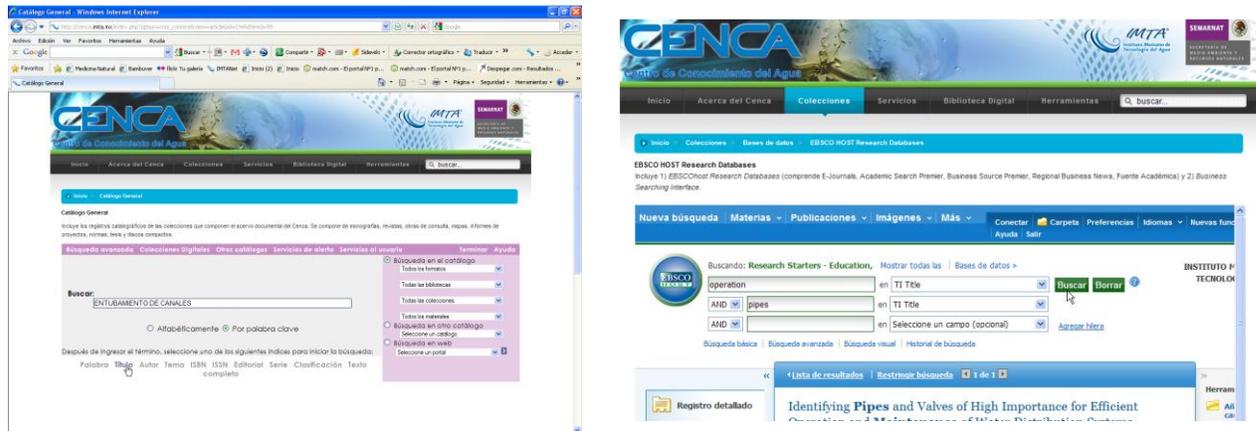


Figura 5.1 Búsqueda de información en el CENCA del IMTA

Se procedió a sistematizar y revisar los abstracts o resúmenes de las citas encontradas, con la finalidad de depurar la información útil con relación a la temática mencionada.

En las figuras 5.2, 5.3 y 5.4, se muestran ejemplos de la información encontrada (tesis, capítulos de libros, artículos en revistas, presentaciones de empresas, catálogos de empresas, libros impresos, proyectos, etc.) y en el anexo digital **A.D.-1 "Información bibliográfica"**, se proporciona la documentación digital consultada.

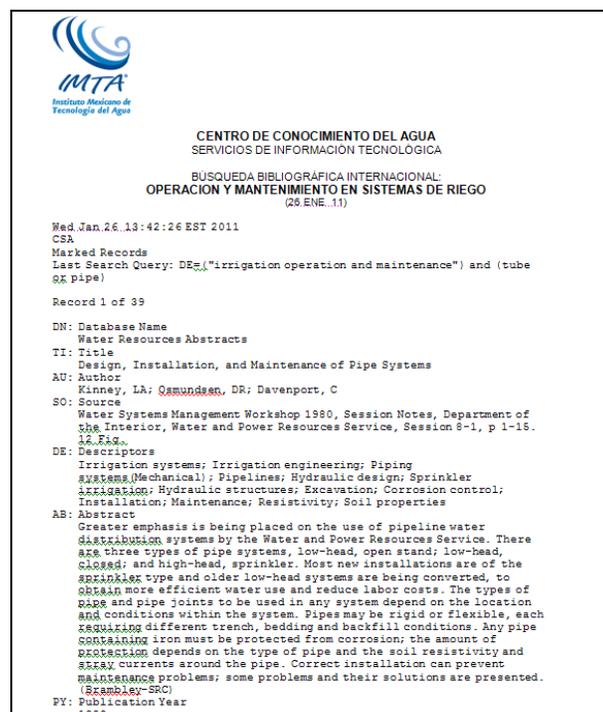


Figura 5.2 Resultados de búsqueda en bases de datos internacionales

REVISIÓN DOCUMENTAL SOBRE ESTADO DEL ARTE DE REDES ENTUBADAS (CENCA)	
Autor Corporativo	Consortio de Ingeniería Integral S.A. de C.V.
Título / Mención de Responsabilidad	Entubamiento de escurrimientos de los manantiales La Ciénega y Palo Escrito, Modalidad particular / M en C. Teresa Avedoy Corona. [recurso electrónico]
Pie de imprenta	México, Morelos, El promovente, 2009
Descripción	Un CD-ROM, 26 archivos 17.8 MB
Clasificación local	EID 005796
Serie	[17.MO2009HD010: JFPI]
Nota general	DEGIRA0908367
Nota de contenido	MIA Modalidad particular y planos.
Nota de Resumen	Es una obra nueva que contempla el entubamiento de aguas de un tramo del Apantle palo Escrito y la Ciénega dicho tramo atraviesa el Fraccionamiento "Paraiso Country Club.
Materia	Coordenadas: X = 479 800 ; Y = 2 082 800
Materia Nombre Geográfico	Emiliano Zapata, Morelos.
Materia local	Sector: Primario. Subsector: Hidráulico. entubamiento de río.
Liga electrónica	Consulta la situación del trámite.
Autor Secundario	Ángeles Hernández, Juan Manuel
Título / Mención de Responsabilidad	Entubamiento de la conducción del agua de riego del tramo San Alejo-Pilcaya y tecnificación del riego de la unidad de riego de Pilcaya, estado de Guerrero : RD-0769.3 / Juan Manuel Ángeles Hernández... [et al.]
Pie de imprenta	Jiltepec, Mor. : IMTA, Coordinación de Riego y Drenaje. Subcoordinación de Ingeniería de Riego, 2008.
Descripción	173 p. : il., gráfs., tablas.
Clasificación local	P 3046
Serie	[Coordinación de Riego y Drenaje : RD-0769.3]
Bibliografía	Incluye bibliografía: p. 91.
Materia	Riego Redes de distribución de agua Tecnología Informes de proyectos
Materia Nombre Geográfico	México [Pilcaya, Guerrero]
Materia local	Unidades de riego

Figura 5.3 Resultados de búsqueda en bibliotecas



Figura 5.4 Resultados de búsqueda: Presentaciones de empresas

5.2 Índice maestro y encuestas de diagnóstico

En reuniones de trabajo con especialistas en el tema, se elaboraron y analizaron varias propuestas del contenido del manual, quedando finalmente el índice siguiente:

Introducción.

1. Red entubada colectiva de riego.

- 1.1 *Generalidades.*
 - 1.1.1 *Tipos de redes.*
 - 1.1.2 *Red colectiva de riego.*
- 1.2 *Tipos de entubamiento.*
 - 1.2.1 *Entubado operando como canal.*
 - 1.2.2 *Red entubada con energía potencial.*
 - 1.2.3 *Red entubada con bombeo.*
- 1.3 *Tomas parcelarias.*
 - 1.3.1 *Toma parcelaria con descarga a la atmósfera.*
 - 1.3.2 *Toma parcelaria de baja presión.*
 - 1.3.3 *Toma parcelaria de alta presión.*

2. Materiales de redes entubadas y sus dispositivos.

- 2.1 *Tuberías.*
 - 2.1.1 *Acero.*
 - 2.1.2 *Concreto simple.*
 - 2.1.3 *Concreto reforzado.*
 - 2.1.4 *Asbesto-cemento.*
 - 2.1.5 *Cloruro de polivinilo (PVC).*
 - 2.1.6 *Cloruro de polivinilo biorientado dúctil (PVC-O).*
 - 2.1.7 *Polietileno de alta densidad (PEAD).*
 - 2.1.8 *Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).*
 - 2.1.9 *Hierro dúctil.*
- 2.2 *Estructuras y sus dispositivos.*
 - 2.2.1 *Estructuras o dispositivos de regulación.*
 - 2.2.2 *Estructuras o dispositivos de protección.*
 - 2.2.3 *Estructuras o dispositivos de cruce.*
 - 2.2.4 *Estructuras o dispositivos de medición.*

3. Elementos de un proyecto de entubamiento.

- 3.1 *Memoria descriptiva.*
 - 3.1.1 *Información general.*
 - 3.1.2 *Fuente de abastecimiento y obra de aprovechamiento.*
 - 3.1.3 *Red de conducción y distribución.*
- 3.2 *Memoria de cálculo.*
- 3.3 *Planos.*

- 3.4 *Catálogo de conceptos de obra.*
- 3.5 *Especificaciones técnicas.*
- 3.6 *Instructivo de operación y mantenimiento.*

4. Operación de una red entubada.

- 4.1 *Generalidades.*
- 4.2 *Planeación de la operación.*
- 4.3 *Programación para la distribución del agua.*
 - 4.3.1 *Método de demanda controlada o pedido programado.*
 - 4.3.1.1 *Programa de riego por hidrante.*
 - 4.3.1.2 *Programa de riego por línea.*
 - 4.3.1.3 *Programa de riego por módulo o distrito de riego.*
- 4.4 *Operación de la red entubada.*
 - 4.4.1 *Consideraciones generales.*
 - 4.4.2 *Operación de redes a baja y alta presión.*
 - 4.4.2.1 *Operación de una red conectada a un canal.*
 - 4.4.2.2 *Operación de una red conectada a una presa de almacenamiento derivadora a descarga presurizada.*
 - 4.4.3 *Regulación de la presión.*
 - 4.4.4 *Problemas especiales en la operación de redes entubadas.*
- 4.5 *Medición del agua.*
 - 4.5.1 *Dispositivos con sensor de velocidad.*
 - 4.5.2 *Aforo en tuberías de multicompuertas.*
- 4.6 *Seguimiento y evaluación de la operación.*
- 4.7 *Perfil del personal de operación.*

5. Planeación del mantenimiento de una red entubada.

- 5.1 *Generalidades.*
 - 5.1.1 *Deterioro de tuberías.*
 - 5.1.2 *Fuerzas y esfuerzos que actúan en la tubería.*
 - 5.1.3 *Corrosión en tuberías de metal.*
- 5.2 *Mantenimiento de tuberías y sus dispositivos.*
 - 5.2.1 *Conceptos de trabajo.*
 - 5.2.2 *Inventario de infraestructura.*
 - 5.2.3 *Diagnóstico y cuantificación de cantidades de obra.*
 - 5.2.4 *Tiempo de ejecución de los trabajos.*
 - 5.2.5 *Necesidades de maquinaria, equipo y personal.*
 - 5.2.6 *Programa de mantenimiento y conservación.*
 - 5.2.7 *Seguimiento y evaluación de los trabajos.*
 - 5.2.8 *Perfil del personal de mantenimiento.*

6. Mantenimiento de una red entubada de riego y sus dispositivos.

- 6.1 *Generalidades.*
- 6.2 *Técnicas de reparación de tuberías.*

- 6.2.1. *Recubrimientos no estructurales.*
 - 6.2.1.1 *Recubrimientos con mortero-cemento.*
 - 6.2.1.2 *Recubrimientos con resina epóxica.*
 - 6.2.1.3 *Recubrimientos blandos.*
- 6.2.2 *Recubrimientos estructurales.*
 - 6.2.2.1 *Recubrimientos con manguera ajustable.*
 - 6.2.2.2 *Métodos de revestimiento deslizable.*
 - 6.2.2.3 *Revestimiento con rodillos corredizos.*
- 6.3 *Técnicas de reemplazo de tuberías.*
 - 6.3.1 *Métodos hydros “extracción hidráulica de tubos”.*
 - 6.3.2 *Métodos de extracción de tubos de servicio.*
 - 6.3.3 *Proceso tubo dentro de tubo.*
 - 6.3.4 *Proceso de fracturamiento (tubo a tubo).*
- 6.4 *Técnicas de limpieza de tuberías.*
 - 6.4.1 *Limpieza hidráulica.*
 - 6.4.2 *Cepillado de tuberías.*
 - 6.4.3 *Limpieza con aire.*
 - 6.4.4 *Raspado de tuberías.*
- 6.5 *Técnicas de control de corrosión.*
- 6.6 *Mantenimiento de tuberías, estructuras y dispositivos de redes entubadas en zonas de riego de México.*
 - 6.6.1 *Mantenimiento y rehabilitación de tuberías.*
 - 6.6.1.1 *Reparación de fugas.*
 - 6.6.1.2 *Cambio de tubería por rotura.*
 - 6.6.1.3 *Desazolve.*
 - 6.6.1.4 *Taponamiento.*
 - 6.6.1.5 *Aplicación de pinturas o resinas.*
 - 6.6.2 *Mantenimiento y rehabilitación de estructuras y dispositivos.*
 - 6.6.2.1 *Cambio de empaques, componentes y dispositivos.*
 - 6.6.2.2 *Desazolve.*
 - 6.6.2.3 *Extracción de basura y maleza.*
 - 6.6.2.4 *Mantenimiento de rejillas.*
 - 6.6.2.5 *Aplicación de pinturas, resinas y grasas.*
 - 6.6.2.6 *Rehabilitación de obra civil.*
 - 6.6.2.7 *Limpieza de dispositivos (válvulas).*

7. Costos de operación y mantenimiento en redes entubadas.

- 7.1 *Generalidades.*
- 7.2 *Estimación de costos (presupuestos) de operación y mantenimiento.*
- 7.3 *Precios unitarios.*
- 7.4 *Estimación de la cuota de operación y mantenimiento.*
 - 7.4.1 *En función de la superficie.*
 - 7.4.2 *En función del volumen de agua utilizado.*

Así mismo, se elaboraron encuestas de diagnóstico dirigidas a usuarios, directivos y técnicos de las organizaciones de usuarios o técnicos de la CONAGUA, las cuales comprenden aspectos de operación y mantenimiento de redes entubadas (figura 5.5). En el anexo digital **A.D.-2 “Información bibliográfica”**, se concentran las encuestas mencionadas.


 Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego

PROYECTO INTERNO

 RD - 1105.1

*ESTADO DEL ARTE SOBRE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
 REDES ENTUBADAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN
 DEL AGUA DE RIEGO

ENCUESTA DE DIAGNÓSTICO SOBRE
 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
 DE REDES ENTUBADAS DE RIEGO



NIVEL “USUARIOS”

 a) Portada


 Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego

Distrito de Riego: _____
 Módulo de Riego o Unidad de Riego: _____
 Nombre del encuestado: _____
 Tenencia: _____ Superficie (ha): _____ Cultivo principal: _____
 Fuente de abastecimiento: _____ Tiempo de riego (hr/ha): _____
 Nombre del encuestador: _____
 Fecha: _____

OPERACION

1. ¿Usted opera el sistema de entubado de conducción? ()

- Sí ()
- No, lo opera el “canalero” ()
- En ocasiones, cuando me autoriza el “canalero” ()

En caso de responder **No**, pase a la **pregunta 4**

2. ¿Recibió capacitación para operar la red? ()

- Sí y fue suficiente ()
- Sí, pero no fue suficiente ()
- No ()

3. ¿Conoce el funcionamiento de los dispositivos especiales de la red? ()

Sí () No ()

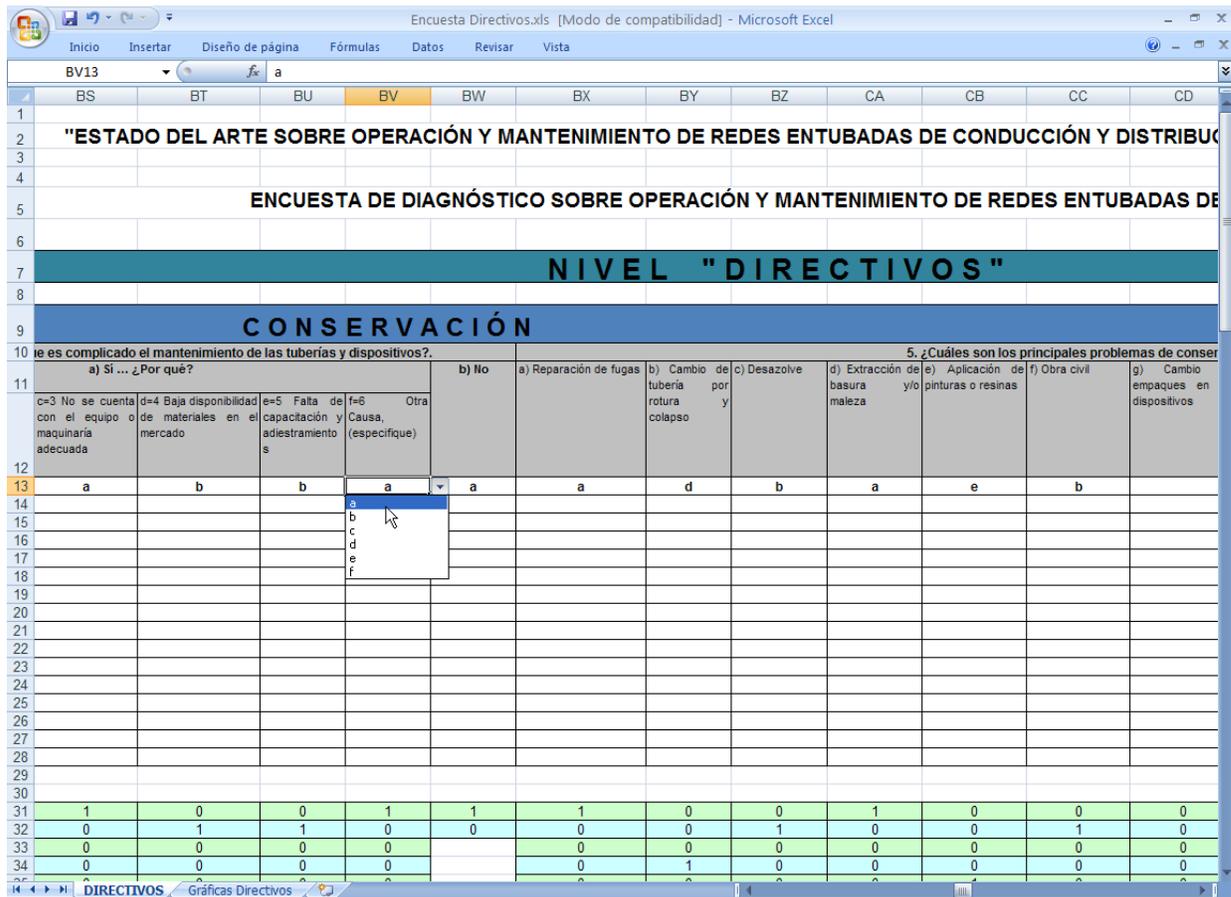
4. ¿Cómo se hace la entrega de agua? ()

- El usuario toma el agua en el momento que la requiere ()
- El técnico realiza su programa y le avisa al usuario la fecha y hora ()
- Se proporciona el servicio al momento que lo solicita el usuario ()
- Otra forma, (especifique) _____

b) Ejemplo de contenido

Figura 5.5 Encuesta para “Usuarios”

Para concentrar y analizar la información de las encuestas se elaboraron hojas de cálculo para cada nivel de aplicación (figura 5.6).



Encuesta Directivos.xls [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

BS BT BU BV BW BX BY BZ CA CB CC CD

1 "ESTADO DEL ARTE SOBRE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES ENTUBADAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN"

2

3

4 ENCUESTA DE DIAGNÓSTICO SOBRE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES ENTUBADAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

5

6

7 **NIVEL "DIRECTIVOS"**

8

9 **CONSERVACIÓN**

10 ¿Es complicado el mantenimiento de las tuberías y dispositivos?

11 a) Sí ... ¿Por qué? b) No

12 c=3 No se cuenta con el equipo o maquinaria adecuada d=4 Baja disponibilidad de materiales en el mercado e=5 Falta de capacitación y adiestramientos f=6 Otra Causa, (especifique)

13 a b b a a a d b a e b

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0

32 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0

33 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

34 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0

DIRECTIVOS Gráficas Directivos

Figura 5.6 Hoja de cálculo para el análisis de información de las encuestas

5.3 Visitas técnicas

En reuniones de trabajo se planearon las visitas técnicas a zonas de riego representativas de la problemática en operación y mantenimiento de redes entubadas. En el cuadro 5.2 se muestran las organizaciones de usuarios visitadas.

Cuadro 5.2 Visitas técnicas a las organizaciones de usuarios de riego

Distrito de Riego	Organización de Usuarios	Estado
008 Metztlán	“Asociación de Usuarios del Módulo I del Distrito de Riego Metztlán, Hidalgo”, A.C.	Hidalgo
028 Tulancingo	“Asociación de Usuarios del Módulo I del Distrito de Riego 028 Tulancingo”, A.C.	
034 Estado de Zacatecas	“Asociación de Usuarios de la Presa Leobardo Reynoso”, A.C.	Zacatecas
	“Módulo 4 Presa Ing. Julián Adame Alatorre”, A.C.	
038 Río Mayo	“Unión de Usuarios Productores Agrícolas de la Unidad de Riego para el Desarrollo Rural Fuerte Mayo”, A.C.	Sonora
041 Río Yaqui	“AUPA de la Sección de Riego DOS”, A.C.	
060 El Higo	“Asociación de Usuarios El Higo”, A.C.	Veracruz
	- Unidad de Riego “Palmar Prieto” - Unidad de Riego “Las Puentes”	
068 Tepecuacuilco-Quechultenango	“Módulo de Riego Tepecoacuilco”, A.C.	Guerrero
-	Unidad de Riego “Juan Catalán Berbera”, A.C,	
-	Sociedad de Responsabilidad Limitada “Usuarios de Riego del Valle de Huajuca” de I.P. de C.V.	Aguascalientes

Se entrevistaron directamente a usuarios, técnicos y directivos de las Organizaciones de Usuarios (foto 5.1), así como a los técnicos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y se realizaron recorridos de campo para conocer la problemática de operación de las redes entubadas (foto 5.2).



a) Usuarios



a) Gerente Técnico



c) Directivos



d) Personal de la CONAGUA

Foto 5.1 Aplicación de encuestas



Foto 5.2 Recorridos de campo

5.4 Integración y análisis de información

Se capturaron las encuestas de información obtenidas en las visitas técnicas (foto 5.3), posteriormente se registró la información en las hojas de cálculo para su análisis y complementar el desarrollo del Manual sobre **“Operación y Mantenimiento de Redes Entubadas de Riego”**.

Finalmente, se realizó la revisión de estilo y edición del Manual (figura 5.8). Se anexa manual sobre **“Operación y Mantenimiento de Redes Entubadas de Riego”**.




Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego

Distrito de Riego: 008 Metztlán

Módulo de Riego o Unidad de Riego: Asociación Civil de Usuarios del Modulo I. del Distrito de Riego Metztlán, Hidalgo.

Nombre del encuestado: Rafael Morales Mora

Cargo: Presidente.

Nombre del encuestador: Rafael Espinosa Méndez

Fecha: 12/Mayo/2011

OPERACION

1. ¿Quién opera el sistema de entubado de conducción?

- La mesa directiva ()
- El Gerente técnico y canaleros (X)
- El usuario ()
- Personal del DR o la CONAGUA ()

2. ¿Se proporciona capacitación al personal que opera la red?

- Sí y es suficiente (X)
- Sí, pero no es suficiente ()
- No ()

3. ¿Cómo se hace la entrega de agua?

- El usuario toma el agua en el momento que la requiere ()
- El técnico realiza su programa y le avisa al usuario la fecha y hora (X)
- Se proporciona el servicio al momento que lo solicita el usuario ()
- Otra forma, (especifique) _____

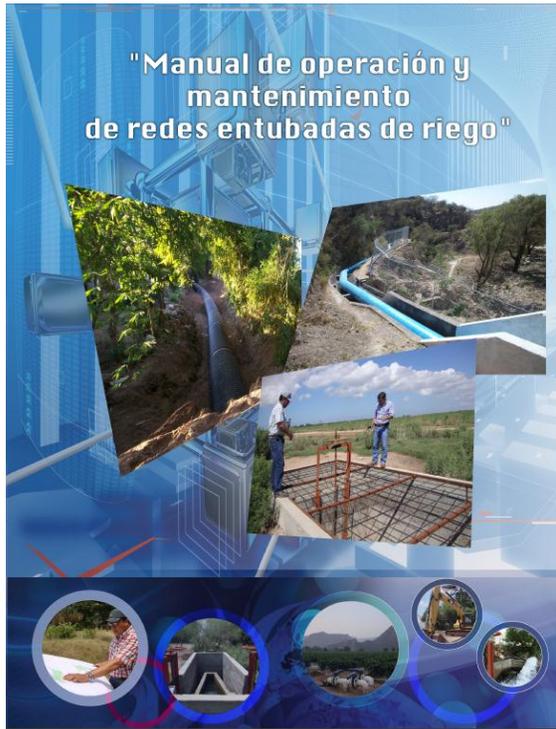
4. ¿Con qué oportunidad se le entrega el agua?

- Buena (entrega conforme a programa) (X)
- Regular (con desfase de 1 ó 2 días) ()
- Mala (con desfase de 3 ó más días) ()

5. ¿Cómo se considera la suficiencia (cantidad) en la entrega de agua con respecto?

- Buena (termina en el tiempo programado) (X)
- Regular (excede el tiempo entre el 10 y 25%) ()
- Mala (excede el tiempo de riego en más del 25%) ()

Figura 5.7 Captura de encuestas



a) Portada

1

Red entubada colectiva de riego

M.C. Juan Carlos Herrera Ponce

1.1 Generalidades

1.1.1 Tipos de redes

En el caso particular de una red entubada o presurizada desde la fuente de abastecimiento hasta el último hidrante del sistema, la operación de las redes se simplifica o se vuelve más compleja de acuerdo con la condición que se trate. En una primera clasificación se tienen los siguientes tipos de redes y componentes:

• Redes abiertas o ramificadas

Es cuando existe una o varias fuentes de abastecimiento y las tuberías se ramifican o subdividen aguas abajo, en diferentes vías de conducción que de igual forma subdivide el gasto y las partes terminales de las redes está libres o no se unen con otros nodos de la red (figura 1.1). En estos casos los diámetros disminuyen conforme es menor el área dominada de riego.

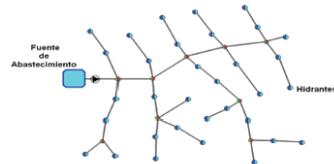


Figura 1.1 Red de riego abierta o ramificada

15 >

b) Capítulo No. 1

Figura 5.8 Manual sobre “Operación y mantenimiento de redes entubadas de riego”

VI. RESULTADOS

- Manual sobre “Operación y Mantenimiento de Redes Entubadas de Riego”.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente manual supera la información sobre el estado del arte en operación y mantenimiento de redes entubadas de conducción y distribución del agua de riego, ya que comprende la problemática actual y las alternativas técnicas y procedimientos aplicados para su solución.
- Las técnicas y procedimientos de operación y mantenimiento contenidos en el Manual, son aplicables a la mayor parte de las zonas de riego de México que cuentan con redes entubadas de riego.
- Con fines de capacitación, se sugiere elaborar un video sobre “Operación y Mantenimiento de Redes Entubadas”.

"Manual de operación y mantenimiento de redes entubadas de riego"



"Manual de operación y mantenimiento de redes entubadas de riego"

DIRECTORIO

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

M.C. JUAN RAFAEL ELVIRA QUEZADA
SECRETARIO

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

DR. POLIOTRO F. MARTÍNEZ AUSTRIA
DIRECTOR GENERAL

M.C. FERNANDO FRAGOZA DÍAZ
COORDINADOR DE RIEGO Y DRENAJE

DR. ARTURO GONZÁLEZ CASILLAS
SUBCOORDINADOR DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA

M.I. RAFAEL ESPINOSA MÉNDEZ
JEFE DE PROYECTO

PARTICIPANTES

M.C. JUAN MANUEL ÁNGELES HERNÁNDEZ
M.C. PEDRO PACHECO HERNÁNDEZ
M.C. JUAN CARLOS HERRERA PONCE
M.I. MARIO ALBERTO MONTIEL GUTIÉRREZ
M.A. MARÍA DOLORES OLVERA SALGADO
M.C. EFRÉN PEÑA PEÑA
ING. JOSÉ ÁNGEL GUILLÉN GONZÁLEZ
M.C. JOSÉ RAMÓN LOMELÍ VILLANUEVA

AGRADECIMIENTOS

SE EXPRESA UN ESPECIAL AGRADECIMIENTO AL PERSONAL TÉCNICO Y/O USUARIOS DE LAS SIGUIENTES INSTITUCIONES, EMPRESAS, MÓDULOS DE RIEGO Y UNIDADES DE RIEGO POR SU VALIOSA INFORMACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PRESENTE MANUAL.

DR 008 METZTITLÁN

Ing. Francisco Acevedo Zapata
Jefe de Distrito

Ing. Rubén Ramírez Luna
Jefe de operación

Srita. María de Jesús Acosta Jiménez
Encargada de la Jefatura Administrativa

“ASOCIACIÓN DE USUARIOS DEL MÓDULO I DEL DISTRITO DE RIEGO METZTITLÁN, HIDALGO” A.C.

C. Rafael Morales Mora
Presidente

C. César Paredes Bautista
Usuario

C. Miguel Ángel Pérez López
Usuario

DR 028 TULANCINGO

Ing. Francisco Acevedo Zapata
Jefe de Distrito

Ing. David Guevara Osornio
Jefe de operación

“ASOCIACIÓN DE USUARIOS DEL MÓDULO I DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO” A.C.

C. Pedro Hernández Deita
Presidente

C. Benigno García Flores
Usuario

C. Adrián Blancas López
Usuario
DR 034 ZACATECAS

**“ASOCIACIÓN DE USUARIOS DE LA PRESA LEOBARDO
REYNOSO” A.C.**

C. David Ramos Olmos
Presidente

C. Waldo A. González Díaz
Gerente Técnico

ISC. Manuel Luna Zapata
Jefe de Operación

“MÓDULO 4 PRESA ING. JULIAN ADAME ALATORRE” A.C.

C. Florentino Esparza Rodríguez
Presidente

Ing. Claudio Oliverio Leal López
Técnico

C. Isidro Barajas Loera
Usuario

DR 038 RÍO MAYO

Ing. Manuel Valencia Félix
Residente General Proyecto Fuerte Mayo

Ing. Carlos Ignacio Gómez Anaya
Especialista Técnico B

**“UNIÓN DE USUARIOS PRODUCTORES AGRÍCOLAS DE LA UNIDAD
DE RIEGO PARA EL DESARROLLO RURAL FUERTE MAYO” A.C.**

Ing. Félix Barreras Rodríguez
Gerente Técnico

C. Ramón Alonso Caro Vázquez
Presidente

DR 041 RÍO YAQUI

Ing. Feliciano Vargas Romero

Residente General Proyecto Modernización Valle del Yaqui y Colonias Yaquis

“AUPA DE LA SECCIÓN DE RIEGO DOS” A.C.

Ing. Humberto Soto Carrillo

Gerente Técnico

DR 060 EL HIGO

Ing. Jaime Aguilar Contreras

Jefe de Distrito

Ing. Eladio Reyes Cabrera

Residente de Conservación

“ASOCIACIÓN DE USUARIOS EL HIGO”, A.C.

UNIDAD DE RIEGO “PALMAR PRIETO”

C. Fulgencio Torres Gutiérrez

Usuario

UNIDAD DE RIEGO “LAS PUENTES”

C. Miguel Ángel Herrera Roque

Tesorero

DR 068 TEPECUACUILCO-QUECHULTENANGO

Ing. Natalio Velázquez

Encargado de la Jefatura de Operación

MÓDULO DE RIEGO TEPECOACUILCO, A.C.

Ing. Guadalupe Luengas González

Gerente Técnico

C. Miguel Hernández Valencia

Usuario

OTRAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE RIEGO

SOCIEDAD DE RESPONSABILIDAD LIMITADA “USUARIOS DE RIEGO DEL VALLE DE HUAJUCAR” DE I.P. DE C.V.

C. Rubén Martínez Ballín

Presidente

UNIDAD DE RIEGO “JUAN CATALÁN BERBERA”, A.C.

C. José Luis Colchero Arcos

Presidente

Ing. Fidel Moinsen Catarino

Usuario

C. Leobardo Astudillo Basilio

Canalero

EMPRESAS

TUBOMEX-ADS MEXICANA

C.P. Carlos Hernández Preciado

Director Comercial

SAINT GOBAIN

Ing. Rafael Peñaloza Márquez

Gerente Técnico Comercial

MEXICHEM

Ing. Felipe Alfonso Ibarra Salgado

Gerente de Infraestructura y Predial

UNIVERSIDADES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Dr. Ramón Eduardo Arteaga Tovar

Profesor Investigador del Departamento de Irrigación

Dr. Vicente Ángeles Montiel
Profesor Investigador del Departamento de Irrigación

Ing. Erika de la Vega
Apoyo Técnico del Departamento de Irrigación

TAMBIÉN SE AGRADECE LA ASESORÍA DE LOS ING. NAZARIO ALVAREZ GONZÁLEZ E ING. FRANCISCO ZALDÍVAR VÁLDEZ EN EL TEMA “PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UNA RED ENTUBADA” DEL PRESENTE MANUAL.

Índice

Prefacio.....	20
1. Red entubada colectiva de riego.....	23
1.1 Generalidades.....	23
1.1.1 Tipos de redes.....	23
1.1.2 Red colectiva de riego.....	24
1.2 Tipos de entubamiento.....	24
1.2.1 Entubado operando como canal.....	24
1.2.2 Red entubada con energía potencial.....	26
1.2.3 Red entubada con bombeo.....	28
1.3 Tomas parcelarias.....	30
1.3.1 Toma parcelaria con descarga a la atmósfera.....	30
1.3.2 Toma parcelaria de baja presión.....	30
1.3.3 Toma parcelaria de alta presión.....	32
2. Materiales de redes entubadas y sus dispositivos.....	35
2.1 Tuberías.....	35
2.1.1 Acero.....	35
2.1.2 Concreto simple.....	38
2.1.3 Concreto reforzado.....	41
2.1.4 Asbesto-cemento.....	42
2.1.5 Cloruro de polivinilo (PVC).....	45
2.1.6 Cloruro de polivinilo biorientado dúctil (PVC-O).....	47
2.1.7 Polietileno de alta densidad (PEAD).....	50
2.1.8 Poliester reforzado con fibra de vidrio (PRFV).....	53
2.1.9 Hierro dúctil.....	54
2.2 Estructuras y dispositivos.....	58
2.2.1 Estructuras o dispositivos de regulación.....	58
2.2.2 Estructuras o dispositivos de protección.....	62
2.2.3 Estructuras o dispositivos de cruce.....	74
2.2.4 Estructuras o dispositivos de medición.....	74
3. Elementos de un proyecto de entubamiento.....	81
3.1 Memoria descriptiva.....	81
3.1.1 Información general.....	81
3.1.2 Fuente de abastecimiento y obra de aprovechamiento.....	84
3.1.3 Red de conducción y distribución.....	86
3.2 Memoria de cálculo.....	88

3.3 Planos	88
3.4 Catálogo de conceptos de obra	90
3.5 Especificaciones técnicas	90
3.6 Instructivo de operación y mantenimiento	90
4. Operación de una red entubada	93
4.1 Generalidades.....	93
4.2 Planeación de la operación.....	94
4.3 Programación para la distribución del agua	96
4.3.1 Método de demanda controlada o pedido programado	96
4.3.1.1 Programa de riego por hidrante.....	96
4.3.1.2 Programa de riego por canal	98
4.3.1.3 Programa de riego por módulo o distrito de riego	102
4.4 Operación de la red entubada	103
4.4.1 Consideraciones generales.....	103
4.4.2 Operación de redes a baja y alta presión	106
4.4.2.1 Operación de una red conectada a un canal.....	106
4.4.2.2 Operación de una red conectada a una presa de almacenamiento o derivadora a descarga presurizada	114
4.4.3 Regulación de la presión	125
4.4.4 Problemas especiales en la operación de redes entubadas.....	133
4.5 Medición del agua	137
4.5.1 Dispositivos con sensor de velocidad.....	137
4.5.2 Aforo en tuberías con multicompuertas.....	138
4.6 Seguimiento y evaluación de la operación	139
4.7 Perfil del personal de operación.....	139
5. Planeación del mantenimiento de una red entubada	141
5.1 Generalidades.....	141
5.1.1 Deterioro de tuberías	141
5.1.2 Fuerzas y esfuerzos que actúan en la tubería	142
5.1.3 Corrosión en tuberías de metal	143
5.2 Mantenimiento de tuberías y sus dispositivos	143
5.2.1 Conceptos de trabajo	144
5.2.2 Inventario de la infraestructura.....	146
5.2.3 Diagnóstico y estimación de cantidades de obra	149
5.2.4 Tiempo de ejecución de los trabajos	152
5.2.5 Necesidades de maquinaria, equipo y personal	152
5.2.6 Programa de mantenimiento y conservación.....	152
5.2.7 Seguimiento y evaluación de los trabajos.....	153
5.2.8 Perfil del personal de mantenimiento.....	155

6. Mantenimiento de una red entubada de riego y sus dispositivos.....	161
6.1 Generalidades.....	161
6.2 Técnicas de reparación de tuberías	161
6.2.1 Recubrimientos no estructurales	161
6.2.1.1 Recubrimientos con mortero-cemento	161
6.2.1.2 Recubrimientos con resina epóxica.....	162
6.2.1.3 Recubrimientos blandos.....	163
6.2.2 Recubrimientos estructurales	164
6.2.2.1 Recubrimientos con manguera ajustable.....	164
6.2.2.2 Métodos de revestimiento deslizable	165
6.2.2.3 Revestimiento con rodillos corredizos.....	165
6.3 Técnicas de reemplazo de tuberías	169
6.3.1 Métodos hydros “extracción hidráulica de tubos”	169
6.3.2 Métodos de extracción de tubos de servicio	170
6.3.3 Proceso tubo dentro de tubo.....	171
6.3.4 Proceso de fracturamiento (tubo a tubo).....	171
6.4 Técnicas de limpieza de tuberías	175
6.4.1 Limpieza hidráulica	175
6.4.2 Cepillado de tuberías.....	175
6.4.3 Limpieza con aire	176
6.4.4 Raspado de tuberías.....	177
6.5 Técnicas de control de corrosión	177
6.6 Mantenimiento de tuberías, estructuras y dispositivos de redes entubadas en zonas de riego en México	178
6.6.1 Mantenimiento y rehabilitación de tuberías	178
6.6.1.1 Reparación de fugas.....	178
6.6.1.2 Cambio de tubería por rotura	181
6.6.1.3 Desazolve.....	183
6.6.1.4 Taponamiento	187
6.6.1.5 Aplicación de pinturas y resinas.....	189
6.6.2 Mantenimiento y rehabilitación de estructuras y dispositivos	189
6.6.2.1 Cambio de empaques, componentes y dispositivos.....	189
6.6.2.2 Desazolve.....	189
6.6.2.3 Extracción de basura y maleza	192
6.6.2.4 Mantenimiento de rejillas	194
6.6.2.5 Aplicación de pinturas, resinas y grasas	194
6.6.2.6 Rehabilitación de obra civil	195
6.6.2.7 Limpieza de dispositivos (válvulas).....	196

7. Costos de operación y mantenimiento en redes entubadas	199
7.1 Generalidades.....	199
7.2 Estimación de costos (presupuestos) de operación y mantenimiento	203
7.3 Precios unitarios	203
7.4 Estimación de la cuota de operación y mantenimiento	203
7.4.1 En función de la superficie.....	203
7.4.2 En función del volumen de agua utilizado	206
 ANEXOS.....	 207

Índice de cuadros

2.1 Características de las tubería de acero	37
2.2 Diámetro, longitud y características de espesor y campana de los tubos de concreto.....	39
2.3 Diámetro, longitud y características de espesor y campana de los tubos de concreto reforzado.....	42
2.4 Clasificación por presión hidrostática de tubos de asbesto-cemento	43
2.5 Dimensiones de zanja para la instalación de la tubería de asbesto-cemento.....	44
2.6 Tubo hidráulico de PVC (liso), serie métrica, diámetros y espesores promedios.....	46
2.7 Tubo hidráulico de PVC-O.....	48
2.8 Ancho de zanja para la instalación de PEAD con base en el diámetro y profundidad	51
2.9 Presiones para una tubería de PEAD con factor de servicio 4	52
2.10 Características técnicas y de instalación de las tubería	57
3.1. Coeficientes de cultivo para hortalizas y etapas de cultivo.....	83
3.2. Requerimientos de riego para cultivo de sorgo forraje (Otoño/Invierno), Tepecoacuilco, Gro., regado cada 10 días con fecha de siembra 01 de noviembre	83
3.3. Ejemplo de la relación de usuarios del proyecto Tepecoacuilco	84
3.4. Características de un vaso de almacenamiento	85
3.5. Ejemplo de la capacidad requerida por el sistema del proyecto Tepecoacuilco	87
3.6. Ejemplo de la presentación relativa a la carga piezométrica de hidrantes en un proyecto de riego a baja presión	88
4.1. Programa de riegos semanal para un hidrante por el método gráfico	97
4.2. Cálculo del gasto a nivel de punto de control para una demanda en parcelas abastecidas con una red entubada	99
4.3. Tablas superficie-gasto-tiempo para el control del riego parcelario	100
4.4. Ejemplo de operación de los hidrantes para gastos modulares de 30 l/s en cinco laterales	102

4.5. Diámetros y longitudes propuestas en el proyecto ejecutivo de la red de conducción principal de la Unidad de Riego de la Presa “I. Mariano Abasolo”, Gto	115
4.6. Superficie y usuarios por punto de entrega del agua de riego	117
4.7. Tuberías de la red interparcelaria y parcelaria	117
4.8. Tubería y dispositivos para la tecnificación de la red interparcelaria y parcelaria por ejido	118
4.9. Características hidráulicas y operativas de la red de conducción principal	119
4.10. Tiempo de llenado de la red de conducción principal con un gasto promedio de 150 l/s	120
4.11. Gasto aproximado para el llenado de la red de conducción interparcelaria y parcelaria de cada una de las áreas compactas y/o ejidos, para distribuir un gasto total de 150 l/s.....	121
4.12. Número de riegos simultáneos para cada ejido, en función de la superficie y del gasto ajustado	121
4.13. Características de operación de las válvulas reguladoras de presión	122
4.14. Datos generales de operación del sistema de riego	123
4.15. Superficie, volumen bruto, gasto y tiempo de riego por ejido y “Área”	123
4.16. Formato para el aforo volumétrico de las compuertas.....	124
4.17. Gasto (en l/s) proporcionado por cada compuerta a diferentes aberturas y a diferentes cargas hidráulicas para una tubería de 8” de diámetro.....	125
5.1 Causas estructurales de la ruptura de tuberías.....	142
5.2 Tipos de corrosión	144
5.3 Resumen de conceptos de trabajo en redes entubadas	145
5.4 Ciclos óptimos de ejecución de los conceptos de obra	150
5.5 Frecuencias	151
6.1 Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de rehabilitación de tuberías	166
6.2. Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de reemplazo de tuberías	174
6.3. Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de limpieza de tuberías	177
6.4 Problemática de mantenimiento de las redes entubadas y estructuras	180
7.1 Ejemplo de presupuesto.....	204
7.2 Costos de mantenimiento	205

Índice de figuras

1.1 Red de riego abierta o ramificada	23
1.2 Red de riego cerrada	24
1.3 Componentes de una red entubada	25
1.4. Componentes de entubado operando como canal.....	26
1.5 Entubado con energía potencial	27
1.6 Perfil de una caja distribuidora de agua con tomas parcelarias laterales y pico de pato para control de niveles	28
1.7 Fuentes de abastecimiento de una red entubada a presión	29
1.8 Componentes de un sistema de riego de baja presión.....	31
2.1 Instalación de la tubería de asbesto-cemento.....	44
2.2 Instalación de la tubería PEAD	51
2.3 Piezas especiales y accesorios de PEAD	52
2.4 Capas de la tubería de hierro dúctil DN 80 a 2000.....	56
2.5 Piezas especiales en hierro dúctil	57
2.6 Válvula de compuerta.....	59
2.7 Válvula de globo	61
2.8 Rejillas y pantallas de protección	63
2.9 Operación del filtro de arena.....	66
2.10 Funcionamiento del filtro de mallas.....	66
2.11 Malla de acero con pantalla	67
2.12 Diagramas de válvulas check.....	68
2.13 Válvula de aire en la red de distribución.....	70
2.14 Válvula de alivio.....	72
2.15 Válvula de esfera	73
2.16 Arqueta protegiendo un hidrante	74
2.17 Componentes del módulo	76
2.18 Curva de funcionamiento hidráulico de los módulos.....	77
3.1 Precipitación media mensual (total y efectiva) y evapotranspiración referencia total mensual en el proyecto Tepecoacuilco	82
3.2 Esquema conceptual de la red de conducción principal	86

3.3 Trazo de tubería en planta y en perfil.....	89
4.1 Planeación de operación en el DR 041, Río Yaqui, Son.	95
4.2 Programa de demandas de riego de un canal con pronóstico de riego en tiempo real.....	98
4.3 Válvulas de mariposa utilizadas en las redes de riego a baja presión	104
4.4 Plano general de la zona de riego.....	106
4.5 Planta y perfil del canal de aportación y sus estructuras	107
4.6 Planta y elevación del canal sublatera l 2+170.....	108
4.7 Operación de la red a gasto máximo de diseño de 120 l/s	109
4.8 Operación del sistema entubado con un gasto de 30 l/s en el último hidrante.....	110
4.9 Operación del sistema entubado con un gasto de 90 l/s (tres hidrantes simultáneos).....	111
4.10 Operación del sistema entubado con un gasto de 90 l/s (tres hidrantes simultáneos y cercanos)	112
4.11 Operación del sistema entubado con un gasto de 60 l/s (dos hidrantes alejados)	113
4.12 Operación del sistema entubado con un gasto de 60 l/s (dos hidrantes cercanos al final del entubado)	113
4.13 Operación del sistema entubado con un gasto de 60 l/s (dos hidrantes vecinos al final del entubado con equilibrio de gasto).....	114
4.14 Plano general de la zona de riego de la presa “I. Mariano Abasolo”	115
4.15 Plano de la red de distribución de la presa “I. Mariano Abasolo”	116
4.16 Instalación de válvulas reguladoras de presión (VRP).....	126
4.17 Ubicación de las válvulas reguladoras de presión en sitios estratégicos de la red	129
4.18 Caja rompedora de presión	130
4.19 Carga piezométrica sobre los hidrantes de una conducción entubada	131
4.20 Curva carga –gasto del regulador de presión para 8” de diámetro.....	133
4.21 Ubicación de válvulas de alivio en la red de tuberías	134
4.22 Formas de presentarse aire en las tuberías	135
4.23 Ubicación del aire atrapado en las tuberías	135
4.24 Clasificación de válvulas eliminadoras de aire.....	135
4.25 Localización de las válvulas de eliminación de aire	136
4.26 Conducción de una tubería con un tramo por arriba de la línea de cotas piezométrica de diseño en baja de presión	137
4.27 Aforo volumétrico	138
5.1 Modelo conceptual de las condiciones estructurales de una tubería de agua.....	142
5.2 Distribución esquemática de la nomenclatura de las líneas	148

6.1 Revestimiento con mortero-cemento	162
6.2 Proceso de revestimiento con resina epóxica.....	162
6.3 Proceso Insitu-form.....	163
6.4 Proceso Phoenix.....	164
6.5 Proceso Paltem	165
6.6 Proceso tubo interior	165
6.7 Proceso de revestimiento con rodillos corredizos	165
6.8 Método Hydros	169
6.9 Método de extracción de tubos de servicio.....	170
6.10 Proceso tubo dentro del tubo.....	171
6.11 Proceso de fracturamiento (tubo a tubo)	172
6.12 Cabezal de fracturamiento (topo).....	172
6.13 Limpieza hidráulica.....	175
6.14 Proceso de limpieza con aire.....	176
6.15 Protección catódica del tipo ánodo galvánico	178
6.16 Arrastre de sedimento con el disco de mantenimiento	184
6.17 Retiro del azolve del registro de mantenimiento	184
6.18 Inyección de agua a presión para lavar la tubería	185
6.19 Retiro de azolve de la sección de canal.....	185
6.20 Desazolve de tuberías laterales y sublaterales.....	186
6.21 Varilla de mantenimiento.....	187
6.22 Procedimiento de extracción de tapón en una tubería	188
6.23 Desazolve manual en estructuras de regulación	191

Índice de fotografías

1.1 Reemplazo de canal a cielo abierto por entubado	25
1.2 Canal entubado	25
1.3 Pico de pato en entubado	27
1.4 Toma parcelaria con descarga a la atmósfera	30
1.5 Toma parcelaria de baja presión con multicompuerta	30
1.6 Tubería de multicompuertas	32
1.7 Toma parcelaria de alta presión	33
2.1 Tubería de acero	36
2.2 Costura de la tubería de acero	36
2.3 Tubería de acero al carbón	36
2.4 Tubería de acero inoxidable	37
2.5 Piezas especiales y accesorios	38
2.6 Tuberías de concreto simple	39
2.7 Tuberías de concreto reforzado	41
2.8 Tubería asbesto-cemento	42
2.9 Tubería de PVC	45
2.10 Piezas especiales y accesorios de PVC	47
2.11 Tubería de PVC biorientado dúctil (PVC-O)	48
2.12 Piezas especiales y accesorios de PVC-O	49
2.13 Tubería PEAD	50
2.14 Equipo de termofusión	50
2.15 Tubería de PRFV	53
2.16 Piezas especiales y accesorios de PRFV	54
2.17 Tubería de hierro dúctil	55
2.18 Estructura de regulación en entubado operando como canal	58
2.19 Control y regulación en un presa de almacenamiento	59
2.20 Válvulas de compuerta	60
2.21 Válvulas tipo mariposa	62
2.22 Rejillas de protección	64
2.23 Estructuras de mantenimiento	64
2.24 Prefiltrado	65

2.25 Filtros de arena.....	65
2.26 Depósito cilíndrico.....	66
2.27 Válvula check.....	68
2.28 Ubicación de una válvula check	69
2.29 Ubicación de una válvula de aire.....	70
2.30 Aireador	71
2.31 Estructuras de cruce.....	75
2.32 Módulos aforadores.....	75
2.33 Vertedor de cresta larga	76
2.34 Medidor de propela.....	78
2.35 Medidor electromagnético.....	78
2.36 Medidor ultrasónico	79
4.1 Red entubada	95
4.2 Estación agroclimática.....	97
4.3 Red de riego a baja presión (multicompuertas)	101
4.4 Válvula reguladora de presión (VRP).....	127
4.5 Hidrantes con problemas de exceso de presión en su operación	131
4.6 Dispositivo regulador de presión para hidrante.....	132
4.7 Componentes del regulador de presión	132
4.8 Medidor de propela con contador volumétrico.....	138
4.9 Aforo carga-abertura.....	139
4.10 Dispositivo de aforo en hidrante	139
5.1 Herramientas y maquinaria de mantenimiento y conservación	147
5.2 Tubería de conducción	151
6.1 Componentes del sistema y proceso de instalación	173
6.2 Fugas en la tubería	178
6.3 Reparación de fugas en la tubería.....	179
6.4 Rotura de tubería.....	181
6.5 Cambio de tubería por rotura	182
6.6 Azolve en la tubería.....	183
6.7 Compuerta de mantenimiento en una caja de control	186
6.8 Problemática de componentes, estructuras y dispositivos	190
6.9 Azolve en estructuras.....	191
6.10 Problemas de maleza y basura en las estructuras.....	192
6.11 Maquinaria para la extracción de maleza	193
6.12 Extracción de maleza en las estructuras.....	193
6.13 Mantenimiento manual de rejillas	194
6.14 Deterioro de las estructuras	195
6.15 Deterioro de la obra civil de las estructuras	195
6.16 Limpieza de azolve en una válvula de aire.....	197

Prefacio

En los últimos años, se ha incrementado la demanda hídrica de los diferentes usos consuntivos, con la consecuente agudización de los problemas asociados a la baja disponibilidad hídrica; al mismo tiempo, el cambio climático ha provocado alteraciones en la distribución de la precipitación. Ante esta problemática, los tres niveles de gobierno y los productores agrícolas han impulsado los procesos de modernización y tecnificación de las zonas de riego.

Los procesos de modernización se realizan en la red de conducción y distribución de las zonas de riego y corresponden al revestimiento de los canales o a la instalación de redes entubadas colectivas.

Los procesos de tecnificación consisten en instalar sistemas de riego parcelario de alta eficiencia como son: las tuberías de multicompuertas (con nivelación del terreno), el riego por aspersión (cañón, pivote central, avance frontal, etc.) y riego localizado (microaspersión, goteo puntual y cinta de riego).

En general la modernización de zonas de riego mediante redes entubadas colectivas superan los costos del revestimiento de canales, sin embargo, éstas permiten incrementar las eficiencias de conducción a valores cercanos al 100%, y en la mayoría de los casos reducir significativamente los costos de mantenimiento, respecto a una red de canales.

A la fecha, en México se han instalado más de 40,000 hectáreas con sistemas de riego entubados dentro de los diferentes programas de apoyo Gubernamental. Sin duda, las redes de riego entubadas, implican un cambio tecnológico en la operación y manejo de los sistemas de conducción, ya que se requiere un nuevo esquema en la formulación de sus programas de riego, en la medición y control de los volúmenes entregados a los usuarios en las parcelas, procedimientos de mantenimiento y conservación de las tuberías, entre otros aspectos.

Con base en lo anterior, el presente Manual, tienen como finalidad ser una herramienta de orientación y apoyo para el personal técnico encargado de la *operación y mantenimiento de las redes entubadas en zonas de riego*.

En el primer capítulo se expone la concepción de una red colectiva de riego, diferenciando las diferentes modalidades de entubamiento.

En el segundo capítulo se tratan los diferentes tipos de materiales utilizados en el entubamiento de redes de conducción y distribución, así como sus principales dispositivos de control, protección y medición.

En el tercer capítulo se indican los principales elementos que constituyen un proyecto de entubamiento y que deben considerarse como base para la operación de la red de la zona de riego.

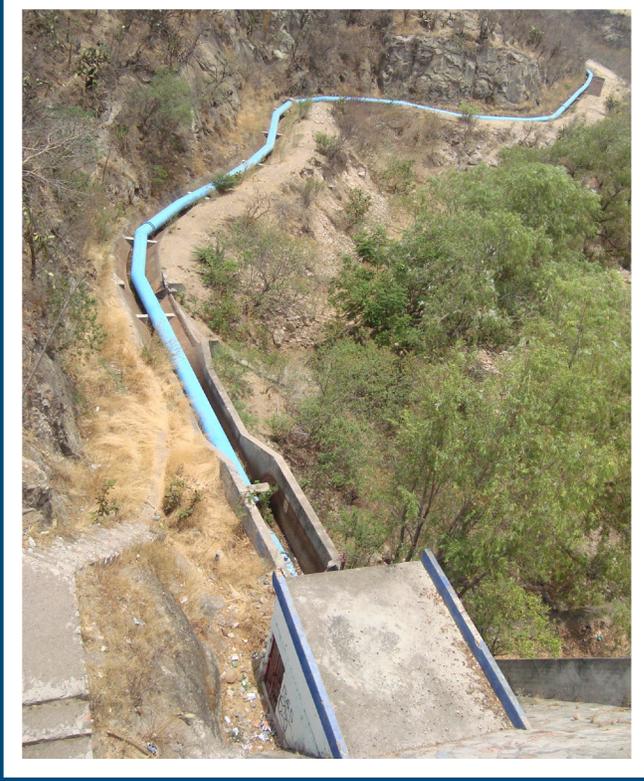
En el cuarto capítulo se analizan las etapas que abarca la “operación de las redes entubadas” como son: la planeación y programación de la distribución del agua, la operación de la red, medición del agua, seguimiento y evaluación de la operación. Así mismo, se presentan los principales problemas de operación de las redes y las alternativas de solución.

En el quinto capítulo se exponen los aspectos más relevantes que se deben considerar para realizar la planeación del mantenimiento de una red entubada.

En el sexto capítulo se presenta el estado del arte sobre el mantenimiento y la rehabilitación de tuberías; también se exponen los principales problemas de mantenimiento y las alternativas de solución en redes entubadas de zonas de riego representativas en México.

Finalmente, en el séptimo capítulo se muestran los aspectos que se deben contemplar para estimar los costos de mantenimiento de una red entubada y la estimación de la cuota de operación y mantenimiento.

En el caso particular de una red entubada o presurizada desde la fuente de abastecimiento hasta el último hidrante del sistema, la operación de las redes se simplifica o se vuelve más compleja de acuerdo con la condición que se trate.



Red entubada colectiva de riego

M.C. Juan Carlos Herrera Ponce

1.1 Generalidades

1.1.1 Tipos de redes

En el caso particular de una red entubada o presurizada desde la fuente de abastecimiento hasta el último hidrante del sistema, la operación de las redes se simplifica o se vuelve más compleja de acuerdo con la condición que se trate. En una primera clasificación se tienen los siguientes tipos de redes y componentes:

- **Redes abiertas o ramificadas**

Es cuando existe una o varias fuentes de abastecimiento y las tuberías se ramifican o subdividen aguas abajo, en diferentes vías de conducción que de igual forma subdivide el gasto y las partes terminales de las redes están libres o no se unen con otros nodos de la red (figura 1.1). En estos casos los diámetros disminuyen conforme es menor el área dominada de riego.

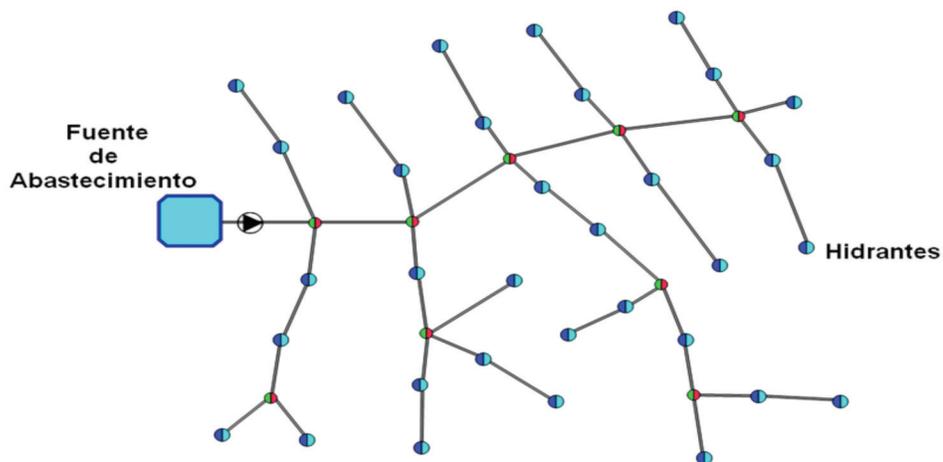


Figura 1.1 Red de riego abierta o ramificada

- **Redes cerradas**

Cuando la red de tuberías se une en algún punto de manera que se forma algún circuito que ocasiona que tengan una o más rutas de conducción se tiene una red hidráulica cerrada.

La diferencia principal con las redes abiertas lo constituye el análisis hidráulico de las mismas, ya que en el caso de las redes abiertas se tiene un análisis hidráulico de una sola ruta única de conducción desde la fuente de abastecimiento y termina en un nodo final; en el caso de las redes cerradas pueden existir una o dos diferentes rutas de análisis hidráulico ya que el nodo en cuestión se puede abastecer desde varios tramos ligados. El gasto total se subdivide en cada ruta de conducción y se une al final al llegar al hidrante (figura 1.2).

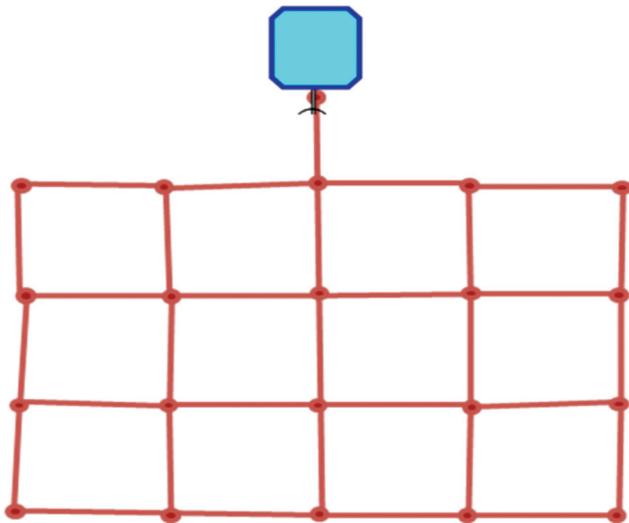


Figura 1.2 Red de riego cerrada

1.1.2 Red colectiva de riego

Considerando la demanda del riego, los componentes básicos de una red entubada colectiva son: La fuente de abastecimiento, la red

de distribución entubada y las tomas parcelarias (riego por gravedad o a presión). Figura 1.3

1.2 Tipos de entubamientos

Por la dirección del flujo, la red de distribución entubada inicia en la fuente de abastecimiento, que se encarga de conducir el agua por la zona de riego y concluye en la toma parcelaria.

Por su trazo, la red de distribución entubada puede ser cerrada o abierta y por su tipo de operación hidráulica, se clasifican en tres grandes grupos: entubado operando como canal, red entubada con energía potencial y red entubada con bombeo.

1.2.1 Entubado operando como canal

El entubado operando como canal corresponde a la red de distribución más simple, consiste en reemplazar un tramo de canal o canal completo, por una tubería de diámetro constante o variable que se instala en el trazo original del canal a cielo abierto, y que opera parcialmente llena, es decir a la presión atmosférica (la línea piezométrica corresponde al perfil del espejo del agua). Foto 1.1.

Las tuberías que se utilizan tienen diámetros de hasta 2,000 mm, (foto 1.2) y se fabrican con materiales de baja resistencia, como el polietileno o el polivinilo de cloruro corrugado, por lo que generan los menores costos de instalación.

El entubado operando como canal se utiliza para satisfacer la demanda de riego parcelario por gravedad, y presenta grandes ventajas operativas cuando se requiere mover gastos de agua menores

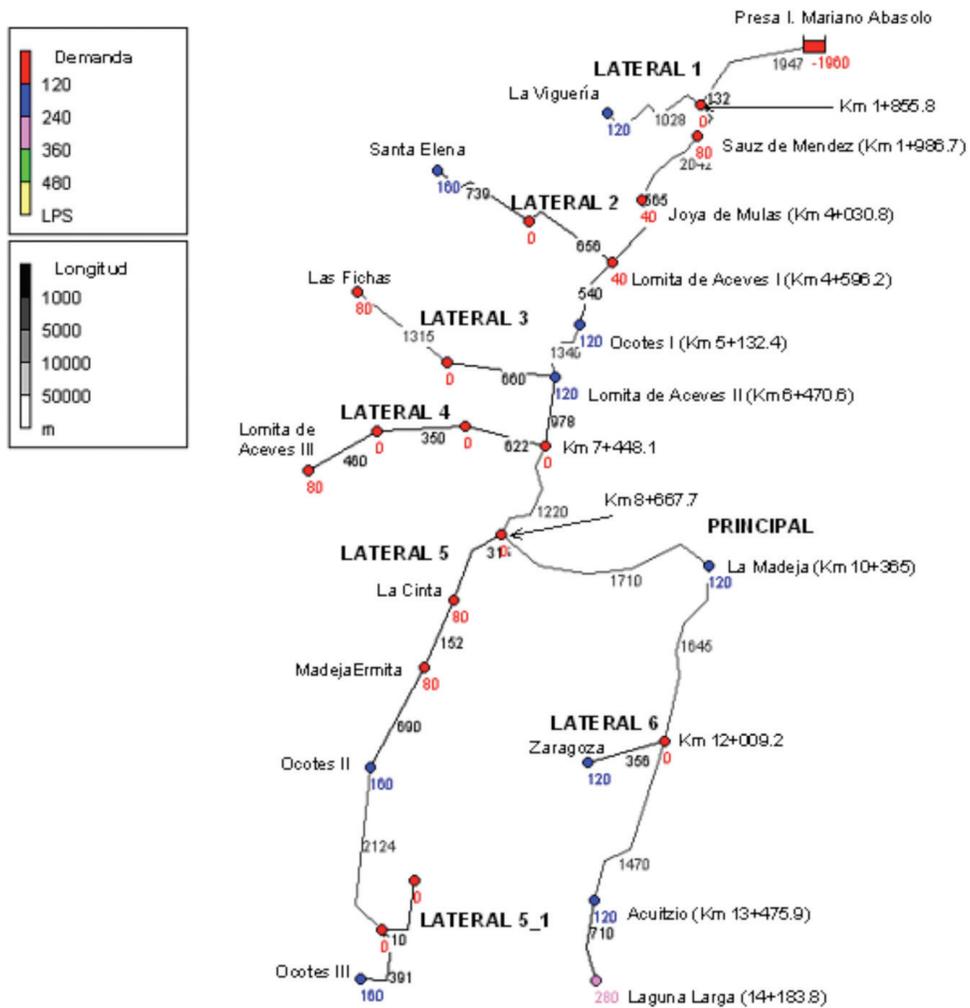


Figura 1.3 Componentes de una red entubada



Foto 1.1. Reemplazo de canal a cielo abierto por entubado



Foto 1.2 Canal entubado

de 1.0 m³/s, con una energía potencial disponible muy pequeña.

Sus componentes básicos son el canal de aportación, estructura de regulación (represa con agujas, con compuertas o vertedor de cresta larga), estructura de protección (desarenador y/o rejilla) y estructura de acceso al entubado (toma tipo miller, toma con compuerta deslizante o un módulo aforador). Ver figura 1.4

La principal desventaja se presenta cuando la energía potencial es muy pequeña, ya que la velocidad del flujo se reduce de tal manera que provoca la sedimentación de sólidos en suspensión (azolvamiento) en el interior de las tuberías. Se recomienda que las velocidades del agua sean mayores de 0.5 m/s durante su operación, para

evitar azolvamiento, así como las dificultades y altos costos de su respectivo mantenimiento.

1.2.2 Red entubada con energía potencial

Este tipo de red de distribución entubada es más sofisticado que el anterior, ya que consiste en reemplazar la red de canales, por una red de tuberías con un trazo que puede coincidir o no con el trazo de canales y con diferentes diámetros, la cual opera completamente llena, a una presión mayor que la atmosférica.

Por lo general la red entubada se utiliza para aprovechar la carga hidráulica potencial de presas o estanques de almacenamiento (figura 1.5); canales construidos en laderas, o modernizando sistemas de canales abiertos, entubando y presurizando la red de distribución del agua con plantas de bombeo.

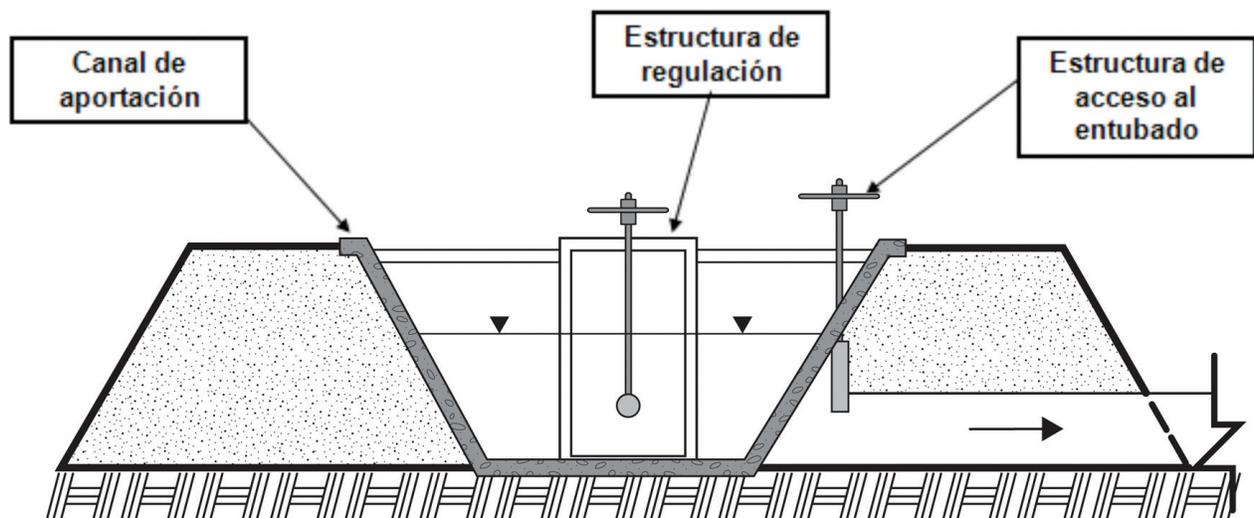


Figura 1.4. Componentes de entubado operando como canal

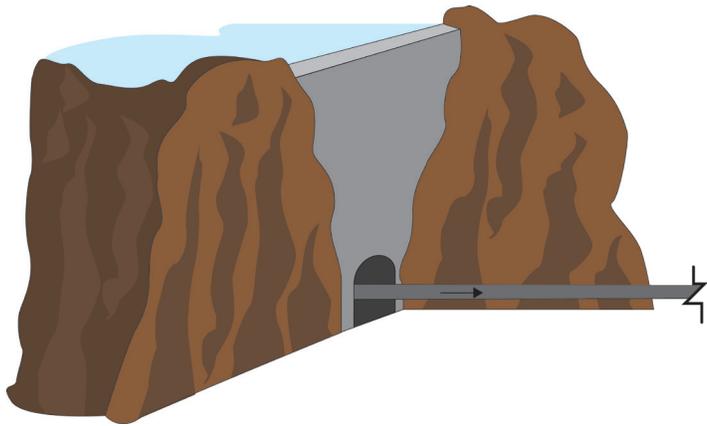


Figura 1.5 Entubado con energía potencial

Este tipo de entubamiento debe operar a tubo lleno, en donde se requiere la adaptación de estructuras de regulación como vertedores de cresta larga (pico de pato) para disipar energía y asegurar carga hidráulica en los puntos de derivación a tomas parcelarias o a canales con rangos menores en sus gastos de operación (foto 1.3 y figura 1.6).

Es necesario que las velocidades del agua sean mayores de 0.5 m/s durante su operación, para evitar su azolvamiento, así como las dificultades y costos de su mantenimiento.

Las tuberías que se utilizan tienen diámetros de hasta 2,000 mm y se fabrican con materiales de mediana y alta resistencia, como el polietileno o el polivinilo de cloruro de alta densidad, por lo que generan mayores costos de instalación.



Foto 1.3 Pico de pato en entubado

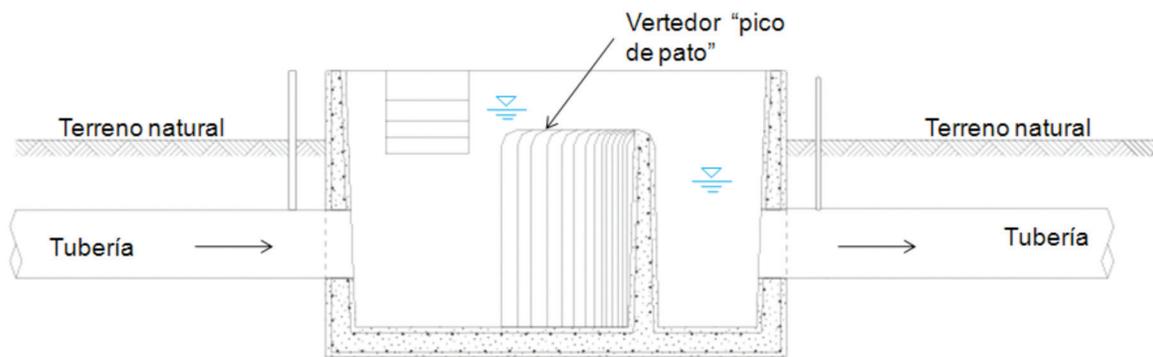


Figura 1.6 Perfil de una caja distribuidora de agua con tomas parcelarias laterales y pico de pato para control de niveles

La red entubada con energía potencial se utiliza para satisfacer la demanda de sistemas de riego parcelario de multicompuertas y en algunos casos de riego localizado cuando la derivación es directamente de presa (suficiente carga potencial disponible).

Esta red presenta las mayores ventajas para gastos menores de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y la zona de riego presenta desniveles de medios a altos, con una energía potencial de media a alta (de 15 a 30 mca).

Su principal desventaja se presenta cuando la energía potencial es muy alta (más de 30 mca), ya que la red debe disponer de una serie de dispositivos de regulación y control de la presión hidrostática.

1.2.3 Red entubada con bombeo

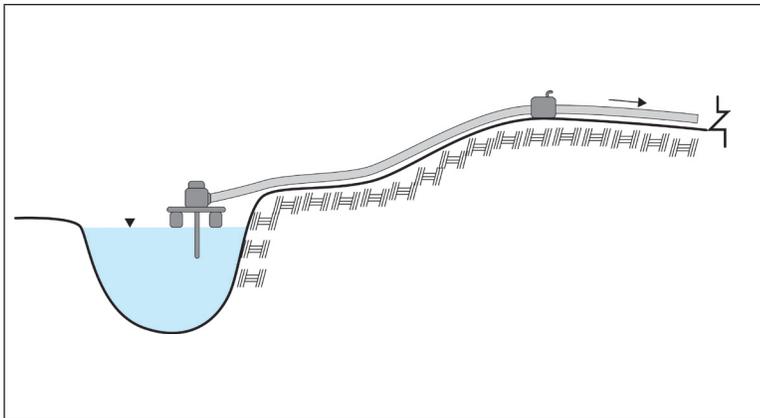
Este tipo de red de distribución entubada es la más sofisticada, ya que consiste en reemplazar la red distribución de canales por una red de tuberías con un trazo completamente diferente al trazo original de canales y con tuberías de diferentes diámetros, que operan completamente llenas y a una presión mayor que la presión atmosférica.

Un elemento importante es la unidad de bombeo que permita proporcionar la energía cinética para mover el agua, la cual puede ser extraída de un río mediante equipos montados en balsas o cárcamos de bombeo, o del subsuelo mediante pozos profundos (figura 1.7).

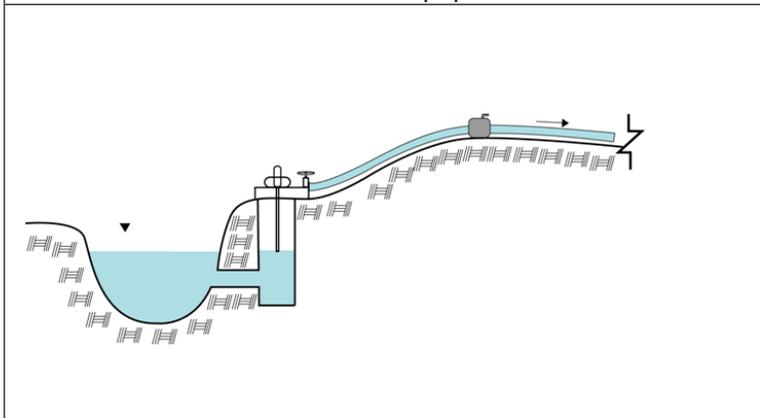
Las tuberías que se utilizan tienen diámetros de hasta 2,000 mm fabricadas con materiales de mediana y alta resistencia, como el polietileno, el polivinilo de cloruro de alta densidad o el acero. El uso del equipo de bombeo permite reducir los diámetros de las tuberías y de esta manera generar costos medios de instalación.

La red entubada con bombeo puede satisfacer la demanda de cualquier sistema de riego parcelario (multicompuertas, aspersión y localizado). Esta red presenta las mayores ventajas cuando se requiere mover volúmenes de agua menores de $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y la zona de riego presenta desniveles moderados con una energía potencial media.

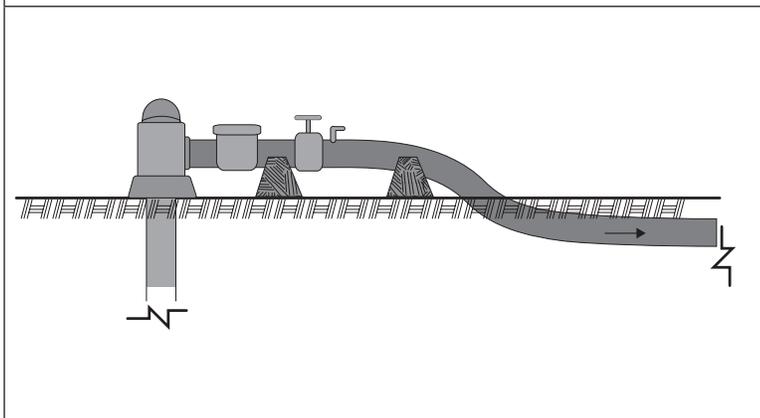
La principal desventaja consiste en que para mover el agua se requiere un equipo de bombeo, al cual está asociado un costo de operación por concepto de energía eléctrica.



a) Equipo de bombeo con extracción de un río



b) Cárcamo de bombeo



c) Pozo profundo

Figura 1.7 Fuentes de abastecimiento de una red entubada a presión

1.3 Tomas parcelarias

Por la dirección del flujo, las tomas parcelarias son la última componente de la red entubada colectiva, se encargan de proporcionar el gasto y la carga hidráulica de operación del sistema de riego parcelario. Es indispensable que las tomas parcelarias operen conforme a las reglas básicas de operación definidas durante el diseño de la red entubada colectiva. Considerando la carga hidráulica de operación de las tomas parcelarias, se pueden agrupar en tres grandes grupos: descarga a la atmósfera, baja presión y alta presión.

1.3.1 Toma parcelaria con descarga a la atmósfera

Esta toma parcelaria se utiliza para sistemas parcelarios de gravedad, y consiste en una válvula hidrante (de 160 a 300 mm de diámetro) en combinación con un registro de concreto que entregan el agua, a la presión atmosférica, a los canales revestidos o en tierra (foto 1.4).



Foto 1.4 Toma parcelaria con descarga a la atmósfera

1.3.2 Toma parcelaria de baja presión

Esta toma parcelaria se utiliza para tuberías de multicompuertas, y consiste de una válvula hidrante en combinación con un codo de arranque que entrega el agua a la tubería de multicompuertas (foto 1.5).

En un sistema de riego a baja presión, la aplicación del agua se emplea para el riego por gravedad en parcela en variantes de surcos, melgas y cajetes. Se caracterizan porque la presión de operación en el hidrante o válvula de riego es del orden de 1 a 2 mca, aunque puede utilizarse en casos especiales no mayores de 2 mca, teniendo cuidado en reducir la velocidad del agua con dispositivos como lonas o costales; este valor depende principalmente por la pérdida de energía debido a la longitud total de la tubería de compuertas, la cual para fines prácticos se recomienda que no sobrepase los 200 m de longitud. De manera general, un sistema de riego de baja presión está compuesto de los siguientes elementos (figura 1.8):



Foto 1.5 Toma parcelaria de baja presión con multicompuerta

- Fuente de abastecimiento (acuífero, río, lago, canales, presas de almacenamiento, etc.).
- Obra de toma (caja sobre canal, un cárcamo, pozo y/o equipo de bombeo).
- Red de conducción.
- Red de distribución interparcelaria y parcelaria.
- Piezas especiales de la red (coples manómetros, medidores, válvulas de aire y de control, etc.).

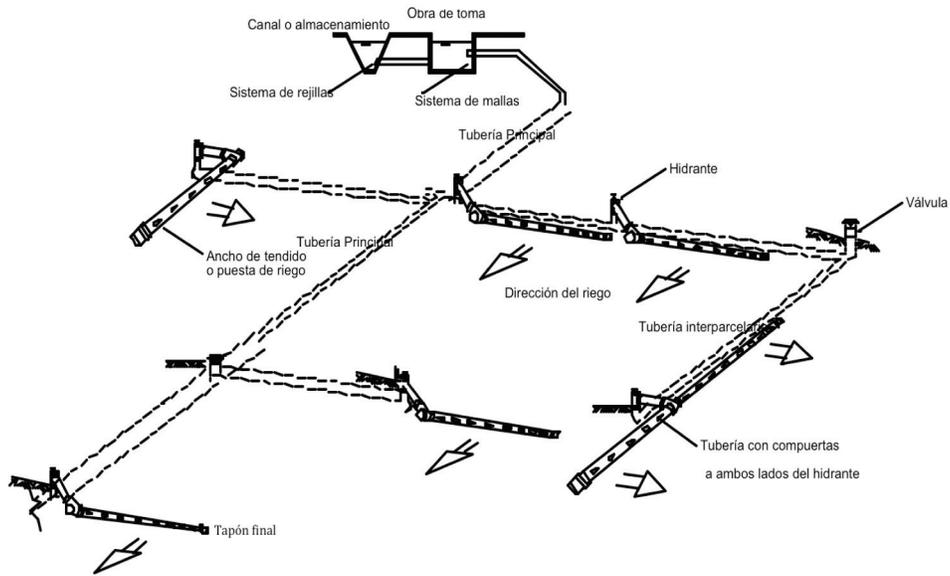


Figura 1.8 Componentes de un sistema de riego de baja presión

En la parcela se encuentran los siguientes elementos:

- Hidrantes. Son las válvulas de riego fabricados de una aleación de aluminio y fierro fundido que se unen al entubado mediante conectores roscados tipo hembra con la "Te" elevador, por donde se entrega el agua a la parcela. Los diámetros más comunes en el mercado son de 6, 8 y 10 pulgadas (150, 200 y 250 mm), en material de aluminio. También se utilizan en sistemas de riego por aspersión.
- Codo de arranque. Es un dispositivo portátil que permite la conexión entre el hidrante y la tubería con compuertas, su función principal es de abertura y cierre del hidrante, y de direccionar el flujo de agua. Permite regular el flujo o la presión de operación de la tubería regante
- Tubería de multicompuertas: Representan la innovación tecnológica más reciente en la aplicación del riego parcelario por gravedad y tiene características muy importantes para el aforo, control y manejo del agua. Se fabrican normalmente en PVC y aluminio, sin embargo,

para sistemas operados con carga hidráulica gravitacional, se puede utilizar manguera de plástico y enrollable. Los diámetros más comunes son 6, 8 y 10 pulgadas (150, 200 y 250 mm), con separación entre compuertas de 0.75 hasta 1.20 m (foto 1.6).

Los principales tipos de tubería que se utilizan para la conducción del agua de riego a baja presión, son las tuberías de PVC, de polietileno de alta densidad, así como las tuberías de polietileno de baja presión y de asbesto cemento. La presión de operación de la red de conducción y de distribución

normalmente es de 1 a 5 kg/cm², dependiendo del tamaño de la red y del desnivel topográfico al que hay que entregar el agua.

1.3.3 Toma parcelaria de alta presión

Esta toma parcelaria se utiliza para sistemas parcelarios de aspersión y localizados y consiste de una válvula hidrante con diámetros que van de 100 hasta 160 mm en combinación con dispositivos de control y protección que entrega el agua, con una carga hidráulica de 10 a 30 mca, a las secciones de riego (foto 1.7).



Foto 1.6 Tubería de multicompuertas



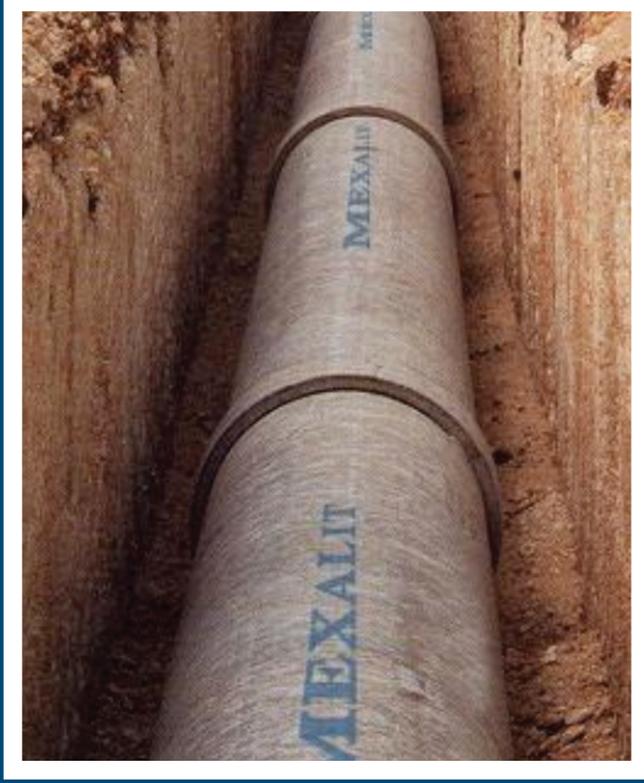
a) Para cinta regante



b) Para aspersión

Foto 1.7 Toma parcelaria de alta presión

Uno de los medios más convenientes para conducir el agua de riego es la tubería, debido a que este tipo de conducción elimina los problemas inherentes a los canales a cielo abierto y proporciona un control excelente del agua que se distribuye.



2

Materiales de redes entubadas y sus dispositivos

M.C. Pedro Pacheco Hernández

M.I. Rafael Espinosa Méndez

Uno de los medios más convenientes para conducir el agua de riego es la tubería, debido a que este tipo de conducción elimina los problemas inherentes a los canales a cielo abierto y proporciona un control excelente del agua que se distribuye.

Las tuberías no son ningún obstáculo para las labores de cultivo y cuando se instalan correctamente son de larga duración y su costo de mantenimiento es bajo; el factor de competitividad más evidente de las tuberías con respecto a los canales de riego es el aumento considerable de las eficiencias de conducción de agua desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas y la reducción del “tiempo muerto” de la conducción, ya que aunque, la fuente no esté en funcionamiento, el agua se conserva dentro de la tubería y, al iniciar el movimiento de la conducción, se le “empuja” de manera inmediata hacia la superficie.

Una tubería es la sucesión de elementos continuos generalmente rectos de sección cerrada, accesorios y dispositivos, unidos mediante juntas. La sección de una tubería puede ser rectangular, cuadrada, semicircular y circular. Desde tiempos inmemorables, las secciones más comunes fueron las cuadradas y rectangulares, construidas a base de materiales la piedra y ladrillo, unidos mediante cemento, cal y arena, y recientemente con refuerzos metálicos de hierro o acero. En la actualidad, la mayoría de las tuberías tienen sección transversal circular de diámetros constantes y fabricados con diversos materiales.

2.1 Tuberías

2.1.1 Acero

Descripción

Los aceros son aleaciones de hierro-carbono, aptas para ser deformadas en frío y en caliente. Generalmente, el porcentaje de carbono no

excede del 1.76%. Esta tubería se especifica por el diámetro nominal, el cual es siempre menor que el *diámetro interior (DI)* real de la tubería. De manera

general tiene tres clases: “estándar” (cédula 40), extrafuerte (cédula 80) y doble extrafuerte.

En general se utilizan para altas presiones y temperaturas extremas, transportando agua, vapor, aceites y gases (foto 2.1). Son fabricadas a partir de láminas o tiras anchas de acero, las cuales son colocadas sobre un cilindro y soldadas a la largo de su longitud, de manera longitudinal o en espiral, este proceso produce tubos con costura cilíndricas de extremos lisos y resistentes, utilizado cuando las presiones de diseño son altas.

Otros tubos de acero se obtienen sin costura por laminado en caliente o estirado en frío y tubos sin costura de rosca, esto en caso de diámetros menores.



Foto 2.1 Tubería de acero

Puede haber tuberías sin o con costura, las cuales dependen del soldado que se le aplica al material al ser enrollado para darle la forma tubular (foto 2.2), presentando una especie de **cicatriz** debido al proceso de soldadura, que usualmente es eléctrico o ERW (soldadura por resistencia eléctrica).



Foto 2.2 Costura de la tubería de acero

Tipos

- Tubería de acero al carbón

Se usa en gran cantidad de aplicaciones industriales manejando fluidos abrasivos y corrosivos. También es utilizada en la construcción de ductos de agua y gas (foto 2.3).

En el cuadro 2.1 se muestran las características principales de este tipo de tuberías.



Foto 2.3 Tubería de acero al carbón

- Tubería de acero inoxidable

Es utilizada en procesos donde los fluidos son corrosivos y presentan condiciones que la tubería de acero al carbón no soporta (foto 2.4).



Foto 2.4 Tubería de acero inoxidable

Poseen ciertas aleaciones de hierro y cromo que proporcionan resistencia a la corrosión y a la

oxidación a temperaturas elevadas y mantienen una resistencia considerable a esas temperaturas.

Estas aleaciones a veces contienen níquel y pequeños porcentajes de silicio, molibdeno, tungsteno, cobre y otros elementos. Este vasto y complejo grupo de aleaciones se conoce como aceros inoxidables y normalmente se clasifican en tres grupos:

- Aceros austeníticos: Contienen níquel y cromo.
- Aceros martensíticos: Son aleaciones templables con un contenido de hasta 18% de cromo.
- Aceros ferríticos: Son aleaciones con bajo contenido de carbono, que no se templan y con contenido de hasta 27% de cromo.

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.

Cuadro 2.1 Características de las tuberías de acero

Tipo	Terminado	Extremos	Diámetros	Longitud	Tipo de costura	Espesores		
				m		Cédula	Pulg.	mm
Tubería de acero al carbón								
Con costura	Negra o galvanizada	Biselados o roscados	Desde 1/4" hasta 54"	6.1	Recta (longitudinal) y helicoidal (espiral)	40 XS	3/8 1/2	375 500
Sin costura	Negra	Biselados o lisos	Desde 1/4" hasta 24"	6.1	-	40 XS	3/8 1/2	375 500
Tubería de acero inoxidable								
Con costura	Aleación o tipo de inoxidable 304 y 306	Lisos	Desde 1/4" hasta 72"	6.1	Recta (longitudinal) y helicoidal (espiral)	10 40	3/8	375
Sin costura	Aleación o tipo de inoxidable 304 y 316	Lisos	Desde 1/4" hasta 72"	Variable	-	10 40	3/8	375

Fuente: www.tuberias.mx/tuberiaacero.html

Ventajas

- Es uno de los materiales de construcción más versátil, adaptable y ampliamente usado.
- Ofrece gran resistencia y puede ser trabajado empleando numerosos métodos.
- Según la aplicación es posible obtener otros tipos de acero con otras aleaciones para conseguir propiedades adicionales.
- Cuenta con una gran gama de piezas especiales y accesorios (foto 2.5).

Desventajas

- El precio del acero es alto comparado con cualquier otra tubería.
- Requieren de un revestimiento exterior grueso y regular a base de hulla o alquitrán, Sand blast (recubrimiento para limpieza a presión de arenas) y tratamientos anticorrosivos (pinturas epóxicas anticorrosivas, cinta anticorrosiva o cintas de protección mecánica aplicadas en planta o por proyección en sitio según necesidades).

- Como la estructura de la tubería contiene poco grafito y bajo silicio son muy vulnerables a la corrosión. Tienen una vida útil prolongada solo cuando se instala, protege y mantiene correctamente, principalmente mediante el uso de pinturas epóxicas.

2.1.2 Concreto simple

Descripción

Mezcla de arena, grava, cemento y agua, utilizados en tuberías que trabajan por gravedad, sin presión o muy reducida, donde la filtración al interior o exterior no tiene consecuencias (foto 2.6).

Es común que en el diseño de conducciones de concreto se dedique atención a la agresividad del medio (presencia de sulfatos en el terreno o en el agua, transporte de agua muy puras o de pH ácido, corrosión de armaduras, tramos sobre arcillas expansivas, etc.) y de las técnicas adecuadas para combatirlos (tipo de cemento utilizado en la construcción de los tubos, pinturas superficiales



Foto 2.5 Piezas especiales y accesorios



Foto 2.6 Tuberías de concreto simple

de defensa, protección catódica, diseño de juntas flexibles, etc.).

Para un buen funcionamiento hidráulico, estos tubos deben tener una longitud uniforme y su superficie externa e interna debe estar terminada de forma tersa y sin irregularidades. Deben estar provistos de un sistema de junteo adecuado para formar, en condiciones adecuadas, una tubería continua. Las especificaciones técnicas son las siguientes:

Dimensiones: Todos los tubos tendrán un extremo macho y otro de campana para su correcta unión o “junteo”. Las características del tubo de concreto simple con junta de campana se presentan en la cuadro 2.2

Materiales: El concreto debe ser fabricado en la calidad adecuada y los requisitos establecidos. Cuando se trata de concreto simple con junta hermética deberá considerar la norma NMX-C-401

Cuadro 2.2 Diámetro, longitud y características de espesor y campana de los tubos de concreto

Diámetro interior (cm)	Longitud de colocado (cm)	Diámetro interior en campana (mm)	Profundidad de la campana (mm)	Conicidad mínima de la campana	Espesor de las paredes (mm)	Carga (Kg/cm ²)	Espesor de la campana (mm)
10	91	152	38	1:20	14	0.149	6 mm en el extremo y no menor de 3/4 del espesor del cuerpo del tubo
15	91	210	51	1:20	16	0.164	
20	91 o 122	273	57	1:20	19	0.193	
25	91 o 122	330	57	1:20	22	0.208	
30	91 o 122	387	64	1:20	25	0.223	
38	91 o 122	476	64	1:20	32	0.260	
45	91 o 122	565	70	1:20	38	0.298	
53	91 o 122	660	70	1:20	44	0.357	

Fuente: Especificaciones generales y técnicas de la construcción de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). <http://www.deconcreto.com.mx/tubos-normativa-sct.html>

y en el caso de junta de mortero (junta normal) deberá de considerar la norma NMX-C-9.

Proporción: Los agregados, el cemento y el agua se medirán, graduarán y proporcionarán en forma adecuada. Debe cuidarse que en ningún caso la proporción de cemento sea menor de 350 Kg por m³ de concreto.

Absorción de agua: La cantidad de agua absorbida no deberá pasar del 8 % del peso inicial del tubo ya seco.

La tubería debe estar absolutamente libre de roturas y grietas. En la extremidad macho se pueden permitir grietas o roturas que no lleguen a 1/3 de la profundidad de la campana, y en la campana que no lleguen a 2/3 de su profundidad. El tubo debe estar libre de burbujas, laminaciones o superficies rugosas que presenten salientes o hendiduras de más de 3 mm.

Hay que señalar que muchas de las fallas encontradas en este tipo de entubamiento se deben a la ausencia de especificaciones rígidas para la fabricación y colocación de los tubos, las investigaciones han mostrado un control insuficiente del mezclado del concreto, así como la separación de los agregados finos de los gruesos al vaciar la mezcla y en algunos casos la tendencia a utilizar una mezcla muy seca por temor a que el tubo pudiera desmoronarse cuando se quita el molde.

Otra razón para que se presenten las fallas, es que cuando se colocan los tubos no se da el debido cuidado a las condiciones de temperatura del

suelo. En lugares en donde existe gran diferencia de temperaturas entre el día y la noche, los tubos colocados durante el día se contraen en la noche lo que provoca que las juntas de concreto todavía frescas se fracturen. El peor daño es causado cuando el tubo caliente descubierto se pone a prueba con agua fría.

Conviene utilizar esta tubería equipada con empaques o rondanas de caucho, para que tengan uniones o ensambles flexibles que eviten roturas en las conexiones rígidas.

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.

Ventajas

- Disminuye el peligro de infestación de malezas.
- El costo de mantenimiento es bajo.
- Las pérdidas de conducción y evaporación son mínimas.
- No ocupa espacios susceptibles de sembrarse.
- Disminuyen considerablemente las labores de conservación.
- En suelos que presentan arcillas expansivas, la sustitución con material inerte en canales es cuando menos 10 veces mayor que el requerido para una zanja para la tubería.

Desventajas

- Elevado costo inicial.
- Requiere de personal especializado al momento de la instalación.
- En suelos rocosos se incrementa el costo de la línea entubada.

2.1.3 Concreto reforzado

Descripción

Se caracteriza por tener una armadura metálica longitudinal compuesta por aros de acero y armadura transversal, lo que le proporciona una mayor resistencia y durabilidad con relación al concreto simple (foto 2.7).

Los aspectos descritos para la tubería de concreto simple son aplicables a este tipo de tuberías de concreto reforzado. Cuando se trata de concreto reforzado con junta hermética deberá considerar la norma NMX-C-402 y en el caso de junta de mortero (junta normal) deberá de considerar la norma NMX-C-20. Las características del tubo de concreto reforzado con junta de campana se presentan en la cuadro 2.3.

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación para este tipo de material.



Ventajas

- Disminuye el peligro de infestación de maleza.
- Presenta mayor resistencia que el concreto simple.
- El costo de mantenimiento es bajo.
- Las pérdidas de conducción y evaporación son mínimas.
- No ocupa espacios susceptibles de sembrarse.
- Disminuyen considerablemente las labores de conservación.
- En suelos que presentan arcillas expansivas, la sustitución con material inerte en canales es cuando menos 10 veces mayor que el requerido para una zanja para la tubería.

Desventajas

- Elevado costo inicial.
- Requiere de personal especializado al momento de la instalación.
- En suelos rocosos se incrementa el costo de la línea entubada.



Foto 2.7 Tuberías de concreto reforzado

Cuadro 2.3 Diámetro, longitud y características de espesor y campana de los tubos de concreto reforzado

Diámetro interior (cm)		Refuerzo en cm ² por metro lineal de tubo				Resistencia (kg/cm ²) por metro lineal de tubo	
Nominal	Real	Espesor de la pared (mm)	Refuerzo circular en tubos circulares		Refuerzo elíptico en tubos circulares (cm ²)	Carga que produce una grieta de 0.25 mm	Carga máxima
			Armado interior (cm ²)	Armado exterior (cm ²)			
Concreto f'c = 280 kg/cm²							
30	30.5	5.1	1.6	-	-	0.300	0.445
38	38.1	5.7	2.3	-	-	0.370	0.560
45	45.7	6.4	3.3	-	2.6	0.445	0.670
53	53.3	7.0	4.7	-	4.0	0.520	0.780
60	61.0	7.6	6.3	-	5.4	0.595	0.890
69	68.6	8.3	7.2	-	5.8	0.670	1.005
75	76.2	8.9	8.2	-	6.5	0.745	1.115
84	83.8	9.5	6.3	4.7	7.0	0.820	1.225
90	91.4	10.2	7.0	5.1	7.7	0.890	1.340
105	106.7	11.4	8.2	6.1	9.1	1.040	1.560
122	121.9	12.7	9.8	7.5	11.0	1.190	1.785
137	137.2	14.0	11.6	8.6	12.8	1.340	2.010
Concreto f'c = 350 kg/cm²							
150	152.4	15.2	13.7	10.5	15.4	1.485	2.230
168	167.6	16.5	16.1	12.1	17.9	1.635	2.455
183	182.9	17.8	18.4	14.0	20.5	1.785	2.675

Fuente: <http://www.deconcreto.com.mx/tubos-normativa-sct.html>

2.1.4 Asbesto-cemento

Descripción

Son tuberías fabricadas con una mezcla homogénea de cemento portland o portland puzolánico y fibras de asbesto, exento de materia orgánica y con o sin adición de sílice, procesado de acuerdo con un sistema de fabricación con determinadas características de resistencia a tensión, flexión y compresión.

Presenta una superficie interior lisa y acabada que garantiza un coeficiente de fricción permanente durante todo su periodo de funcionamiento (foto 2.8).

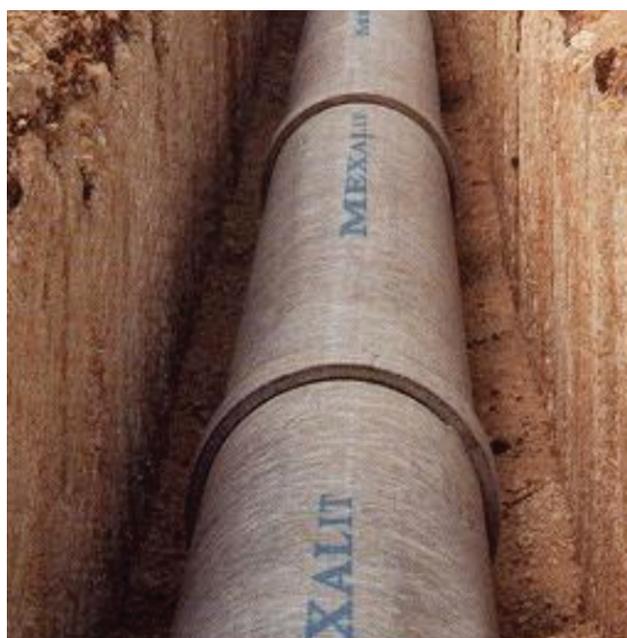


Foto 2.8 Tubería asbesto-cemento

El tubo se fabrica en unidades estándar de 4 metros de longitud, que se unen con juntas especiales de asbesto cemento y anillos de goma o caucho, o cerradas con asfalto caliente.

Dada la superficie lisa del tubo y la longitud de las secciones que se pueden colocar, es posible utilizar de uno a dos diámetros de los tubos comerciales más pequeños. Este hecho y la facilidad de instalación hacen competitivo al tubo de asbesto cemento en relación con el tubo de concreto simple.

Los tubos están provistos de un sistema de unión especial o de un sistema de juntas diseñadas para poder formar, cuando el caso lo requiera, una tubería continua. Por otra parte, deben ser capaces de resistir las presiones de prueba a que se someterán sin que se presenten fugas en las uniones o juntas.

Tipos

Los tubos de asbesto cemento se clasifican en dos tipos, de acuerdo a su contenido de hidróxido de calcio libre:

Tipo I: Tubo con un contenido de hidróxido de calcio libre mayor a 1%. No se recomienda su uso en suelos agresivos que tienen mucho cloruro o en zona costera ya que pueden ser atacados por los sulfatos.

Tipo II: Tubos con un contenido de hidróxido de calcio libre hasta 1%. Resisten toda clase y concentración de sulfatos solubles con PH =7 y uso para todo tipo de suelo.

Por su resistencia mínima de ruptura al aplastamiento, los tubos para conducción de agua se clasifican en:

Clase A: Son tubos que se usan en redes de distribución donde el cálculo de las presiones y gastos son aproximados sin saber con precisión las condiciones hidráulicas reales debido a diversos factores como son cargas externas, inserciones para tomas domiciliarias, deficiencias de operación que pueden provocar continuos golpes de ariete. En el cuadro 2.4 se presenta la resistencia de presión máxima interna de trabajo para esta clase de tuberías.

Cuadro 2.4 Clasificación por presión hidrostática de tubos de asbesto-cemento

Clase	Presión de prueba (kg/cm ²)
A-2.5	8.75
A-5	17.5
A-7	24.5
A-10	35.0
A-14	49.0

Fuente: PEMEX (2000).

Clase T: Se usan exclusivamente para líneas de conducción a presión donde se puede conocer y prever con más certeza su funcionamiento, sobre todo el fenómeno de golpe de ariete y consecuentemente las condiciones hidráulicas.

Los tubos de presión de asbesto cemento serán de un sólo grado de calidad, por lo que respecta a los materiales constituyentes que intervengan en su fabricación.

La presión de rotura de los tubos no será menor de 5 veces la nominal de trabajo en diámetros hasta de 100 mm y de 4 veces en diámetros de 150 a 900 milímetros

Cada tubo y sus coples, se prueban en fábrica con un coeficiente de seguridad de 3.5 veces la

presión de trabajo especificada. La prueba se lleva a cabo sometiendo a presión los tubos y coples durante cinco segundos.

Instalación

En el cuadro 2.5 se presentan las dimensiones recomendables de las zanjas para la instalación de la tubería (figura 2.1).

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.

Ventajas

- **Duración:** Por el origen mineral de la tubería no está sujeta a procesos de corrosión; su

superficie en contacto con el subsuelo no es afectada por las sales, ácidos, materia orgánica o de putrefacción que pudieran existir.

- **Factores de flujo:** Debido a la superficie interior tersa y acabada, presenta una mayor capacidad de conducción con una pérdida de carga menor, lo que permite un menor consumo de energía en el caso de los sistemas de bombeo y un menor costo de operación.
- Disminuye el peligro de infestación de malezas.
- Al no corroerse, presenta costos de mantenimiento bajos.
- Las pérdidas de conducción y evaporación son mínimas.
- No ocupa espacios susceptibles de sembrarse.
- Disminuyen considerablemente las labores de conservación.

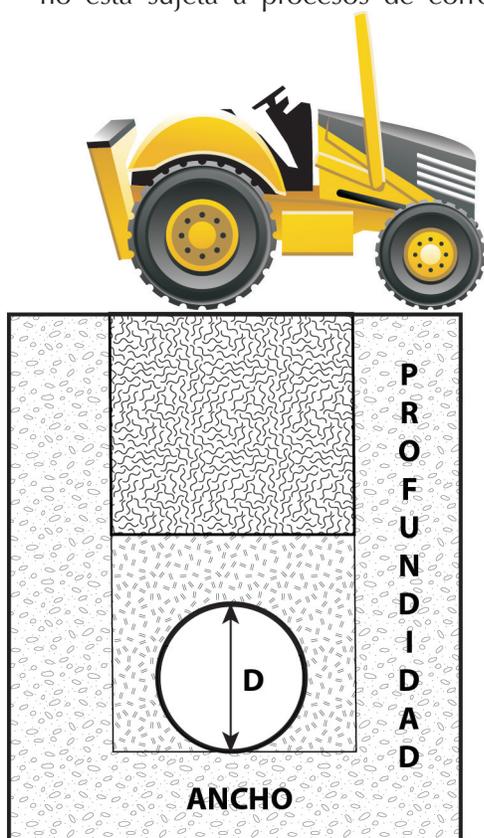


Figura 2.1 Instalación de la tubería de asbesto-cemento

Cuadro 2.5. Dimensiones de zanja para la instalación de la tubería de asbesto-cemento

Diámetro nominal (D)		Ancho	Profundidad
(cm)	(Pulg.)	(cm)	(cm)
5.0	2.0	60.0	70.0
6.0	2 ½	60.0	100.0
7.5	3.0	60.0	100.0
10.0	4.0	60.0	100.0
15.0	6.0	70.0	110.0
20.0	8.0	75.0	115.0
25.0	10.0	80.0	120.0
30.0	12.0	85.0	125.0
35.0	14.0	90.0	130.0
40.0	16.0	100.0	140.0
45.0	18.0	115.0	145.0
50.0	20.0	120.0	150.0
60.0	24.0	130.0	165.0

Fuente: PEMEX (2000)

- En suelos que presentan arcillas expansivas, la sustitución con material inerte en canales es cuando menos 10 veces mayor que el requerido para una zanja para la tubería.

Desventajas

- Elevado costo inicial.
- Requiere de personal especializado al momento de la instalación.
- En suelos rocosos se incrementa el costo de la línea entubada.

2.1.5 Cloruro de polivinilo (PVC)

Descripción

El cloruro de polivinilo es un material plástico sintético, clasificado dentro de los termoplásticos, materiales que arriba de cierta temperatura se convierten en una masa moldeable a la que se le puede dar la forma deseada, y por abajo de esa temperatura se transforman en sólidos. En la actualidad, los materiales termoplásticos constituyen el grupo más importante de los plásticos comerciales.



a) Lisa

En el mercado nacional se encuentran dos tipos de tubería de PVC, la normal lisa y la corrugada en su exterior (pero lisa en su interior), las cuales presentan diferencias en diámetros disponibles y costos (foto 2.9).

Existen varios tipos de uniones entre secciones de tubería de PVC, entre los cuales se puede mencionar “Cementar” (se une con adhesivos) y “combinación de Campana y Anillo” (se une por acople). Ambos tipos de unión proporcionan una superficie interior lisa que permite el libre flujo del agua y desechos. Las uniones son herméticas, de fácil y rápida ejecución.

Para entubamientos a baja presión y enterrados son de interés solamente las tuberías de presiones máximas de trabajo de 5 kg/cm² (clase 5) y la clase 3 para conducciones superficiales; hay que indicar que el número de clase corresponde a la presión máxima de trabajo en kg/cm². En el cuadro 2.6 aparecen las clases de la serie métrica (tubo blanco), así como sus correspondientes espesores y diámetros interiores promedio.



b) Corrugada

Foto 2.9 Tubería de PVC

Cuadro 2.6 Tubo hidráulico de PVC (liso), serie métrica, diámetros y espesores promedios

Diámetro Nominal o exterior (mm)	Espesor promedio (e) y Diámetro interior promedio (d) en mm					
	Clase y presión (kg/cm ²) máxima de trabajo 5		Clase y presión (kg/cm ²) máxima de trabajo 7		Clase y presión (kg/cm ²) máxima de trabajo 10	
	e	d	e	d	e	d
50	-	-	-	-	2.0	46.1
63	-	-	1.7	59.7	2.4	58.3
80	1.7	76.8	2.2	75.8	3.1	74.0
100	2.0	96.2	2.7	94.8	3.8	92.6
160	3.1	154.0	4.2	151.8	5.9	148.4
200	3.8	192.6	5.3	189.6	7.4	185.4
250	4.7	240.9	6.5	237.3	9.2	231.9
315	6.0	303.3	8.2	298.9	11.6	292.1
355	6.6	342.4	9.3	337.0	12.9	329.8
400	7.5	385.6	10.4	379.8	14.6	371.4
450	8.4	433.9	11.7	427.3	16.4	417.9
500	9.4	482.0	12.9	475.0	18.2	464.4
630	11.8	607.4	16.3	598.4	22.9	585.2

Fuente: Manual de construcción de sistemas para abastecimiento de agua potable con tubería de PVC Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

La tubería de PVC corrugada, ofrece tubos, conexiones y accesorios de PVC de 1 kg/cm² de presión máxima de trabajo capaces de conducir a baja presión gastos de hasta 4 m³/s, a un costo más bajo que la tubería lisa.

Una de las mayores ventajas de la tubería corrugada es que puede ser fabricada en cualquier longitud, ya sea en fábrica o en el sitio del proyecto. Los accesorios como tees y codos se fabrican de la misma tubería. Se pueden utilizar válvulas de compuerta, válvulas de paso de baja presión, así como aditamentos de admisión y expulsión de aire.

La tubería corrugada se usa generalmente en aplicaciones de baja presión y gravedad, pero debido a los diferentes comportamientos obtenidos de las combinaciones de las relaciones diámetro y gama de perfiles, se necesita una evaluación

técnica apropiada para asegurar que la tubería sea instalada correctamente y cubra los criterios de operación, tomando en cuenta que la presión máxima de trabajo es de 1 kg/cm², es decir, el equivalente a 10 m de carga de posición en la línea de conducción; por tal motivo se deben hacer pruebas que garanticen la hermeticidad y resistencia de los materiales como son: carga estática, carga dinámica y vacío; en conjunto con técnicas de instalación (relleno).

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.

Ventajas

- **Ligereza:** El peso de un tubo PVC es aproximadamente la mitad del peso de un tubo de aluminio y alrededor de un quinto del peso de un tubo de acero de iguales dimensiones.

- **Paredes lisas:** Presenta un bajo coeficiente de fricción, que permite un mayor caudal transportable a igual diámetro con respecto a las tuberías tradicionales; además, el área hidráulica se mantiene constante a través del tiempo, ya que lo liso de su pared no propicia incrustaciones.
- **Resistencia a la corrosión:** Son inmunes a la corrosión química o electroquímica que normalmente afectan a los sistemas de tuberías enterradas, puesto que es un material resistente a ácidos y bases, y proporciona una mayor durabilidad a las instalaciones.
- Tiene una alta flexibilidad que les permite un comportamiento mejor frente a los siguientes esfuerzos: sobrepresiones momentáneas (golpe de ariete) y cargas externas.
- Fácil manejo, instalación y mantenimiento.
- Ahorro en gastos de transporte, tiempo de instalación y mano de obra.
- Cuenta con una gran gama de piezas especiales y accesorios como coples de reparación y de transición, codos desde 11 hasta 90 grados, reducción campana y espiga, tapón campana y espiga, extremidad campana y espiga, adaptador campana y espiga, tee, cruz, coples, brida ciega y movable, brida roscar, adaptadores macho y hembra, tuerca unión, reducción bushing, “yee”, tapa rosca y cementar, niples, anillos y empaques (foto 2.10)



Foto 2.10 Piezas especiales y accesorios de PVC

- La tubería de PVC no debe quedar expuesta por periodos prolongados a los rayos ultravioleta, porque éstos pueden afectar ciertas propiedades mecánicas de la tubería.
- Las tuberías sufren raspaduras fácilmente.
- Presentan un coeficiente de dilatación longitudinal de 0.054 mm por cada incremento en un grado Celsius de temperatura por metro de tubo, por lo tanto, en todas las instalaciones hay que tomar en cuenta la dilatación y contracción de los tubos por efecto de los cambios de temperatura, a fin de que estos puedan deslizarse sin que existan esfuerzos perjudiciales que afecten sus acoplamientos. Para fines prácticos, se considera que un tubo de PVC de 6 metros de longitud se expande o se contrae tres milímetros por cada diez grados Celsius de variación.

Desventaja

- A temperaturas inferiores a 0°C, la tubería reduce su resistencia al impacto.
- Cuando una tubería va a trabajar a temperaturas mayores de 25 °C, debe reducirse la presión de trabajo, puesto que al aumentar la temperatura, el PVC disminuye su resistencia a la tracción.

2.1.6 Cloruro de polivinilo biorientado dúctil (PVC-O)

Descripción

La tubería de cloruro de polivinilo biorientado dúctil se caracteriza por la doble orientación de las moléculas (foto 2.11), formando una “red” que

le permite soportar mayor “presión hidráulica”, es decir, la fuerza requerida para tensionar la estructura molecular biorientada es mucho mayor que la requerida en las tuberías de PVC-U (tradicional).



Foto 2.11. Tubería de PVC biorientado dúctil (PVC-O)

Los planos moleculares biorientados aumentan considerablemente las propiedades mecánicas de la tubería. Estos planos responden a las fallas en forma “independiente”, sin transmitir la falla a los planos siguientes. Esta fortaleza se ve reflejada en la resistencia a la fractura frágil por daño externo por impacto y a la propagación lenta de fracturas (respuesta dúctil ante las fallas).

En el cuadro 2.7 aparece la información correspondiente a los diámetros, espesor y longitud disponibles.

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.

Ventajas

- Resistencia: Con relación a las tuberías de PVC-U (tradicional), presenta hasta un 50% más de resistencia a la tensión en el sentido diametral (815.56 kg/cm² con respecto a los 534.33 kg/cm² de la tubería PVC-U). Así mismo, en cuanto a la resistencia hidrostática es 55% superior a la tubería de PVC-U (28 MPa con respecto a los 12.5 MPa de la tubería PVC-U). Estas características determinan una vida útil de por lo menos 50 años en condiciones normales de operación.
- Fortaleza: Por los planos biorientados, la tubería ofrece mayor resistencia al impacto, a la fractura frágil y a la propagación de fracturas.

Cuadro 2.7 Tubo hidráulico de PVC-O

Diámetro			Longitud	Espesor de pared (presión de trabajo a 23°C de 11 kg/cm ²)
Nominal	Exterior	Interior		
(Pulg.)	(mm)	(mm)	(m)	(mm)
4	114.30	109.26	6.0	2.52
6	168.28	160.86	6.0	3.71
8	219.08	209.42	6.0	4.83
10	273.05	261.01	6.0	6.02
12	323.85	309.57	6.0	7.14

Fuente: Manual técnico de tubosistemas AMANCO BIAxIAL. PVC Biorientado dúctil.

- Flexibilidad: Por sus características el tubo se puede flexionar hasta el 3% de su diámetro interno.
- Menor espesor de pared: Que promueve una mayor flexibilidad, menor peso, más fácil manipulación, beneficios para la salud y seguridad humana, se incrementa la capacidad de transporte de agua, ahorros en instalación y energía consumida para la operación de los sistemas, etc.
- Paredes lisas: Presenta un bajo coeficiente de fricción, que permite un mayor caudal transportable a igual diámetro con respecto a las tuberías tradicionales; además, el área hidráulica se mantiene constante a través del tiempo, ya que lo liso de su pared no propicia incrustaciones.
- Resistencia a la corrosión: Son inmunes a casi todos los tipos de corrosión químicas o electroquímicas que normalmente afectan a los sistemas de tuberías enterradas, puesto que es un material resistente a ácidos y bases, y proporciona una mayor durabilidad a las instalaciones. Efectos galvánicos y electroquímicos no existen, ya que los componentes de estos materiales no son conductores de electricidad. No sufren daños por aguas o suelos agresivos, en consecuencia

no requieren de protecciones catódicas, recubrimientos especiales o pinturas.

- Ataque biológico: No es atacada por micro o macrorganismos ya que el material no sirve como nutriente para estos organismos.
- No presentan problemas de abrasión ni formación de tubérculos.
- Fácil manejo, instalación y mantenimiento.
- Ahorro en gastos en transporte, tiempo de instalación y mano de obra.
- Cuenta con una gran gama de piezas especiales y accesorios (foto 2.12)

Desventajas

- A temperaturas inferiores a 0°C, la tubería reduce su resistencia al impacto.
- Cuando una tubería va a trabajar a temperaturas mayores de 25 °C, debe reducirse la presión de trabajo, puesto que al aumentar la temperatura, el PVC disminuye su resistencia a la tracción.
- La tubería de PVC-O no debe quedar expuesta por periodos prolongados a los rayos ultravioleta, porque éstos pueden afectar ciertas propiedades mecánicas de la tubería.
- Limitada gama de diámetros disponibles.



a) Codos



b) Tees



c) Extremidad campana

Foto 2.12 Piezas especiales y accesorios de PVC-O

2.1.7 Polietileno de alta densidad (PEAD)

Descripción

El polietileno es el resultado de la polimerización del etileno y es el plástico más popular del mundo. Su aplicación en la fabricación de tuberías presenta aplicaciones en minería, energía, conducciones eléctricas e industriales, telecomunicaciones, gas natural y agua (potable, de riego y residuales).

Foto 2.13

Esta tubería utiliza un sistema de franjas identificadas por colores de acuerdo con su aplicación específica:

- Franja amarilla para distribución de gas.
- Franja roja para servicio de tubo principal subterráneo de agua contra incendios.

- Franja azul para sistemas de agua potable o de riego.
- Franja verde para los sistemas de agua residuales y alcantarillado.

Para el caso de conducción de agua de riego, la tubería PEAD está protegida contra la degradación causada por los rayos ultravioleta y el calor, por lo que tienen una larga duración en instalaciones al aire libre.

Las uniones de tuberías y conexiones de PEAD se llevan a cabo por medio de termofusión (foto 2.14), esto es calentando simultáneamente, las dos partes por unir hasta alcanzar el grado de fusión necesario para que después, con una presión controlada sobre ambos elementos, se logre una unión monolítica más resistente que la tubería misma y 100% hermética.



Foto 2.13 Tubería PEAD



Foto 2.14 Equipo de termofusión

Cuando es necesario hacer una transición entre sistemas de PEAD y otro tipo de materiales, los fabricantes disponen de uniones mecánicas como son los adaptadores bridados y de compresión.

Instalación

La zanja debe excavarse de acuerdo a la alineación requerida y profundidad mostrada en la figura 2.2. El ancho de la zanja variará con su profundidad y también con el tipo de arena presente. Se recomienda abrir zanjas para la instalación de acuerdo a la longitud de la tubería ensamblada sobre la zanja (cuadro 2.8).

El ancho de la cama debe permitir una adecuada compactación alrededor de la tubería. El material excavado, si es piedra libre y se fractura bien por la excavadora, puede ser un apropiado asiento de la tubería.

En el cuadro 2.9 se presentan las características técnicas y de instalación de éste tipo de material.

Ventajas

- Vida útil de más de 50 años con bajos costos de operación y mantenimiento.
- **Resistencia química:** Es sobresaliente. La mayoría de los agentes químicos, ácidos, sales y suelos no atacan la tubería de PEAD, ni le causan degradación. No se oxida, pudre o corroe. No permite desarrollo de bacterias o algas.
- **Resistencia estructural:** Soporta cargas verticales transfiriendo la mayor parte de la carga al suelo.
- **Factores de flujo:** Tiene una superficie interior sumamente lisa. Mantiene excelentes propiedades de flujo durante toda su vida de servicio debido a su sobresaliente resistencia a la abrasión y agentes químicos. Gracias a sus paredes lisas y con características “no mojantes”, cuenta con una capacidad de caudal mayor y menor pérdida por fricción, lo que se traduce en ahorros en el costo de operación.
- **Flexibilidad:** En todos los diámetros de tubería es posible disminuir considerablemente la cantidad de codos para el cambio de dirección

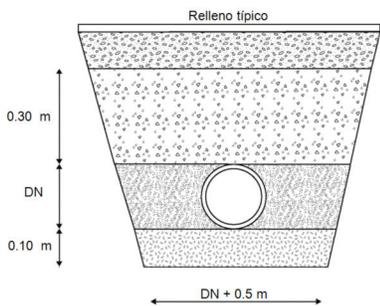


Figura 2.2 Instalación de la tubería PEAD

Cuadro 2.8 Ancho de zanja (m) para la instalación de PEAD con base en el diámetro y profundidad

Diámetro nominal (DN)	Profundidad de la zanja (m)						
	(cm)	0.9	1.5	2.1	2.7	3.3	3.9
1.3- 7.6	0.45	0.54	0.63	0.69	0.76	0.82	0.85
10.2 – 20.4	0.76	0.91	1.06	1.21	1.36	1.45	1.54
25.4 – 35.6	0.97	1.21	1.45	1.67	1.82	1.97	2.01
40.6 – 55.9	1.21	1.52	1.85	2.06	2.27	2.48	2.67
60.9 – 101.6	1.67	2.09	2.48	2.82	3.09	3.36	3.61
106.7 – 160.0	2.06	2.64	3.12	3.55	3.91	4.24	4.55

Fuente: REVINCA C.A.

si el radio de curvatura de la tubería se conserva con un mínimo de 10 a 22 veces el diámetro del tubo.

- **Ligereza:** Esta tubería pesa mucho menos que tuberías de concreto, acero asbesto-cemento y fierro fundido. Su peso específico es de 0.95 a 0.965 kg/m³ por lo que inclusive puede flotar en el agua, característica que se refleja en ahorros substanciales en mano de obra y manejo para acarreo e instalación de la tubería.
- **Cambios de temperatura:** Toda la tubería fabricada a base de termoplásticos son sensibles a los cambios de temperatura. Conforme la temperatura aumenta, la resistencia de la tubería a esfuerzos prolongados disminuye y viceversa.
- **Resistencia:** La tubería no es frágil ni excesivamente rígida, se flexiona ajustándose al contorno natural del terreno y absorbe esfuerzos por impacto, por lo que no requiere de zanjas profundas. Solo en terreno rocoso se recomienda proteger la tubería del contacto directo de piedras agudas.
- Cuenta con una gran gama de piezas especiales y accesorios como bridas, codos, silletas, reducciones, etc. (figura 2.3)
- **Factor de servicio:** Presenta un elevado factor de servicio, por ejemplo para un factor de servicio 4 que se recomienda para líneas expuestas a

movimientos de terrenos o tráfico pesado, líneas a intemperie o con fluidos hasta 37 °C; en el cuadro 2.9 se presentan las presiones de reventamiento.

Cuadro 2.9 Presiones para una tubería de PEAD con factor de servicio 4

RD*	Presión (kg/cm ²)	
	De trabajo	De reventamiento
7.3	7.8	64.7
9.0	14.0	56.0
11.0	11.2	45.0
13.5	9.0	36.0
15.5	8.0	32.0
17.0	7.0	38.0
21.0	5.6	22.4
26.0	4.5	18.0
32.5	3.6	14.4
41.0	2.8	11.2

* = Relación de dimensiones RD = D/e, donde D = Diámetro exterior del tubo y e = Espesor mínimo

Fuente: REVINCA, C.A.

Desventajas

- Requiere de personal y equipo especializado para la instalación, así como para el mantenimiento en caso de alguna rotura.



Figura 2.3 Piezas especiales y accesorios de PEAD

2.1.8 Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

Descripción

El poliéster reforzado con fibra de vidrio es un material constituido por una estructura resistente de fibra de vidrio y un material plástico que actúa como aglomerante de las mismas. Las materias básicas son: resina de poliéster insaturado, fibras de vidrio y cargas inertes.

El refuerzo de fibra de vidrio, provee al compuesto: resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor. La resina plástica aporta resistencia química dieléctrica y comportamiento a la intemperie.

Las tuberías de PRFV llevan un acabado superficial interno con terminación espejo y sección perfectamente circular, debido a que estos se moldean sobre matrices de una sola pieza (foto 2.15).



Foto 2.15 Tubería de PRFV

La tubería de PRFV clasifica su presión de trabajo en base al concepto de presión nominal PN. Así por ejemplo, si se tiene una tubería funcionando

a 16 bar, corresponde con una presión de trabajo PN 16. Esta presión permite un incremento en el concepto de golpe de ariete hasta un 40%, es decir, que dicha tubería con PN 16, podrá absorber una sobrepresión de 6.4 bar de golpe de ariete.

Las tuberías de PRFV son elásticas lo que permite deformaciones verticales del 5% a largo plazo sin que se produzcan daños estructurales en la misma. El hecho de tratarse de un material elástico hace que la celeridad de la onda de sobrepresión, en sistemas de tuberías sometidas a cierres rápidos de válvulas, sea inferior a la de otras tuberías cuyos materiales no ofrecen estas características de flexibilidad. Como consecuencias de esta menor acción perjudicial ocasionada por el golpe de ariete, se pueden diseñar sistemas de alivio más simples y económicos.

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.

Ventajas

- **Flexibilidad y resistencia:** Los plásticos reforzados son un material flexible pero a su vez, muy resistente mecánicamente. Sometido a un esfuerzo de tracción, se deforma proporcionalmente, o sea, que cumple con la Ley de Hooke, con la particularidad de que la rotura se produce sin presentar fluencia previa. Su peso específico (1.8 Kg/dm^3) es mucho menor que el de los materiales tradicionales, lo que hace que el PRFV posea una alta resistencia específica.
- **Factores de flujo:** Debido a sus propiedades anticorrosivas es difícil la adhesión de incrustaciones en su superficie, por lo que las

tuberías no aumentan su rugosidad y la sección interna no disminuye, aún en largos periodos de tiempo. Por lo anterior se logra una gran economía en la elección del área de flujo, con respecto a los materiales tradicionales lo que adquiere gran importancia en tuberías de grandes diámetros.

- El PRFV es inerte a una gran cantidad de compuestos, resistiendo perfectamente la corrosión de los suelos más agresivos y al ser un material dieléctrico está excluido de los casos de corrosión electroquímica, de modo que no es necesario de disponer de protección anticorrosiva.
- **Ligereza:** Debido al menor peso de las tuberías de PRFV, éstas suelen comercializarse en longitudes de 6, 12 y 18 metros a partir de 300 mm de diámetro. En un principio esta característica que pudiera parecer que sólo influye en la facilidad de montaje, también hace que se produzca una mayor facilidad y menor tiempo invertido en la instalación de la tubería, redundando en una disminución del plazo de ejecución de la obra y por tanto se adelanta la

puesta en servicio de la instalación. Tramos de mayor longitud producen un menor número de juntas lo que hace disminuyan los riesgos de filtraciones y averías durante la vida útil de la conducción.

- Existe una gran diversidad de piezas especiales y accesorios (foto 2.16)

Desventajas

- Problemas de fragilidad en el caso de exposición al sol.
- Requiere de personal calificado para su instalación.

2.1.9 Hierro dúctil

Descripción

Los tubos de hierro fundido dúctil son fabricados por centrifugación en molde metálico y están provistos de una junta con campana en cuyo interior se aloja un empaque, asegurando una estanqueidad perfecta en la unión entre tubos (foto 2.17).



Foto 2.16 Piezas especiales y accesorios de PRFV

Las juntas son del tipo automático Espiga-Campana. El material utilizado para los empaques es un material tipo elastómero EPDM (Etileno-Propileno) o SBR (Estireno Butadieno), seleccionado de forma rigurosa bajo criterios que integran el mantenimiento de sus características físico-químicas en el tiempo. La junta debe permitir una serie de características funcionales como facilidad de instalación, desviaciones angulares, juego axial, aislamiento eléctrico entre tubos, buen comportamiento ante la inestabilidad del terreno, etc.

Cada tubo con campana tiene dos líneas circunferenciales junto al extremo de la espiga que permiten verificar visualmente que la espiga quedó debidamente insertada en la campana. Para la instalación de los tubos y piezas especiales con campana se utiliza una pasta lubricante a base de vaselina, no soluble y suministrada con la tubería.

Los tubos se encuentran revestidos exteriormente con zinc metálico puro aplicado por electro deposición con una capa no inferior a 130 gr/m²

recubierta por una capa de pintura bituminosa, cuyo espesor debe ser superior a 70 micras; todos los tubos llevan un revestimiento interior de mortero de cemento Portland o alto horno, aplicado por vibro-centrifugación del tubo (figura 2.4).

La protección interior de los tubos está asegurada por un mortero de cemento. Este cemento asegura las excelentes condiciones de capacidad hidráulica. La protección exterior de los tubos está asegurada por una capa de zinc y una capa de barniz bituminoso (recubrimiento activo que se adapta a la mayoría de los suelos, previniéndolos contra la corrosión de los mismos).

Los tubos son clasificados por el prefijo de la letra C basados en las presiones de funcionamiento admisible y diámetro requerido, seleccionándose la clase según la presión máxima de diseño.

En el cuadro 2.10 se presentan las características técnicas y de instalación de este tipo de material.



Foto 2.17 Tubería de hierro dúctil

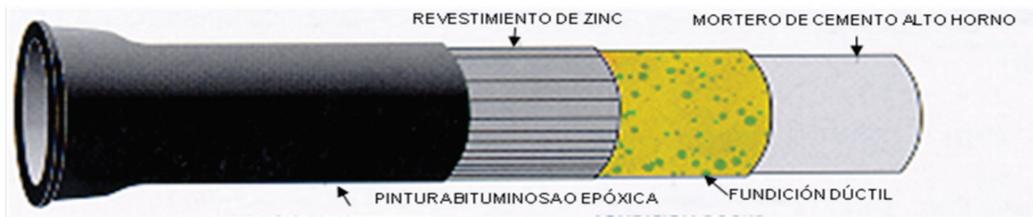


Figura 2.4 Capas de la tubería de hierro dúctil DN 80 a 2000

Ventajas

- **Seguridad mecánica:** Excelente resistencia a la presión interior y a la acción de las tierras sobre el tubo enterrado.
- **Estanqueidad total:** Proporcionada por la junta de elastómero que garantiza filtraciones nulas y se constituye en un punto de discontinuidad eléctrica.
- Seguridad frente a las agresiones del medio externo (choques, suelos, etc.) e interno (agresividad del agua transportada).
- Por la forma esferoidal del grafito, el hierro fundido dúctil adquiere las siguientes características mecánicas: resistencia a la tracción, resistencia a los choques, alto límite elástico y un alargamiento importante, conservando las cualidades tradicionales de los hierros fundidos grises como resistencia a la compresión, aptitud al moldeo, resistencia a la abrasión, maquinabilidad y resistencia a la fatiga. Estas características mecánicas son excelentes y son ligeramente superiores a las de un acero clásico.
- Por los recubrimientos especiales de la tubería esta exenta a la corrosión.
- La vida útil de la tubería está estimada en un mínimo de 50 años, sin presentar ningún tipo de problema.
- No tiene problemas de ovalización y presenta resistencia al pandeo, por lo tanto no necesita de un relleno particular y ni de un compactado controlado. Por el contrario ofrece seguridad con el paso del tiempo en las sollicitaciones mecánicas o de las condiciones de apoyo.
- Gracias a las juntas flexibles, los tubos poseen la facultad de responder al comportamiento de las ondas sísmicas durante un terremoto.
- La instalación de los tubos es sencilla y rápida. No se requiere de equipo especializado ni personal altamente calificado lo que permite alcanzar niveles de rendimiento elevados.
- Para la instalación no se requiere personal numeroso ni especializado en soldadura, termofusión, etc.
- No requiere equipos especiales de instalación o compactación.
- Las reparaciones eventuales en la conducción son fáciles de realizar debido a la existencia de una gran diversidad de piezas especiales y accesorios estándar (figura 2.5).



Figura 2.5 Piezas especiales en hierro dúctil

Desventajas

— Alto costo comparable al del acero.

Cuadro 2.10 Características técnicas y de instalación de las tuberías

Material	Diámetros	Long. tramo	Clases	Presión máx.	Coef. H-W
	(mm)	(m)		(kg/cm ²)	
Acero	15 a 600	Variable	Cédula 40 (estándar) Cédula 80 (extrafuerte) Doble extrafuerte	STD = 49 XS = 60 STD = 49 XS = 66	130
Concreto simple	100 a 530	0.91 a 1.22	Única	0.149 a 0.357	120 a 140
Concreto reforzado	300 a 1,830	0.91 a 1.22	Única	0.445 a 2.765	120 a 140
Asbesto-cemento	50 a 2,000	4.0	De A-2.5 a A-14 (Existe clase especial)	8.75 a 49.0 (> 49.0 en clase especial)	140
PVC liso	50 a 630	6.0	C-3 a C-10	3.0 a 10.0	140-150
PVC corrugado	12.7 a 406.4	6.0	5,7.10 y 14	5.0 a 14.0	
PVC biorientado dúctil	101 a 304	6.0	RD-26 o RD-46	11.0	
PEAD	12.7 a 76.2	Rollos o carretes de 100 o 150 m	-	-	
	101.2 a 915	6.0 y 12.0	-	2.8 a 14.0	
PRFV	100 a 3,000	6.0, 12.0 o 18.0	-	1.02 a 32.6	
Hierro dúctil	80 2,000	5.5, 5.75 o 6.0	-	20 a 100	120-140

2.2 Estructuras y dispositivos

Para la operación y mantenimiento de las redes entubadas se requieren diversas estructuras y/o dispositivos que por su función se clasifican en: regulación, protección, cruce y medición.

2.2.1 Estructuras o dispositivos de regulación

Son aquéllas que permiten el correcto manejo y control del agua desde la fuente de abastecimiento y en la red de conducción.

a) Entubado operando como canal

La estructura de regulación es una represa tradicional o vertedor de cresta larga (pico de pato) con agujas, compuertas deslizantes o radiales (dependiendo del tamaño del canal). La función es proporcionar la carga necesaria para la derivación del agua al entubado (foto 2.18).



a) Represa y toma tradicionales

b) Red entubada con energía potencial o bombeo

Para este tipo de entubados generalmente se utilizan válvulas, que son dispositivos que sirven para limitar o interrumpir la circulación del agua.

Por lo general, aguas arriba de la válvula de regulación se tiene una compuerta o válvula de mantenimiento, cuya función es obturar el flujo para poder desinstalar la válvula de regulación (foto 2.19).

• Válvula de compuerta

Las válvulas de compuerta o de seccionamiento superan en número a los otros tipos de válvulas en donde se requiere circulación ininterrumpida y poca caída de presión. Las características principales del servicio de las válvulas de compuerta incluyen: cierre completo sin estrangulación, operación poco frecuente y mínima resistencia a la circulación.

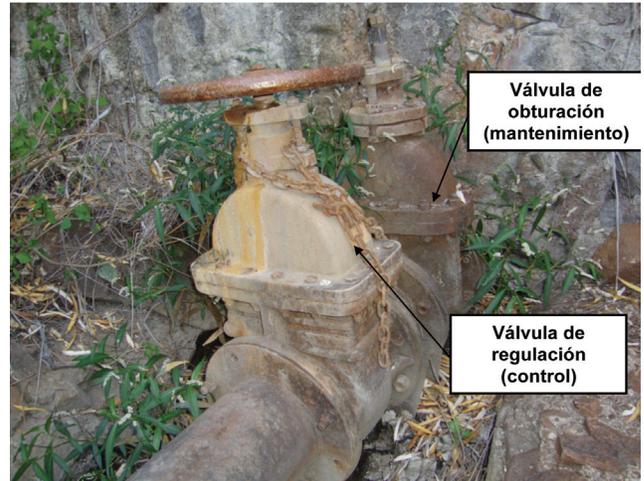


b) Represa tipo pico de pato y módulo aforador

Foto 2.18 Estructura de regulación en entubado operando como canal



a) Compuerta de obturación



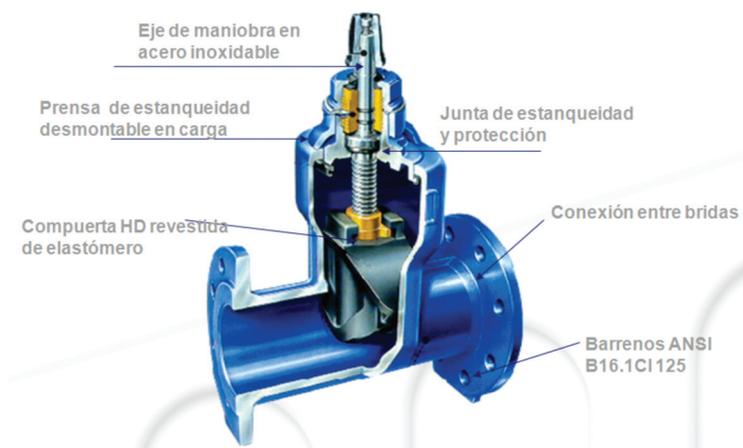
b) Válvulas

Foto 2.19 Control y regulación en un presa de almacenamiento

Este tipo de válvulas, como su nombre lo indica, consiste en una estructura que permite el deslizamiento de un disco en posición vertical para dejar el paso libre del agua u obstruirlo a voluntad; cuando está abierta totalmente el agua pasa sin sufrir pérdidas de carga apreciables (figura 2.6).

Están diseñadas para dejar pasar o no un fluido (ON – OFF) y no para regularlo, lo que indica que deben

estar completamente abiertas o completamente cerradas para que sus interiores (*asiento y cuña*) no sean desgastados prematuramente por el fluido y su presión y así evitar que tengan fugas. Las válvulas de compuerta son bidireccionales y de paso completo; son fabricadas en varios materiales como bronce, acero al carbón fundido, acero inoxidable, hierro, acero forjado, PVC, CPVC con extremos roscados, bridados o soldables.



a) Partes



b) Válvula

Figura 2.6 Válvula de compuerta

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Pueden ser operadas con un volante, con un operador de engranes y actuadores neumáticos o eléctricos (foto 2.20).

Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación, sino más bien para obturación que permita el mantenimiento de las válvulas de regulación.

Ventajas

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.
- Fácil accesibilidad.

- Permite el manejo de fluidos agresivos o corrosivos industriales una vez determinado sus condiciones de operación (fluido-presión-temperatura).

Desventajas

- Control deficiente de la circulación.
- Son muy grandes y pesadas lo que dificulta su instalación y mantenimiento.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- El cierre es muy lento, ya que hay que dar muchas vueltas al volante para abrir o cerrar completamente.
- Si trabajan en posiciones intermedias pueden vibrar, dependiendo del caudal y presión, o sufrir cavitación o desgaste excesivos.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.



a) En obra de toma



b) En red de distribución

Foto 2.18 Válvulas de compuerta

• Válvula de globo

Las válvulas de globo a diferencia de las válvulas de compuerta, permiten aplicarlas en regulación de fluidos y realizan un cierre hermético cuando cuenta con un asiento flexible (figura 2.7).

En esta clase de válvulas el fluido no corre de manera directa y en una sola dirección como lo hacen las válvulas de compuerta sino que el fluido entra y sube dentro del cuerpo de la válvula, es estrangulado por el émbolo según qué tan abierta o cerrada se encuentre, y después baja el fluido hacia la salida de la válvula. En estas válvulas el fluido hace un movimiento de columpio dentro donde choca con el émbolo que regula cuanto fluido debe pasar por la válvula.



Figura 2.7 Válvula de globo

Ventajas

- Cierre hermético.
- Permiten la regulación del fluido.
- Son fabricadas en diversos materiales.

Desventajas

- Provocan una caída de presión dentro de la línea, lo que se debe considerar en los cálculos hidráulicos.

- Poco comunes.
- Alto costo.

• Válvula de mariposa

Es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa denominada “mariposa”, que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.

Se caracterizan por su operación rápida ya que abren y cierran a $\frac{1}{4}$ de vuelta. Existen válvulas de mariposa tipo oblea o waffer, tipo lug u orejadas y bridadas en medidas desde 24”, siendo la más común por su facilidad de instalación las válvulas tipo waffer (foto 2.21). Estas válvulas pueden ser operadas con palanca, operador de engranes o actuadores neumáticos o eléctricos.

Las partes fundamentales de esta válvula son el *cuerpo* que puede ser de hierro, acero al carbón, acero inoxidable, PVC, CPVC u otro plástico; el *disco* que integra los mismos materiales del cuerpo y el *asiento* que puede ser principalmente de elastómeros como el EPDM o buna, además de otros materiales adicionales según la aplicación de la válvula.

Su uso principal es para regular grandes flujos del agua para baja presión a través de la tubería, aunque, con mucha frecuencia se usa en pequeños diámetros. No es aconsejable que trabaje modulando, pues es básicamente una válvula de apertura y cierre, no de control.

Pueden ser usadas en el manejo de agua limpia o con sólidos hasta cierto porcentaje, también



Foto 2.21 Válvulas tipo mariposa

puede tener uso para corrosivos como ácidos y muchos otros fluidos dependiendo de la presión y temperatura que se maneje en la línea.

En el exterior de la válvula se tiene un indicador para conocer la posición del disco.

Ventajas

- Sencillas y ligeras.
- Bajo costo.
- Presenta menor cavitación que la válvula de compuerta.
- Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos.
- Tienen una baja pérdida de carga cuando están totalmente abiertas.
- Se pueden instalar en espacios reducidos o donde la línea no puede soportar mucho peso.
- Existen válvulas de alto rendimiento que soportan una presión y temperatura más altas y en condiciones de operación severas.

Desventajas

- Control deficiente de la circulación.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.

2.2.2 Estructuras o dispositivos de protección

Son aquéllas que evitan el deterioro de los equipos de bombeo y las tuberías.

a) Entubado operando como canal

• Rejillas

Para evitar la entrada de materiales en suspensión (algas, peces, crustáceos, insectos, gusanos, semillas, restos vegetales, sedimentos, etc.) en la tubería se pueden utilizar rejillas y pantallas.

Las más sencillas consisten en rejas metálicas con separación entre barrotes de 3 a 10 mm para material fino, 10 a 25 mm para material medio y de 50 a 100 mm para material grueso (figura 2.8).

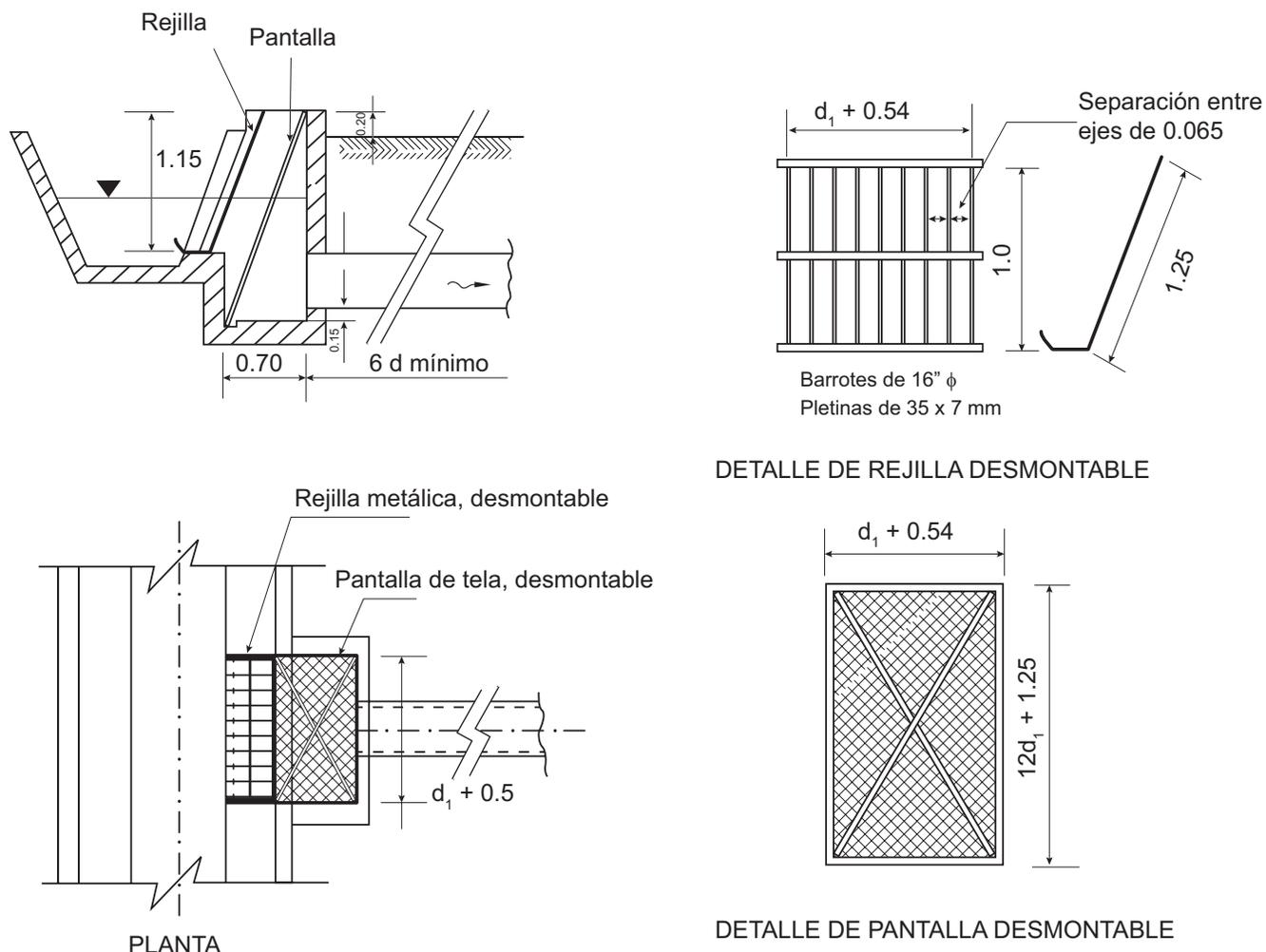


Figura 2.8 Rejillas y pantallas de protección

Para la protección de sistemas de baja presión las rejillas son elaboradas en malla cuadrada de dimensiones de 2 a 3 pulgadas de ancho, con fierro y soldadura. El tamaño límite del orificio de paso de la malla debe ser aproximadamente un 20% del diámetro del hidrante en parcela, es decir que sí se tienen hidrantes de 150 mm, el tamaño máximo de la rejilla debe ser del orden de 30 mm. Existen las rejillas tipo Angler, las cuales son prefabricadas y sólo se adaptan a las dimensiones requeridas.

Según los contaminantes del agua se instalarán una o varias rejas desmontables consecutivas alojadas en los tanques de sedimentación aguas arriba de la entrada de la tubería (foto 2.22a).

De igual manera se deberán considerar tanques de sedimentación aguas arriba de la entrada de la tubería. Para el caso de las cajas donde se alojan las estructuras de regulación, se deberán instalar rejillas para evitar la entrada de basura o la caída de animales o personas (foto 2.22b).



a) Entrada de la tubería



b) En las estructuras de regulación

Foto 2.22 Rejillas de protección

• **Compuertas de mantenimiento y desfogues**

En las estructuras de regulación denominadas “pico de pato” se instalan compuertas deslizantes con la finalidad de que la velocidad del flujo permita el acarreo de azolve, basura, maleza, etc., para evitar problemas en la operación de la red (foto 2.23a). En puntos estratégicos de la red, se instalan desfogues que permiten desalojar dichos materiales fuera de la red entubada y los devuelven a los arroyos o depósitos especiales (foto 2.23b).

b) **Red entubada con energía potencial o bombeo**

• **Sistema de filtración**

Para la limpieza de sedimentos e impurezas de una red entubada a presión, en donde se considera que el abastecimiento será para un sistema de riego, se requiere de un sistema de filtración que consta de los siguientes componentes:



a) Entrada de la tubería



b) En las estructuras de regulación

Foto 2.23 Estructuras de mantenimiento

Prefiltrado

Es una obra que recibe el agua y que permite reducir los sólidos en suspensión (foto 2.24).

Filtrado

Consiste en el uso de equipos y dispositivos para la limpieza del agua y que pueden ser de dos tipos: filtros de arena y de malla. Para realizar su función cada uno de estos dispositivos, requiere una presión de operación; normalmente, esta presión está en función del gasto y que esta especificado por cada fabricante.

El filtro de arena consiste de un depósito cilíndrico con capacidad volumétrica que varía de 0.7 a 1.2 m³, el depósito se encuentra parcialmente lleno de arena sílica o triturada (foto 2.25). El tamaño del filtro se determina en función del diámetro de la base del cilindro; de tal forma que, se pueden

encontrar en el mercado filtros de 90 cm (36") o filtros de 120 cm (48").

Un filtro de arena opera en conjunto con otro de ellos. El número mínimo de filtros de arena que deben operar en paralelo es de dos unidades; esto con objeto de simplificar el proceso de lavado del sustrato de arena. El número máximo de filtros operando en paralelo dependerá de la distribución del gasto total del sistema. Es decir, el gasto total se puede dividir según el número de unidades de bombeo; entonces, a cada unidad de bombeo se asigna un conjunto de filtros de arena, en función de su capacidad de bombeo.

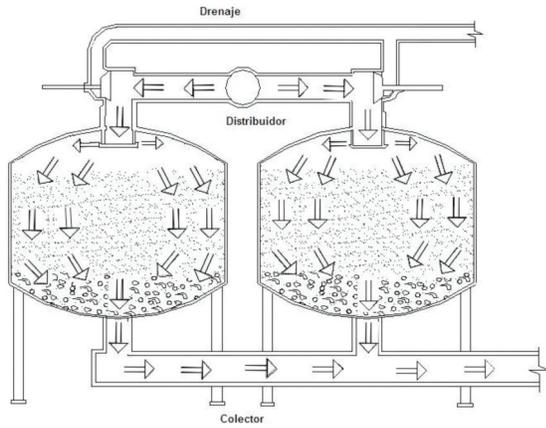
En la figura 2.9 se muestra esquemáticamente la operación del filtro de arena, en donde se observa la dirección del flujo del agua en los procesos de filtrado y retrolavado. El retrolavado es el proceso que permite eliminar las impurezas que se acumulan en el sustrato del filtro; se le llama retrolavado porque la dirección normal del flujo se invierte con objeto de llevar las impurezas fuera del sistema a una tubería de drenaje.



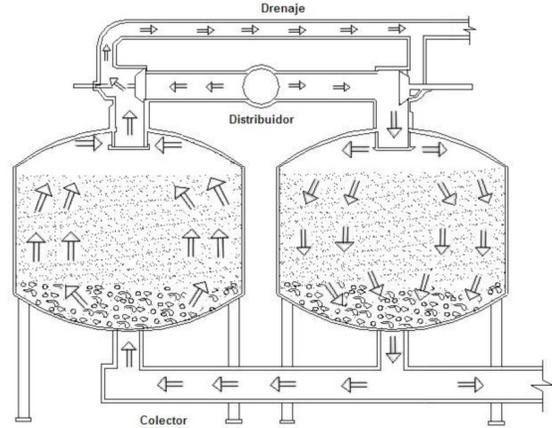
Foto 2.24 Prefiltrado



Foto 2.25 Filtros de arena



a) Proceso de filtrado



b) proceso de retrolavado

Figura 2.9 Operación del filtro de arena

El retrolavado es de suma importancia porque a partir de éste se evitan que el sistema de filtrado acumule impurezas y de esta forma opere por arriba de su presión de diseño. Las válvulas que controlan el retrolavado pueden ser de funcionamiento manual o automático.

Cuando el retrolavado es manual, es indispensable que los manómetros que registran la presión antes y después de los filtros se encuentren en buen estado; ya que,

a partir de estos manómetros se determina el momento oportuno del retrolavado. El filtro de malla consiste de un depósito cilíndrico con una capacidad volumétrica menor de 0.12 m^3 ; adentro del depósito cilíndrico se encuentra el elemento filtrante y en algunas ocasiones una pantalla con orificios (foto 2.26). En un filtro de malla el agua es forzada a entrar en el depósito cilíndrico y pasar a través del elemento filtrante. Las impurezas del agua quedan retenidas en la superficie del elemento filtrante (figura 2.10).



Foto 2.26 Depósito cilíndrico

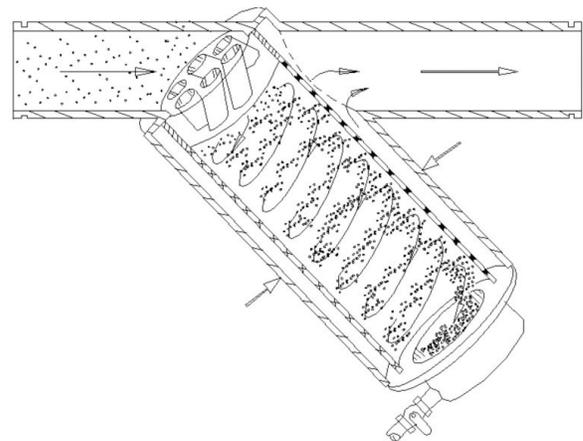


Figura 2.10 Funcionamiento del filtro de mallas

Algunos fabricantes construyen elementos filtrantes que consisten de una malla cilíndrica construida con hilos de poliéster o hilos de acero; otros, fabrican cilindros de acero inoxidable con pequeños orificios.

La pantalla se utiliza cuando el elemento filtrante es una malla; la pantalla puede ser metálica o de plástico; sirve como soporte de la malla y le permite reducir el esfuerzo provocado por el empuje del agua (figura 2.11).

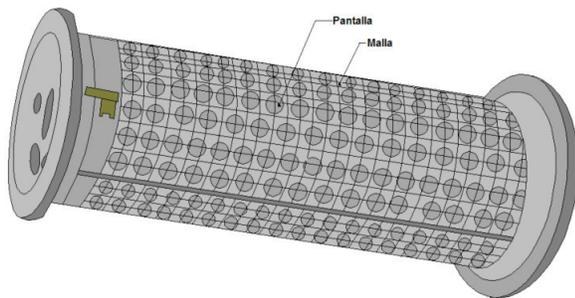


Figura 2.11 Malla de acero con pantalla.

La dimensión de los orificios de las mallas, determina el tamaño máximo de las partículas que pueden atravesar la malla. El tamaño del orificio de la malla se ha determinado mediante diferentes unidades de medida. Las unidades de medida, han sido definidas por los fabricantes según el tipo de elemento filtrante.

Las unidades de medida más utilizadas son las micra y el mesh. El mesh es la unidad de medida más difundida y se ha definido como el número de orificios por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo.

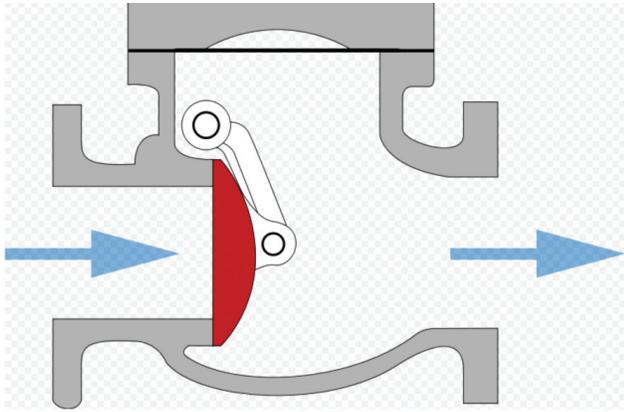
Para los filtros de malla fina se recomienda que la velocidad de filtrado se mantenga en el rango de 0.4 a 0.8 m/s; la velocidad de filtrado es la que se presenta cuando el agua pasa a través del orificio de la malla. En caso de manejar agua con gran cantidad de impurezas se recomienda que la velocidad de filtrado en los filtros de malla fina se mantenga cercana al límite inferior de este rango, ya que estos filtros tienden a obstruirse muy rápido debido a que las impurezas se retienen en la superficie de la malla.

La limpieza de este tipo de filtro puede ser manual o automática. Cuando la limpieza del filtro se realiza en forma manual; se extrae el elemento filtrante para eliminar las impurezas. Cuando la limpieza del filtro es automática, se emplean válvulas para retrolavado.

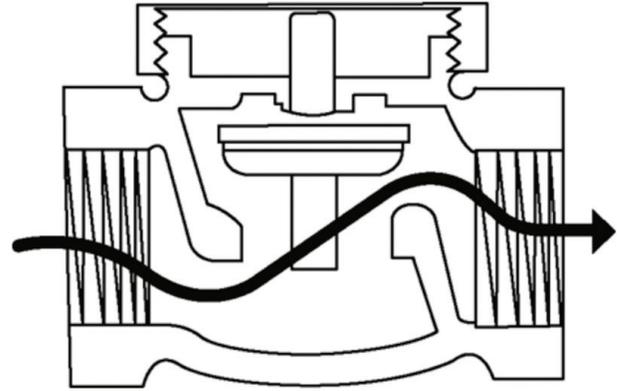
• Válvula Check

Las válvulas antirretorno, también llamadas válvulas de retención, válvulas uniflujo, válvulas unidireccionales o válvulas "check", tienen por objetivo cerrar por completo el paso del agua en circulación en un sentido y dejarlo libre en el contrario.

Existen válvulas check tipo columpio en el cual el fluido y su presión abren el disco hacia arriba y éste regresa cuando deja de pasar el fluido. Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total (figura 2.12a). El otro tipo de válvula es de resorte, el cual hace que la válvula cierre inmediatamente cuando se detiene el flujo antes que el propio flujo y la gravedad hagan que cierre con fuerza (2.12b).



a) Disco obturador



b) Resorte

Figura 2.12 Diagramas de válvulas check

Existen en diversos materiales: acero al carbón fundido, forjado, acero inoxidable, bronce, hierro, fofo, PVC y CPVC (foto 2.27). Pueden ser fabricadas con extremos bridados, roscados, tipo oblea para que sean instaladas en poco espacio y con poco peso (tipo Waffer).

Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio y poner en descarga la alimentación. El flujo del fluido que se dirige desde el orificio de entrada hacia el de utilización tiene el paso libre, mientras que en el sentido opuesto se encuentra bloqueado.

Estas válvulas son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para no dejar regresar el agua dentro de una línea para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba (foto 2.28).

Ventajas

- Existen en diversos materiales (acero al carbón fundido, forjado, acero inoxidable, bronce, hierro, fofo, PVC y CPVC).

Desventajas

- Alto costo.

• Válvulas de aire

En una red de tuberías, la presencia de aire puede deberse al desprendimiento de gases disueltos en el agua al cambiar la sección de la tubería, a la temperatura del agua y a la dirección del flujo en codos. Aparte están los gases que se forman por descomposición de la materia orgánica dentro de las conducciones de aguas sucias.



Foto 2.27 Válvula check

La presencia de aire en la red de tuberías es indeseable, porque incrementa las pérdidas de carga; además, el aire acumulado, al actuar como un tapón, puede impedir que pase el agua y provocar que la presión se eleve poniendo en peligro la tubería. Si la red de tuberías carece de un sistema de válvulas de aire, las bolsas de aire se evacúan a través de un hidrante, lo que permitirá el rápido llenado de agua a la tubería, pero también su posible daño.

Para evitar el movimiento de las bolsas de aire, válvulas evacuadoras de aire pueden instalarse en los puntos altos de la red, al inicio de pendientes descendientes, en los cambios de pendiente, en sentido ascendente y en los tramos horizontales largos, esto es, en tramos promedios de 400 metros y nunca superiores a 600 metros (figura 2.13). A veces se deben colocar en ciertos cambios de dirección o cambios de sección de la tubería. Para evacuar el aire durante las fases de llenado, debe hacerse un orificio de diámetro grande: de 1/20 del diámetro de la tubería; para gastos de 80 a 300 l/s, se recomiendan orificios de 2 a 3 pulgadas de diámetro.

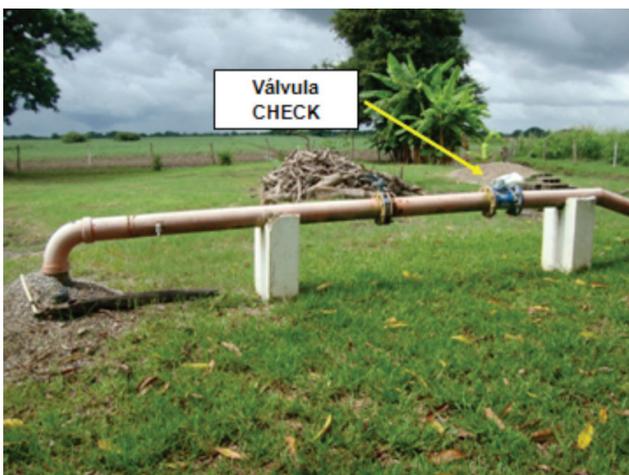
Se recomienda también hacer un orificio grande para altas velocidades de entrada y salida de aire durante el llenado o drenaje de la red; un segundo orificio asegurará la neutralización y evacuación de las bolsas de aire durante las últimas etapas del llenado. Existen varios modelos de estas válvulas, pero básicamente constan de una caja en donde un flotador tapona un orificio practicado en la parte superior que baja cuando la cantidad de aire acumulado adquiere cierto volumen, dejándolo escapar (foto 2.29).

Ventajas

- Existen en diversos materiales (acero al carbón fundido, forjado, acero inoxidable, bronce, hierro, fofo, PVC y CPVC).

Desventajas

- Vandalismo.
- Susceptibles a deterioro por maquinaria, vehículos, etc.



a) En pozo profundo



b) En cárcamo de bombeo

Foto 2.28 Ubicación de una válvula check

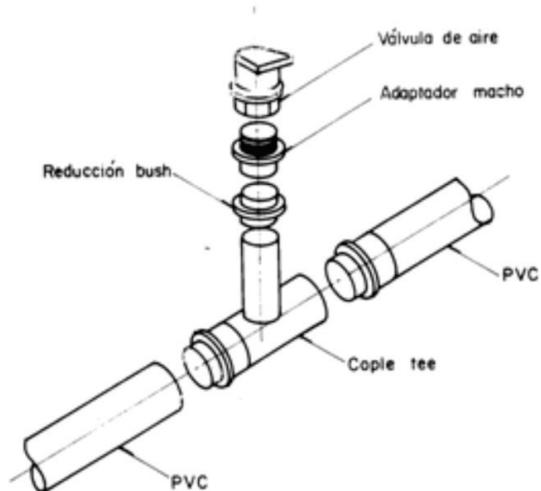


Figura 2.13 Válvula de aire en la red de distribución



a) Tren de descarga de presa



b) Tren de descarga en pozo o cárcamo de bombeo

Foto 2.29 Ubicación de una válvula de aire

• Aireadores

La manera más económica para eliminar el aire en las redes de tuberías a baja presión es la colocación de aireadores (foto 2.30).

Son tubos fabricados de PVC con diámetros similares a las válvulas de aire descritas anteriormente, dichos tubos comunican la tubería con la atmósfera.

Tienen que tener salida por encima de la línea piezométrica para que solamente entre o salga aire, en ningún caso el agua.

Ventajas

- Económicos y eficientes.

Desventajas

- Relativa obstrucción en los caminos, parcelas, etc.

• Válvula de alivio de presión

Las válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad o válvulas de alivio, están diseñadas para liberar fluido cuando la presión interna supera el umbral establecido. Su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión.

Los sistemas de riego a presión están expuestos a sufrir fuertes sobrepresiones, por ejemplo, si una válvula de riego o hidrante se cierra en un tiempo muy corto, la presión en el punto de cierre subirá, esta sobrepresión se transmitirá a otros puntos de la red.

Los incrementos de presión se pueden mitigar instalando válvulas de alivio. Estas válvulas



Foto 2.30 Aireador

permiten desfogar la presión excesiva que acumule la red debido a fenómenos como el golpe de ariete (figura 2.14)

Cuando la presión aumenta dentro el conducto produce una fuerza que abre la válvula al vencer la resistencia del resorte, dando lugar a que circule el flujo a través de ella hacia la descarga y una disminución de presión en la cámara.

Como consecuencia del volumen descargado por la válvula provoca una disminución de presión del conducto, por lo que la válvula cierra y se establece un nuevo equilibrio que inicia el cierre de la válvula (figura 2.14).

Estas válvulas son el alivio de presión en un bloqueo en el sistema de impulsión de una bomba, o para aliviar el aumento de presión debido a una expansión térmica de un fluido confinado en un sistema cerrado.

• Válvulas de bola

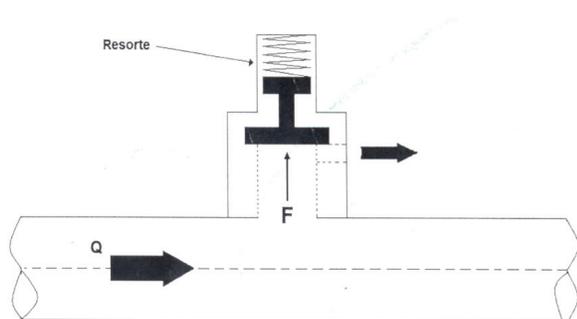
Una válvula de bola, de "esfera" o de cierre rápido, es un mecanismo que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada (figura 2.15).

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la manilla de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación tan precisa al ser de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

Las válvulas de bola manuales pueden ser cerradas rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete. Por ello y para evitar la acción humana pueden estar equipadas con un actuador ya sea neumático, hidráulico o motorizado.

Se fabrican en extremos roscados, bridados, soldables a tope (butt Weld) y soldables a caja (socket Weld). Se fabrican de 1, 2 o 3 piezas según la clase de operación y ahorro de costos que se requiera tener. Los principales materiales en que se fabrican de línea son: cuerpo en acero al carbón o acero inoxidable; asientos de teflón. También son fabricadas de termoplásticos como PVC y CPVC que permiten manejo de agua a más bajo costo o de corrosivos que tienen posibilidad de desgastar rápidamente el metal como el acero.



Ventajas

- Económica.
- Versátil en el manejo de los fluidos.
- Algunas de las válvulas pueden ser reparadas en línea y refaccionables.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Pueden ser operadas con actuadores eléctricos y neumáticos.

Desventajas

- Produce una caída de presión en la línea.
- Puede generar golpes de ariete.

• Válvulas de desfogue

Son válvulas dispuestas sobre derivaciones situadas en los puntos bajos de la red, conectadas a la red de drenaje. Su finalidad es dejar salir un chorro de agua que arrastre consigo los sedimentos depositados en la tubería. El diámetro del desagüe debe ser acorde con el de la tubería de riego.



Figura 2.14 Válvula de alivio



Figura 2.15 Válvula de esfera

Ventajas

- Económica.
- Versátil en el manejo de los fluidos.
- Bajo costo de mantenimiento.

Desventajas

- Produce una caída de presión en la línea.

• Otros elementos de seguridad

Las obras de protección son básicamente contra cargas y agentes externos; constituyen un grupo heterogéneo de pequeñas obras civiles (losas, arquetas, macizado de zanjas con concreto, etc.) distribuidas por toda la red.

Los lugares habituales de ubicación de las mismas suelen ser las zonas de cruce de las tuberías con vías de comunicación y con cauces naturales de agua. En el caso de las zonas de cruce, se recomienda instalar la tubería a una profundidad mínima de un metro. Para los casos en que no se pueda dar esta

profundidad mínima, se recomienda encamisar la tubería de PVC con un tubo de acero o bien ahogarla en concreto.

Arquetas

Para el caso de algunos sitios dentro de la zona de riego, en donde se tengan posibles problemas de daños a los hidrantes y válvulas de aire principalmente, ocasionados por el paso de animales o por el tránsito de la maquinaria agrícola, se recomienda el uso de arquetas.

Las arquetas son estructuras rectangulares o circulares de concreto, según las conveniencias particulares de cada caso. Sus dimensiones interiores habrán de ser suficientes para permitir el montaje y desmontaje del equipo que protegen.

La construcción de arquetas para la protección de válvulas de aire e hidrantes se hace sin solera (se aconseja rellenarlas con un material granular grueso 'grava'); las que tienen solera deberán disponer de un tubo de desagüe con salida a la red de drenaje con el fin de que eliminen las filtraciones de agua que se produzcan en las uniones.

En las zonas de riego en donde hay niveles freáticos altos, las paredes deberán quedar suficientemente fijas para evitar la flotación de la arqueta. Las paredes laterales pueden ser de ladrillo, aunque frecuentemente son de concreto simple o, en algunos casos, de concreto armado, con tapa o sin ella.

Todas las arquetas deben sobresalir por encima del terreno de 20 a 40 cm., a fin de evitar que durante la operación la maquinaria agrícola dañe el hidrante (figura 2.16).

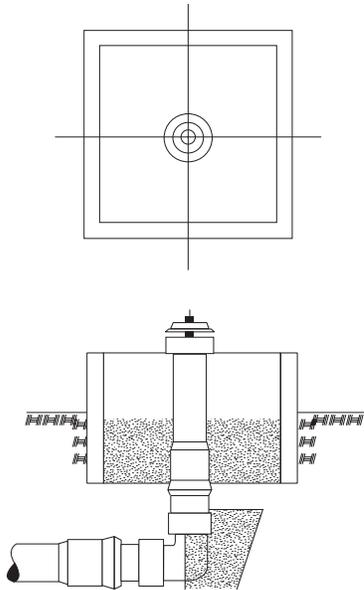


Figura 2.16 Arqueta protegiendo un hidrante

2.2.3 Estructuras o dispositivos de cruce

Son aquéllas que permiten salvar obstáculos tales como ríos, arroyos, barrancas, caminos, etc. y que pueden ser sifones o “puentes-tubería” (foto 2.31). Básicamente son estructuras de concreto, acero o la combinación de ambos para el paso de la tubería.

2.2.4 Estructuras o dispositivos de medición

Permiten estimar el gasto que fluye en la tubería.

- a) Entubado operando como canal

Los módulos aforadores son las estructuras que permiten medir el gasto en tomas laterales y parcelarias (foto 2.32), con una precisión entre $\pm 10\%$ del gasto nominal de entrega, siempre

y cuando los tirantes aguas arriba y aguas abajo del módulo se mantengan en un rango de valores especificados por el fabricante.

Se recomienda utilizar esta estructura conjuntamente con el vertedor de cresta larga o “pico de pato” (foto 2.33), sin embargo, no se descarta la posibilidad de utilizar el vertedor con tomas tradicionales.

Se fabrican tres tipos de módulos diferenciados por la dimensión de sus secciones longitudinales, que se identifican en términos del gasto nominal por unidad de ancho:

- Serie XX₂ 20 litros/segundo/decímetro de anchura
- Serie L₂ 50 litros/segundo/decímetro de anchura
- Serie C₂ 100 litros/segundo/decímetro de anchura



a) Puente-tubería



b) Sifón

Foto 2.31 Estructuras de cruce

Los gastos constantes suministrados por los módulos se obtienen por la combinación del cimacio y el reductor fijo ubicado a determinada altura sobre él, que corrige los efectos de la variación del nivel del agua en el canal (figura 2.17).

A niveles bajos, el cimacio opera en condiciones de gasto libre superficial, pero a medida que

asciende el nivel del agua, aumenta la carga sobre el cimacio hasta que alcanza el borde interior de la placa del reductor.

Entonces el cimacio y el reductor actúan como un orificio ahogado (calibrado) con una fuerte reducción en el coeficiente de descarga y contracción del chorro correspondiente.



a) Modelo XX_2



b) Modelo L_2

Foto 2.32 Módulos aforadores

La contracción del chorro tiende a ser más pronunciada a medida que aumenta la carga, reduciendo más el gasto correspondiente. Debido a la contracción del chorro desfogado del primer reductor, el segundo reductor se instaló más cerca del cimacio para formar un orificio pequeño.

A medida que sube el nivel aguas arriba en la entrada del módulo, llega a una altura en donde el reductor original queda sumergido, entonces el segundo reductor entra en acción y la tendencia del gasto a incrementarse se limita aún más.

El gasto del módulo permanece sin afectarse por variaciones de nivel aguas abajo, ya que la pendiente aguas abajo del cimacio está diseñada para producir velocidades mayores a la crítica. Sin embargo, debido a la formación de un



Foto 2.33 Vertedor de cresta larga

salto hidráulico, la energía potencial del agua descargada se recobra, originándose una pequeña pérdida de carga a través del módulo. En la figura 2.18 se presenta el gráfico de la curva de funcionamiento de los módulos.

Se fabrican de fibra de vidrio y acero, en donde los primeros tienen la ventaja de que no requieren

mantenimiento, mientras que los de acero se deben cubrir constantemente con pintura para evitar la corrosión.

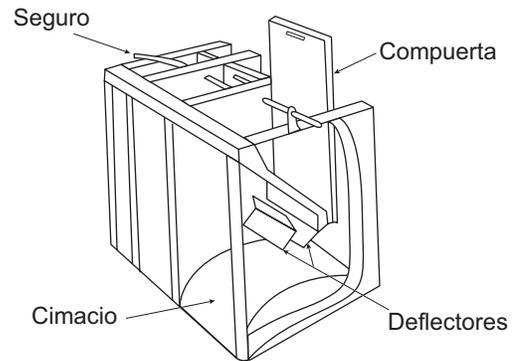


Figura 2.17 Componentes del módulo

Ventajas

- Buena precisión en el aforo.
- Fácil instalación y operación.
- Bajo o nulo mantenimiento (en el caso de módulos de fibra de vidrio).

Desventajas

- Factibles de obstruirse con basura o maleza.
 - Altos costos de mantenimiento en el caso de módulos de acero.
- b) Red entubada con energía potencial o bombeo

Para la medición del agua en redes de tuberías se cuenta con una amplia gama de medidores de gasto. Existen medidores de gasto de tipo propela, magnéticos y ultrasónicos.

• Medidor de propela (hélice)

Este medidor cuenta con un propulsor cónico conectado a un registrador mediante una serie de

engranes. La hélice o propela queda suspendida frente al centro del flujo.

La velocidad de la hélice es proporcional a la velocidad del flujo en la tubería y como la sección transversal de la tubería es conocida, se puede determinar el gasto. El medidor tiene una carátula donde va indicando el volumen acumulado y el gasto instantáneo (foto 2.34).

Ventajas

— Fácil instalación y buena precisión.

Desventajas

— Factible de vandalismo.

• Medidor electromagnético

Este medidor consta de un tubo no magnético por el que pasa el líquido, dos bobinas magnéticas en lados opuestos, dos electrodos al centro de las bobinas, que miden el voltaje generado y un circuito electrónico que transforma el voltaje en gasto (foto 2.35).

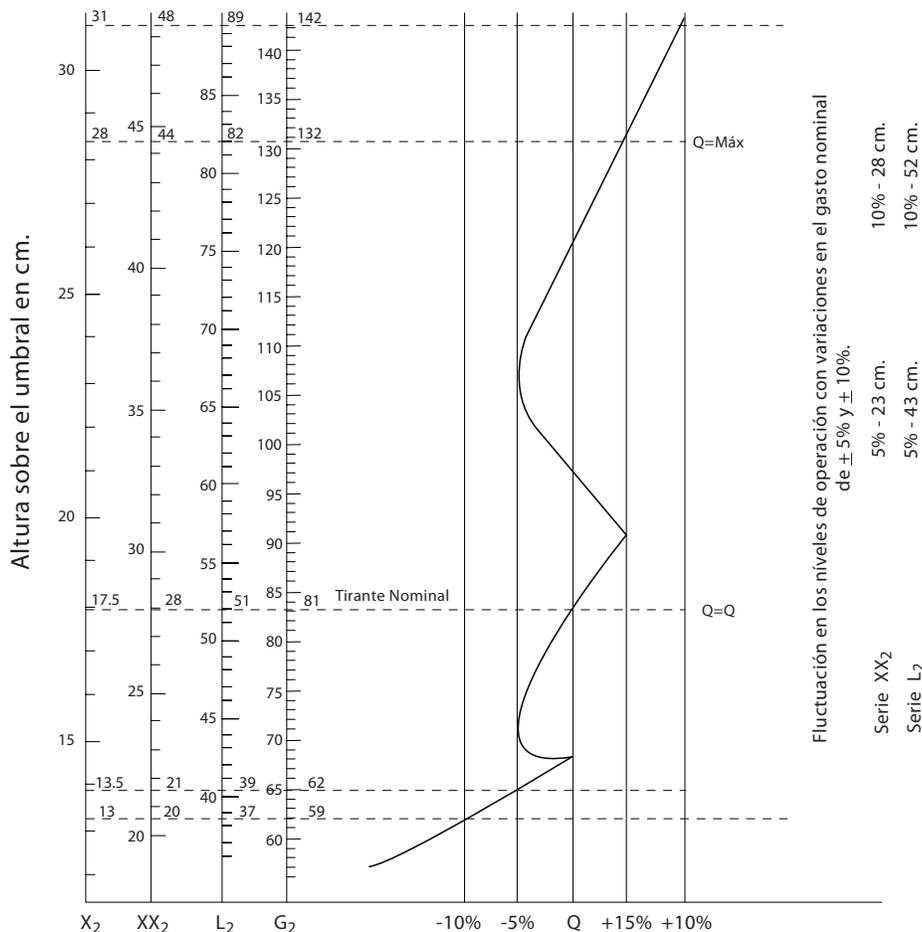
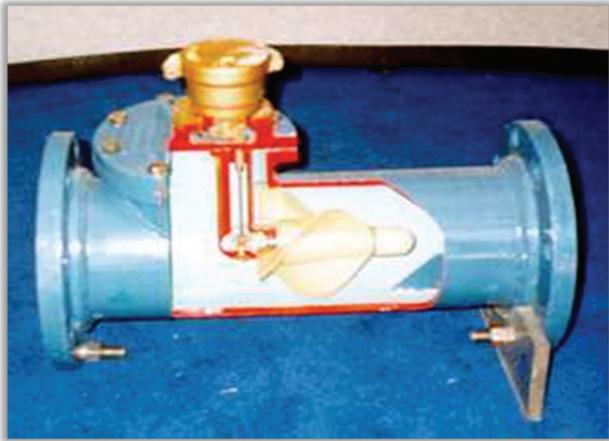


Figura 2.18 Curva de funcionamiento hidráulico de los módulos



a) Propela y mecanismos



b) Carátula

Foto 2.34 Módulos aforadores



Foto 2.35 Medidor electromagnético

Se basa en el principio de que si en un voltaje inducido un conductor se mueve a través del campo magnético, el voltaje es proporcional a la velocidad del conductor. En este caso el conductor es el agua.

La precisión cuando se miden flujos rápidos (relativos a la capacidad del medidor) es buena, pero en los flujos lentos es baja. Los fabricantes

deben proporcionar la curva de calibración del dispositivo o bien en algunos casos la lectura es directa.

Ventajas

- Las pérdidas de carga son prácticamente nulas.

Desventajas

- La precisión es variable, dependiendo de la velocidad del flujo.
- Alto costo.
- Vandalismo.

• Medidor ultrasónico

Se basa en la medición de la velocidad de onda entre dos puntos que están a una distancia dada (electrodos), en la dirección del flujo y en contra, la diferencia de estas velocidades es la velocidad del agua (foto 2.36).

La precisión de estos medidores bajo condiciones óptimas es del 1%.

Ventajas

- En buenas condiciones de operación la precisión es alta.

Desventajas

- Alto costo.
- Vandalismo.

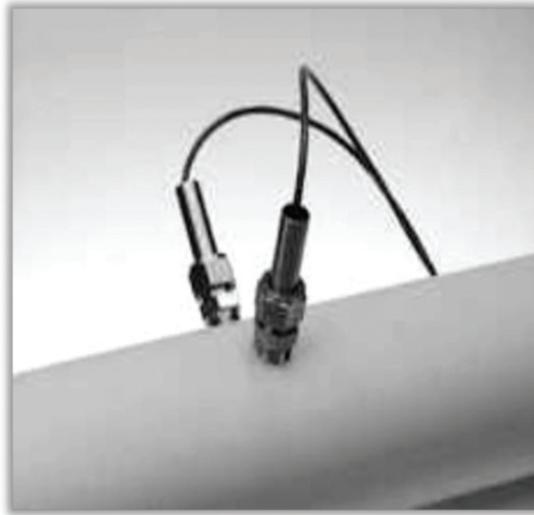
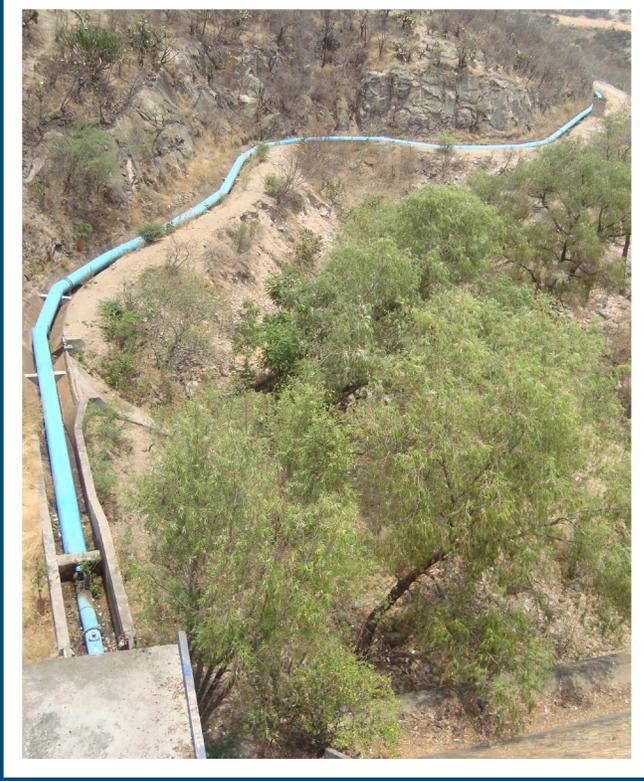


Foto 2.36 Medidor ultrasónico

La información debe ser clara y precisa para que personal profesional del ramo esté en posibilidad de interpretar y ejecutar la obra.



Elementos de un proyecto de entubamiento

M.C. Efrén Peña Peña

Para la operación y mantenimiento de la red entubada en una zona de riego, es importante conocer sus características de diseño, construcción e instalación. Esta información se encuentra en el proyecto ejecutivo de la obra, que debe contener por lo menos los siguientes puntos: memoria descriptiva, memoria de cálculos, planos, catálogo de conceptos y especificaciones.

La información debe ser clara y precisa para que personal profesional del ramo esté en posibilidad de interpretar y ejecutar la obra.

Con la finalidad de incluir ejemplos en el texto se utilizó como base el proyecto de entubamiento de la zona de riego Tepecoacuilco del distrito de riego 068, Guerrero, desarrollado en el IMTA.

3.1 Memoria descriptiva

La memoria descriptiva debe incluir la información general de la zona del proyecto y las características de la obra.

3.1.1 Información general

Los proyectos deben contener la información que se utilice directamente o sirva de referencia para operar y conservar el sistema de riego y consiste en: localización geográfica y política, clima (parámetros meteorológicos), cultivos,

requerimientos de riego, suelos, calidad del agua, topografía, padrón de usuarios y plano catastral.

a) Localización geográfica y política

Debe ubicarse con las coordenadas geográficas y la ubicación política donde se encuentra la obra. Por ejemplo:

“El proyecto de entubamiento TEPECOACUILCO se localiza geográficamente a 18° 22’ de latitud

norte y entre 98° 25' y 99° 35' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, dentro de la cuenca hidrológica del Río Balsas-Mezcala. El área de influencia se encuentra en el municipio de Tepecoacuilco, Guerrero”.

b) Clima (parámetros meteorológicos)

La evapotranspiración y la precipitación pluvial son dos parámetros que se aprovechan para determinar la operación de los sistemas de riego, se analizan y se toman en cuenta para esperar las épocas críticas de riego, las épocas en que puede aprovecharse la lluvia y la época en que es necesario drenar. Debe resaltarse que la operación debe planearse tomando como base la información estadística para hacer planes de riego y debe ejecutarse con programas de distribución de agua elaborados en tiempo real. Por ejemplo:

“En el proyecto de entubamiento la precipitación total anual es de 970 mm que esta por abajo del promedio estatal (1,160 mm/año). Las lluvias más intensas se concentran en el período de mayo a

octubre con un total de 933 mm, representando el 96 % del total anual (figura 3.1).”

c) Cultivos

El proyecto debe incluir la relación de cultivos, sus periodos de siembra, cosecha y su rotación, que permiten elaborar el plan de riegos por ciclo agrícola. Con la información de riegos de presiembra y de siembras en seco, se inician los programas de distribución de agua. También sirve para conocer prioridades de riego por cultivo para evitarles estrés. Por ejemplo:

Cultivos viables. Los cultivos principales (propuestos) con la tecnificación del riego son: maíz, hortalizas, sorgo. Las características agronómicas y fisiológicas se especifican en el cálculo de los requerimientos de riego.

Coeficientes de cultivo Kc (FAO, 1998), fechas de siembra y cosecha y etapas de desarrollo para hortalizas (Otoño/Invierno), Tepecoacuilco, Gro. (fecha de siembra: 01 de septiembre; fecha de cosecha: 05 de diciembre). Cuadro 3.3.

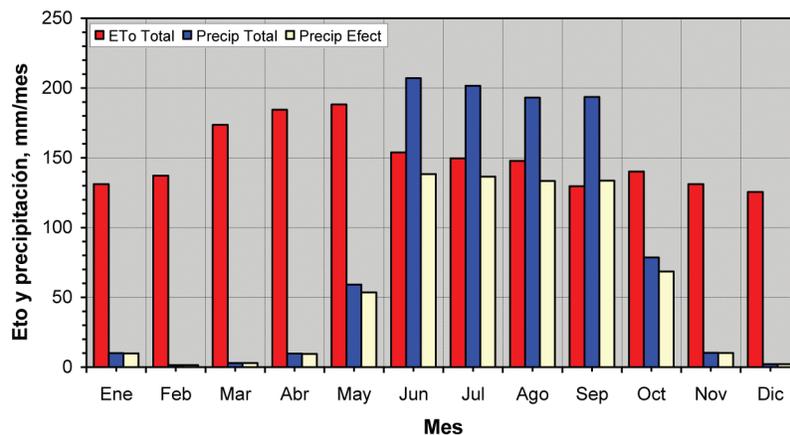


Figura 3.1 Precipitación media mensual (total y efectiva) y evapotranspiración referencia total mensual en el proyecto Tepecoacuilco

Cuadro 3.1 Coeficientes de cultivo para hortalizas y etapas de cultivo

Etapas	Inicial	Desarrollo	Medio	Tarde	Total del Ciclo
Duración (días)	20	30	30	15	95
Coeficiente de cultivo (Kc)	0.7	>>>	1.05	0.95	-

Fuente: IMTA-CONAGUA, 2003.

Con los datos de los cultivos y los parámetros meteorológicos se calculan y deben presentarse los requerimientos de riego de los cultivos (figura 3.2).

d) Suelos

Se deben incluir las texturas de los suelos, sus características de retención de humedad y la información de salinidad. Estos sirven para conocer las láminas de agua aprovechable que pueden almacenar, y así se puede saber la lámina necesaria para el primer riego y con la información de los coeficientes de abatimiento de agua en el suelo, para los

cultivos, se pueden conocer las láminas por reponer con los riegos complementarios o de auxilio. Además con la textura se puede estimar la velocidad de infiltración del agua en el suelo y tomarla en cuenta para calcular los gastos adecuados al riego parcelario.

e) Calidad del agua

La calidad del agua debe conocerse para prevenir problemas de azolvamiento o de taponamiento por sólidos en suspensión o por material orgánico. También permite detectar la posibilidad de presencia de precipitados de calcio y magnesio,

Cuadro 3.2 Requerimientos de riego para cultivo de sorgo forraje (Otoño/Invierno), Tepecoacuilco, Gro., regado cada 10 días con fecha de siembra 01 de noviembre

Fecha	ETo	Kc	ETr	Precipitación (mm)		Requerimiento de riego (mm)
	(mm/10 días)			Total	efectiva	
01-Nov	44.02	0.30	13.21	8.15	7.41	5.79
11-Nov	43.70	0.30	13.11	3.47	3.40	9.71
21-Nov	42.86	0.44	18.89	2.74	2.69	16.20
01-Dic	41.45	0.70	28.92	1.50	1.48	27.44
11-Dic	40.50	0.96	38.71	0.68	0.68	38.03
21-Dic	40.95	1.17	48.09	1.31	1.30	46.80
31-Dic	41.77	1.20	50.12	2.47	2.43	47.69
10-Ene	42.29	1.20	50.75	3.21	3.15	47.60
20-Ene	43.67	1.20	52.40	2.67	2.62	49.79
30-Ene	47.31	1.17	55.19	1.19	1.17	54.02
09-Feb	49.00	1.11	54.24	0.50	0.50	53.74
19-Feb	24.72	1.06	26.25	0.26	0.26	25.99
Total	502.24		449.89	28.15	27.09	422.80

Fuente: IMTA-CONAGUA, 2003.

que formen sarro en el interior de las tuberías y con esto establecer mecanismos de prevención.

f) Topografía

La planimetría y la altimetría deben relacionarse con la ubicación de tuberías en campo y con la piezometría del proyecto del sistema entubado. Las tuberías de conducción y distribución de agua, deben tener puntos de verificación de cargas hidráulicas de operación normal y estar en posibilidad de determinar los gastos que transitan por la red y detectar azolvamientos u obstrucciones en las tuberías.

g) Padrón de usuarios y plano catastral

Es necesario contar con el nombre del usuario, la superficie, el número de la parcela y su ubicación en la zona de riego, para saber cuáles son los usuarios que tienen derecho de riego y estar en posibilidad de elaborar los planes de riego, los programas de turnos de riego y de distribución del agua en los entubamientos.

El proyecto debe incluir los cuadros con la superficie por tipo de tenencia de la tierra (ejidal, pequeña propiedad, etc.), la relación de usuarios del proyecto y superficies con derecho de riego. Se deben presentar por secciones de riego adaptadas a la red de distribución de agua (cuadro 3.3).

Descripción del entubamiento o de la obra

La descripción del entubamiento debe incluir los aspectos siguientes: objetivo y justificación del entubamiento, descripción y características de la fuente de abastecimiento, de la obra de aprovechamiento y descripción de la red de conducción y distribución.

3.1.2 Fuente de abastecimiento y obra de aprovechamiento

La información varía si el aprovechamiento es por presa de almacenamiento o por bombeo de aguas superficiales o subterráneas. La capacidad de la fuente es indispensable conocerla y verificar que sea mayor o igual que la capacidad de la red de tuberías,

Cuadro 3.3 Ejemplo de la relación de usuarios del proyecto Tepecoacuilco

Usuario				No. de parcela	Superficie (ha)
No.	Nombre	Apellido Paterno	Apellido Materno		
1	Herminio	Chávez	Ávila	363	01-47-78.25
2	Elvia	López	Romero	364	01-56-02.85
3	Miguel	Moyao	Mejía	365	03-85-74.51
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
16	Ángel	Rojas	Martínez	378	01-61-21.54

Fuente: IMTA-CONAGUA, 2003.

para que el sistema al operar pueda satisfacer las demandas de riego. En el cuadro 3.4 se presenta la

información básica que se debe contemplar en un proyecto con presa de almacenamiento.

Cuadro 3.4 Características de un vaso de almacenamiento

Estructura y características	Valor
Vaso	
Capacidad total	39.4 millones m ³
Capacidad útil	34.4 millones m ³
Área de la cuenca	395.2 km ²
Área de embalse al NAME	970 ha
Área de embalse al NAMO	672 ha
Elevación del nivel de aguas máxima	842.8 msnm
Elevación del nivel de aguas mínima	829.9 msnm
Cortina	
Altura sobre el desplante	33.3 m
Altura sobre el lecho del río	25.3 m
Ancho de la base	155 m
Ancho de la corona	10 m
Longitud de la corona	1,230 m
Taludes de agua arriba y aguas abajo	1:2
Elevación de la corona de la cortina	844.3 m
Bordo libre	1.52 m
Obra de excedencia	
Se encuentra alojada en el extremo derecho de la cortina, es cresta libre tipo Creager de la planta circular, descarga por un canal convergente y un tanque amortiguador	
Gasto de la avenida de diseño	1,100 m ³ /s
Gasto de la capacidad máxima de descarga	780 m ³ /s
Longitud de la cresta	97.82 m
Elevación de la cresta	839.94 m
Carga máxima sobre la cresta del vertedor	1.0 m
Obra de toma	
Gasto máximo	20 m ³ /s
Número de compuerta de operación	2
Número de compuerta de emergencia	2
Capacidad de obra de toma margen izquierda	2 m ³ /s
Capacidad de obra de toma margen derecha	1 m ³ /s
Capacidad de la obra de desfogue	14 m ³ /s

Fuente: IMTA-CONAGUA, 2003

En el caso de sistemas presurizados, se necesitan las:

Presiones o cargas hidráulicas de funcionamiento: de las tuberías, de puntos de control, de las tuberías y de piezas especiales.

El rango de operación del sistema: son los valores máximo y mínimo de presión o de la carga hidráulica de los emisores (aspersores, goteros, tuberías de compuertas o hidrantes de riego superficial), debe ser incluido en el proyecto o en la guía de operación del sistema entubado, para facilitar el manejo y la evaluación de su desempeño hidráulico.

3.1.3 Red de conducción y distribución

a) Características generales

Debe incluir la información de longitud de las tuberías principales, secundarias y terciarias, así como sus diámetros internos, estructuras, etc.

b) Esquema conceptual de la red

Es un diagrama que muestra los diferentes componentes de la red de conducción y distribución (figura 3.2).

c) Capacidad de la red

La capacidad de la red de distribución de agua para riego debe incluir el análisis de los conceptos y sus parámetros que los caracterizan:

- Gasto modular: El gasto de proyecto por hidrante.
- Gasto por tramo de red: El gasto de cada tramo de tubería de la red.
- Gasto por sección de riego: El gasto de proyecto por unidad y sección de riego.
- Gasto total del sistema en la etapa de demanda crítica.
- Coeficiente de gasto unitario: El gasto por hectárea que corresponde a la zona de riego.
- Gasto necesario para riego de tandeo riguroso: El tandeo de riego correspondiente

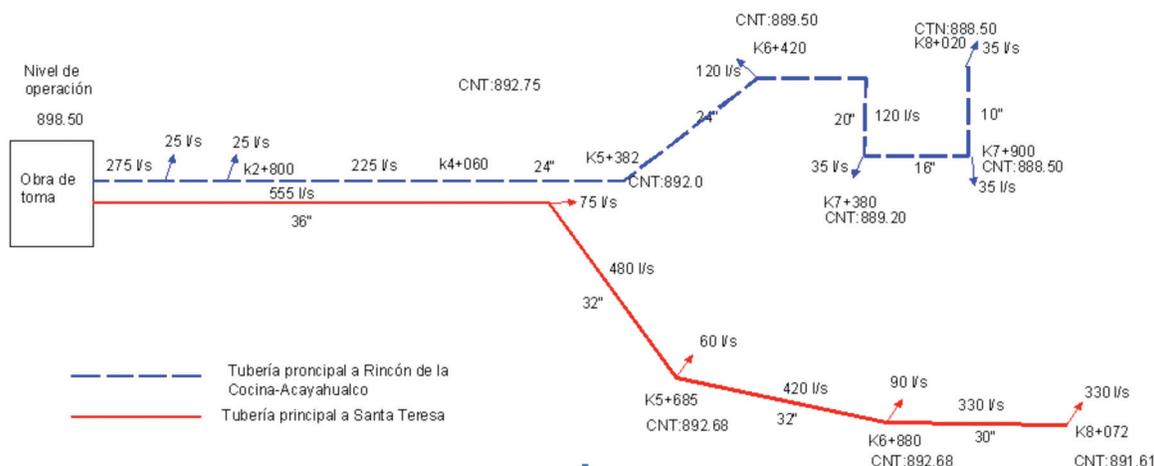


Figura 3.2 Esquema conceptual de la red de conducción principal

a regar toda la superficie en el intervalo de riego crítico.

- Gasto necesario para regar a demanda libre: El servicio de riego atendido cuando es solicitado, con una garantía de seguridad del 80%.
- Capacidad del sistema en lámina por unidad de tiempo que puede aplicar por área de riego de operación simultánea (tablas de gasto, área, lámina y tiempo de riego). En presurizados, la lámina de riego horaria que puede aplicar el sistema por sección o por tubería regante. Esta información generalmente no se incluye en el proyecto y es necesario calcularla con los datos de proyecto, porque es la base de cuánto tiempo debe suministrarse agua al regar.

— Flexibilidad en el servicio de riego del sistema.

En el cuadro 3.5 se presenta un ejemplo de la información de gastos en un sistema de riego entubado.

d) Presiones de operación

Información sobre las presiones de operación o cargas hidráulicas en los sitios de distribución de agua correspondientes a las diferentes alternativas de operación, para regar diferentes secciones del sistema de riego, permite tener control para manejar de manera fácil las condiciones de funcionamiento en tiempo real.

Cuadro 3.5 Ejemplo de la capacidad requerida por el sistema del proyecto Tepecoacuilco

Comunidad	Gasto (l/s)		Red de conducción principal (l/s)	
	Necesario	Modular 25, 30, 35	A Santa Teresa	A Rincón y Acayahualco
Tepecoacuilco	65.90	75 (3)	-	50
Subtotal		75	-	-
Tierra Colorada I	72.60	75 (3)	75	-
Tierra Colorada II	61.10	60 (2)	60	-
Tierra Colorada III	88.30	90(3)	90	-
Subtotal		225	-	-
Rincón de la Cocina I	101.00	120 (4)	-	120
Rincón de la Cocina II	32.60	35 (1)	-	35
Subtotal		155	-	-
Acayahualco I	40.90	60 (2)	60	-
Acayahualco II	34.10	35 (19)	-	35
Acayahualco III	33.80	35 (19)	-	35
Subtotal		130	-	-
Santa Teresa	271.20	270 (9)	270	-
Subtotal		270	-	-
Total		830	555	275

Fuente: IMTA-CONAGUA, 2003.

El proyecto debe incluir un plano con la línea piezométrica de la tubería o de la red o como alternativa un cuadro con información de los puntos de control o de referencia (cuadro 3.6), con la identificación de cada uno, con las condiciones críticas de operación. Así se puede revisar la presión o la carga hidráulica de operación del sistema y de piezas especiales. También se puede verificar si la presión que se presenta en operación, es menor a la resistencia de la tubería y también en la condición de tubería llena con carga estática.

También se especifican las presiones de operación en dispositivos especiales donde se presentan caídas de presión localizadas, como en filtros, en válvulas reductoras de presión, en válvulas sostenedoras de presión y en unidades de control autónomo de tuberías regantes o secciones de riego, son indispensables como indicadores en el manejo del sistema de riego.

3.2 Memoria de cálculo

Es el procedimiento general con los pasos desarrollados para elaborar el proyecto, en

donde se indican los programas de cómputo que se utilizaron para el cálculo de la capacidad de la red de tuberías, los requerimientos de riego, de intervalos de riego, del número de riegos, la demanda máxima de evapotranspiración de los cultivos, o las fórmulas utilizadas en los cálculos o en los programas de cómputo. También incluye las consideraciones técnicas para el desarrollo del proyecto.

3.3 Planos

En obras de riego por gravedad, se deben incluir los planos que sean necesarios para describir gráficamente el sistema de entubamiento, se presenta a continuación la lista de los indispensables.

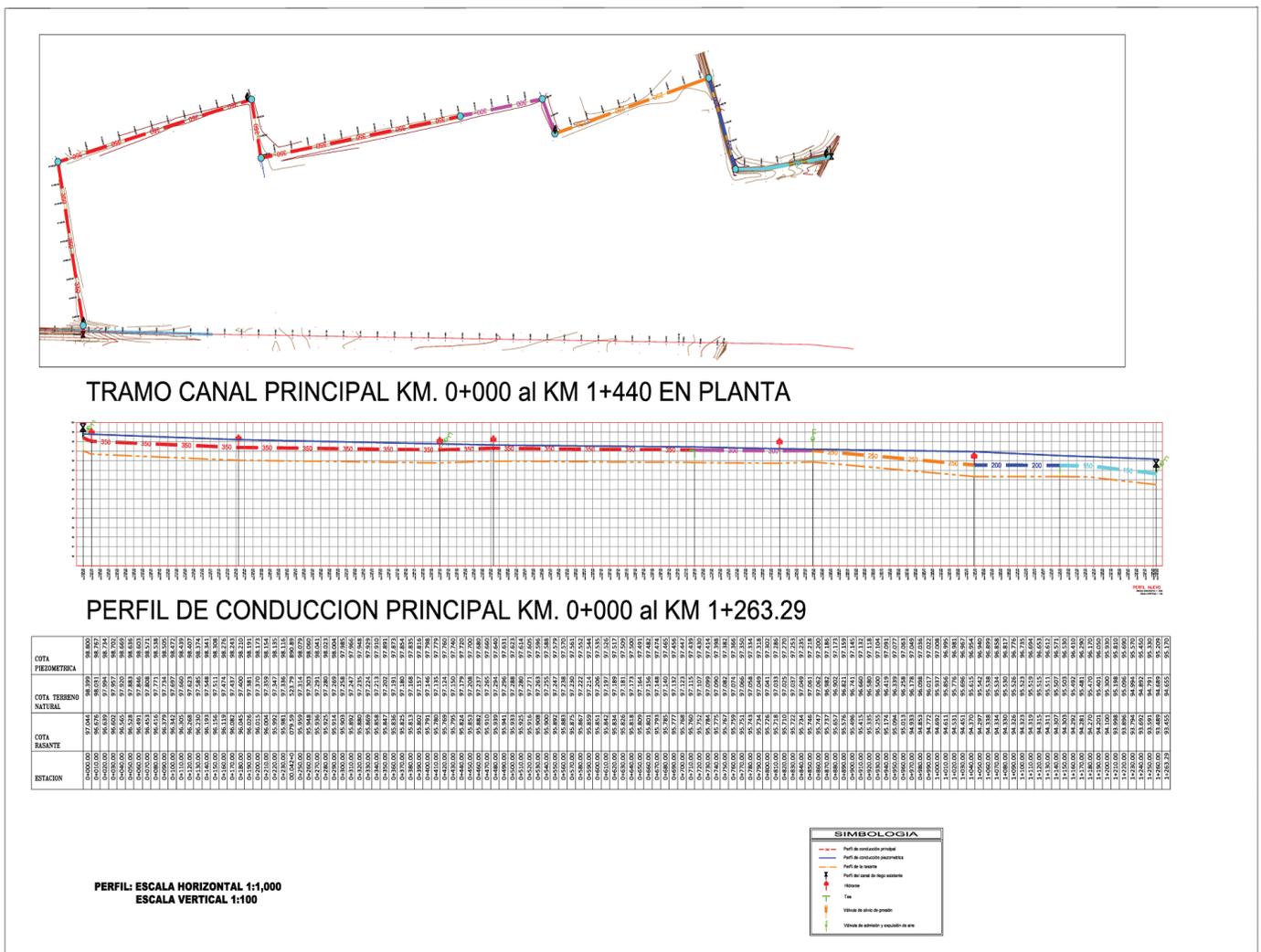
- Plano general. Debe describir gráficamente el proyecto, e incluir el croquis de localización, el dibujo de la obra en planta con los nodos señalados o puntos de control, el cuadro general de tramos, longitudes, diámetros, velocidades del agua, pérdidas de carga y cargas piezométricas.

Cuadro 3.6 Ejemplo de la presentación relativa a la carga piezométrica de hidrantes en un proyecto de riego a baja presión

Hidrantes	Carga piezométrica (m)	Hidrantes	Carga piezométrica
153	10.19	212	11.87
154	10.97	213	11.02
177	10.21	214	10.54
180	10.06	215	12.23
:	:	:	:
:	:	:	:
192	10.65	248	10.38

Fuente: IMTA-CONAGUA, 2003.

- Plano constructivo. Debe describir en planta, en perfil y con cortes la obra y sus características de construcción o instalación, con la presentación a escala o con acotamientos precisos.
- Plano de detalles. Los detalles de la construcción, que por la escala o la diferencia de tamaños no estén claros en el plano constructivo, deben dibujarse por separado para que estén legibles y visibles todas las partes de la obra.
- Plano de perfiles por kilómetro, con el perfil piezométrico. Debe incluirse la información de las líneas de tuberías dibujadas con los perfiles del terreno natural, de la rasante de la excavación, de la rasante de la tubería, de la línea piezométrica y también debe tener cortes transversales con las especificaciones de cama y relleno de la zanja con la tubería (figura 3.3).
- Plano unifilar o de ensamble hidráulico. Debe ser la expresión gráfica del sistema



de entubamiento integrado con las piezas del catálogo de conceptos del proyecto, considerando su orden de colocación en el plano, utilizando la simbología de los entubamientos.

En el caso de que se incluya planta de bombeo, se requieren los planos adicionales siguientes:

- Planos de obra electromecánica o planta de bombeo. Debe incluir las bombas y sus motores, su ubicación en la planta de bombeo, con las especificaciones de construcción del canal de acceso, del cárcamo de bombeo, del tanque de descarga y del canal de salida.
- Planos de obra eléctrica. Debe incluir, planos de la subestación eléctrica, de la acometida y del cuarto de control de la(s) bomba(s).
- Plano unifilar o de ensamble eléctrico. Debe incluir las piezas del catálogo de conceptos de los cableados entre la subestación eléctrica y los equipos de bombeo, así como el sistema de seguridad de la subestación eléctrica.

3.4. Catálogo de conceptos de la obra

Es necesario que se incluya el catálogo de conceptos del entubamiento incluyendo las características de los materiales, sus dimensiones y especificaciones, para que en el caso de hacer reparaciones se tenga la información necesaria para reponer las piezas necesarias con los materiales adecuados.

3.5. Especificaciones técnicas

En la carpeta de proyecto, debe estar el capítulo de especificaciones de la obra, relacionada con todos los conceptos del catálogo. Esto puede ser útil para saber cómo se instalaron piezas especiales o piezas desmontables para mantenimiento preventivo o correctivo.

3.6 Instructivo de operación y mantenimiento

El instructivo de operación y mantenimiento debe incluir los temas siguientes:

- Elaboración, seguimiento y evaluación del plan de riegos.
- Elaboración y ejecución del programa de distribución de agua.
- El manejo del sistema durante el periodo de riego crítico, por unidades y secciones de riego, el orden de hidrantes o número de parcelas que deben regarse simultáneamente, Indicando qué válvulas deben abrirse o cerrarse de acuerdo con el programa de distribución de agua para dar el servicio de riego.

Cuando no es época de máxima demanda, al conocer la flexibilidad se puede operar por tandeo controlado o a demanda libre y debe indicarse la forma de control y supervisión del riego.

En el caso del mantenimiento, debe incluirse el procedimiento preventivo para evitar acumulación de azolves dentro de los tubos, mediante la

circulación de agua a las velocidades programadas para arrastrar los sólidos para evitar que puedan decantarse por baja velocidad o por dejar de circular agua. También indicar en el caso necesario, el lavado de tuberías por ciclo de cultivo.

- Formatos y registro de información de operación y conservación.

- Seguimiento de la operación y de la conservación y las medidas de mejora aplicables en tiempo real.
- Recomendaciones para la protección de equipos y dispositivos (almacén de refacciones de tuberías, hidrantes, coples y niples de reparación, accesorios y herramientas y con el equipo para realizar las operaciones de mantenimiento).

La operación de las redes de riego presurizadas y mixtas de sistemas entubados se vuelve aún más compleja que la misma operación de canales a cielo abierto, debido a una serie de factores que involucran aspectos técnicos.



4

Operación de redes entubadas

M.I. Mario Alberto Montiel Gutiérrez

M.C. Juan Manuel Ángeles Hernández

M.C. Efrén Peña Peña

4.1 Generalidades

La operación de las redes de riego presurizadas y mixtas de sistemas entubados se vuelve aún más compleja que la misma operación de canales a cielo abierto, debido a una serie de factores que involucran aspectos técnicos (como son diseño y construcción), operativos, económicos y sociales:

Técnicos

- ✓ Fuerte variación de niveles permitida en el canal alimentador para la operación del tubo.
- ✓ Estimación de los gastos de operación aguas abajo en laterales, sublaterales o ramales.
- ✓ Sistemas mixtos de riego de baja y alta presión con operación simultánea.
- ✓ Falta de capacidad en las redes de tuberías.
- ✓ Fallas o falta de válvulas de alivio para eliminar el aire atrapado.

Operativos

- ✓ La variación de presión y gastos por cambios de riego durante el día.

- ✓ Fugas en la red que provocan baja de presión o aumento de gasto.
- ✓ Aperturas o cierres de hidrantes no programados.
- ✓ Golpes de ariete por cierres bruscos en válvulas e hidrantes.
- ✓ Hidrante sin regulador de presión que aporten mayor gasto al programado.
- ✓ Imposibilidad de medir el gasto en parcelas debido a la presión
- ✓ Estadística inadecuada de láminas y volúmenes perdidos en parcelas.
- ✓ Hidrantes con poca o nula presión para el riego.
- ✓ Inexperiencia y falta de capacitación en la operación de tuberías.

Económicos

- ✓ Rejillas con problemas de maleza que impidan el gasto adecuado en las redes.
- ✓ Falta de medidores en las tuberías o problemas de medición en dispositivos.

- ✓ Falta de estructuras de desfogue en las redes y canales.
- ✓ Falta de válvulas de seccionamiento en la red para el control de gastos.
- ✓ Falta de manuales de operación o usuarios no capacitados en redes de riego entubadas.
- ✓ Falta de mantenimiento en las redes y en los hidrantes que provoca finalmente la rehabilitación.
- ✓ Hidrantes rotos por la maquinaria o animales por falta de protección.
- ✓ Falta de válvulas de desfogue.
- ✓ Falta de una brigada para reparaciones.
- ✓ Falta de almacén para tener piezas de repuesto y herramientas.
- ✓ Dificultad de programar o planear, los costos de conservación y operación.

Sociales

- ✓ Vandalismo y robo de piezas especiales como válvulas, manómetros, cableado etc.
- ✓ Se requiere mayor disposición y rapidez en la solución de problemas en campo.
- ✓ Revalorar el cálculo de las cuotas por servicio de agua y sobrecuotas de modernización.
- ✓ Nuevos procedimientos y normatividad en la elaboración de planes de riego.

La mayor o menor presencia de los factores mencionados depende del nivel de organización de la operación de los usuarios de las zonas de riego.

En los **distritos de riego**, el personal técnico de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) controla y maneja el agua en las obras de cabeza. Extrae el agua de las obras de almacenamiento y

la entrega en las presas derivadoras o puntos de control especiales, regulando con compuertas calibradas y con aforos con molinetes o sensores de velocidad, el caudal que entra en los canales principales y que recibe el personal de los módulos de riego o de la Sociedad de Responsabilidad Limitada (S. de R.L.).

El personal técnico de operación de la S. de R.L. (Gerente Técnico y auxiliares) opera la red mayor y entrega el agua en los puntos de control al personal responsable de los módulos de riego.

El personal técnico de los módulos (Gerente Técnico y auxiliares) la distribuye internamente a los supervisores de riego de cada sección (canaleros), quienes son los que finalmente entregan el agua a los usuarios.

En el caso de las **unidades de riego (UR)**, la distribución del agua la realizan generalmente los usuarios, sólo en las UR que se encuentran organizadas con figura jurídica (Sociedad de Producción Rural, Asociación Civil y/o Sociedad de Responsabilidad Limitada), lo hacen a través de su personal técnico y/o distribuidores del agua (comúnmente llamados canaleros).

En ambos casos, la organización y funciones del personal de operación, prácticamente son las mismas.

4.2 Planeación de la operación

Con la finalidad de planear, programar y operar redes de riego modernizadas con tubería y en algunos casos sistemas mixtos de canal y entubados, debe implementarse un sistema de distribución

volumétrica del agua para riego (foto 4.1), que permita la entrega oportuna y en la cantidad suficiente para la producción de los cultivos.



Foto 4.1 Red entubada

Para lograr esto, se requiere establecer programas de distribución de agua, métodos de operación de

las redes de riego y también la medición del agua en los diferentes puntos de control por niveles de operación, desde la fuente de abastecimiento hasta los hidrantes.

En general, en las zonas de riego la solicitud de agua inicia en la parcela con los requerimientos de riego de los cultivos y concluye en la fuente de abastecimiento con la integración de la demanda de toda la superficie beneficiada.

El método de entrega de agua es un procedimiento a la inversa, que concluye con la entrega del gasto volumétrico por parte del canalero al usuario. En la figura 4.1 se muestra el procedimiento administrativo y de entrega-recepción del agua en el distrito de riego 041 Río Yaqui, Son., en donde se indican los actores y las etapas de la planeación de la operación.

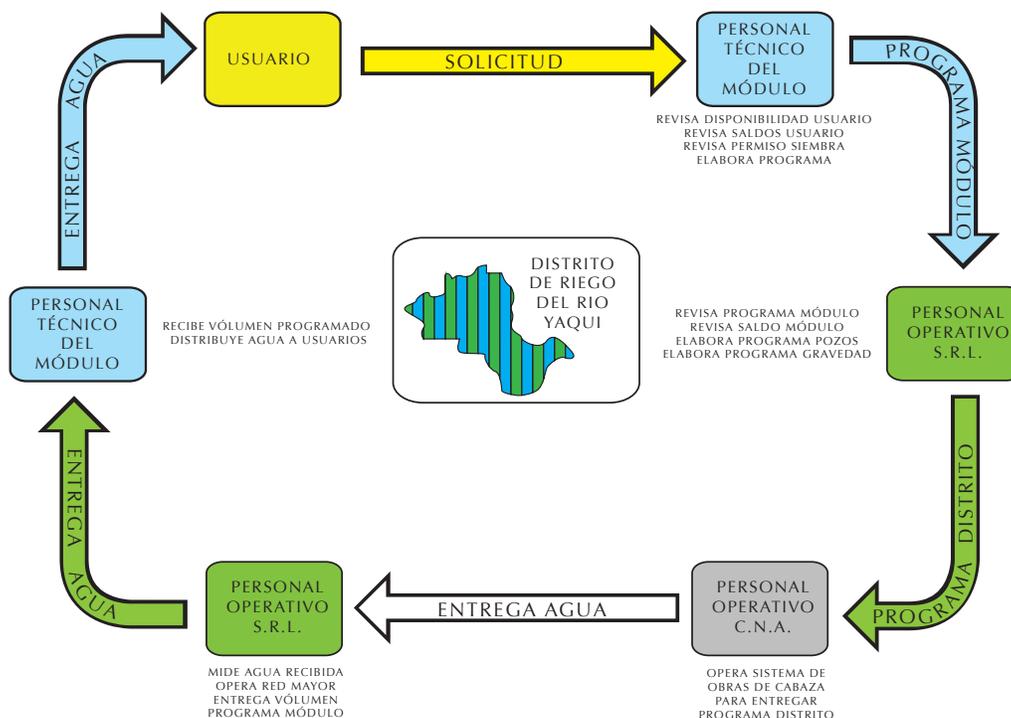


Figura 4.1 Planeación de operación en el DR 041, Río Yaqui, Son.

4.3 Programación para la distribución del agua

4.3.1 Método de demanda controlada o pedido programado

El procedimiento general que se utiliza para organizar la distribución del agua a los usuarios y darles el servicio de riego en las mejores condiciones posibles, es el método de la **demanda controlada o pedido programado**. Consiste en obtener la relación de usuarios que deben regar por línea o por hidrante, en un periodo de tiempo de una semana o menos días y ordenar el servicio de riego por usuario, de manera que lo ideal sería que el caudal del hidrante fuera constante durante el periodo programado, por lo que al terminar de regar un usuario, el siguiente debería recibir el servicio de riego dándole continuidad al programa y variando el caudal lo mínimo posible.

La demanda por hidrantes debe integrarse por tramos de canal entubado o red de riego, lo que permite que el distribuidor de agua pueda hacer ajustes, por secciones de riego, hasta integrar la demanda de los módulos y del distrito de riego, para el intervalo de tiempo seleccionado.

Con la finalidad de utilizar el método de distribución de agua de demanda controlada, es necesario considerar los requerimientos de riego de los cultivos establecidos en cada parcela, mismo que se engloba a través de la lámina neta o las demandas de agua por hidrante y en los diferentes niveles de puntos de control. A continuación se presenta la forma de estructurar los programas de riego en los diferentes niveles de operación.

4.3.1.1 Programa de riego por hidrante

El programa de riego por hidrante o parcela, comprende las láminas netas e intervalos de riego recomendados de acuerdo con el cultivo y el tipo de suelo. De esta manera, con base en el gasto modular de diseño y la superficie a regar por hidrante se calculan los tiempos de riego necesarios que operará el hidrante por cada riego programado. El tiempo de riego se calcula con base en la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{L_n \times A}{(0.036)(q_m)} \quad 4.1$$

Donde:

T_r = Tiempo de riego parcelario, hr.

L_n = Lámina neta a nivel de hidrante, cm.

A = Superficie a regar, ha.

q_m = Gasto modular por hidrante, l/s.

0.036 = Factor de conversión de unidades.

Por ejemplo, si un usuario o un grupo de usuarios van a regar con una lámina neta de 12 cm, una superficie de 19.80 ha, con un gasto modular de 40 l/s, el tiempo de riego aplicando la ec. 4.1 es:

$$T_r = \frac{12 \times 19.8}{(0.036)(40)} = 165 \text{ hr}$$

Esto implica que el avance por día será de 2.91 ha/día. Este avance promedio, puede usarse para estimar el avance diario de una red considerando el total de gastos modulares operando simultáneamente y asumiendo el mismo tipo de suelos en la zona de riego, entre otros aspectos. Con esta información, el operador puede realizar

para cada hidrante un programa gráfico semanal o mensual del riego parcelario (cuadro 4.1).

Cuando se dispone de una estación agroclimática que permita aplicar el pronóstico del riego en tiempo real, se determinan las necesidades de riego de los cultivos para cada parcela y se utilizan la eficiencia de aplicación parcelaria y la eficiencia de conducción interparcelaria correspondientes a cada lote, para calcular la **lámina neta** a nivel de hidrante (foto 4.2).



Foto 4.2 Estación agroclimática

El sistema de pronóstico de riego en tiempo real toma en cuenta la superficie de cada parcela, calcula el volumen de agua necesario y con el gasto que se maneja en la toma se determina el tiempo de riego. El sistema también indica las parcelas que deben regarse en los siguientes siete días, las que se imprimen con las fechas de riego de cada una. Esta información obtenida con una semana de anticipación permite que el responsable de distribuir el agua analice el orden de servicio de riego que conviene dar a los usuarios de un mismo hidrante.

El distribuidor de agua, con esta información, debe reunirse con los usuarios para definir el orden de entrega de agua. Esto lo hace basándose en la información del pronóstico del riego en tiempo real y tomando en cuenta las condiciones particulares de cada usuario para regar, acuerda con ellos el orden del servicio de riego, obteniendo un programa semanal por hidrante, en el cual quedan definidos los gastos que deben operarse en los hidrantes en cada día de la semana y las

Cuadro 4.1 Programa de riegos semanal para un hidrante por el método gráfico

Usuario	Superficie ha	Gasto l/s	Lámina cm	Tiempo días	Días de riego a la semana											
					Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7					
1	1.50	40	12	0.52	■	■										
2	2.70	40	12	0.94		■	■	■	■							
3	1.20	40	12	0.42			■	■								
4	1.20	40	12	0.42			■	■								
5	0.50	40	12	0.17				■								
6	2.20	40	12	0.76				■	■	■						
7	2.00	40	12	0.69					■	■	■					
8	2.20	40	12	0.76						■	■	■				
9	0.85	40	12	0.30							■					
10	1.60	40	12	0.56								■	■			
11	0.60	40	12	0.21									■			
12	1.20	40	12	0.42										■	■	
13	1.50	40	12	0.52											■	■
14	0.50	40	12	0.19												■
Totales	19.80	-	-	6.88												

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

fechas y horas de los cambios necesarios, para cumplir los turnos de riego de los usuarios.

Por ejemplo en la figura 4.2 se muestra la demanda semanal obtenida por la integración de demandas de todas las tomas del canal sublatéral km 4+910 del módulo 2 del DR 076 Valle del Carrizo, Sin., en donde se observa que para el día 2 de febrero la demanda era de 500 l/s, sin embargo, ésta disminuirá hasta 120 l/s para el día 19 de febrero, subiendo hasta 320 l/s el día 21 de febrero. Esta información puede conocerse hasta 7 días antes de la semana a programar.

Cuando no se tiene el sistema de pronóstico del riego en tiempo real, se realiza la concertación con los usuarios, sobre quienes deben regar durante el periodo determinado y se hace el programa de

gastos hidráulicos y el orden de los que deben regar por toma.

En este caso, el distribuidor de agua debe determinar el gasto hidráulico a nivel de hidrante correspondiente, el tiempo de riego y la lámina de agua que se debe aplicar en la parcela, tomando en cuenta la textura del suelo, la nivelación del terreno y la eficiencia de conducción de la regadera interparcelaria, sí ésta no está entubada.

4.3.1.2 Programa de riego por canal

Teniendo los programas diarios por hidrante, el distribuidor de agua organiza e integra el programa semanal de gastos que debe entregar en cada tramo de canal entubado y para toda la red que tiene bajo su responsabilidad. La integración

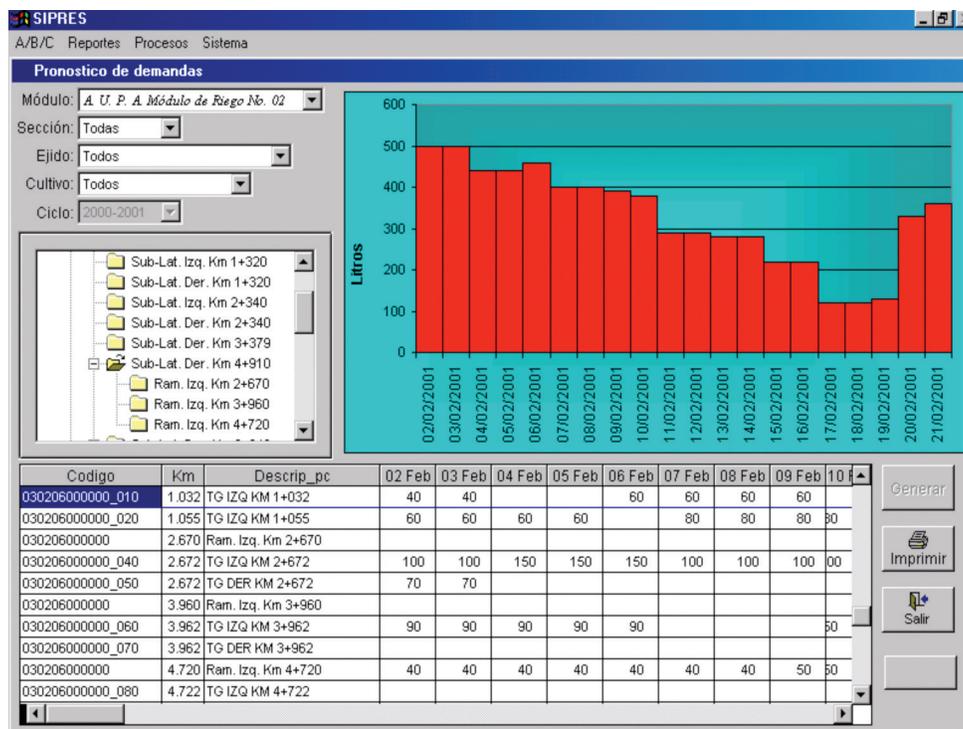


Figura 4.2 Programa de demandas de riego de un canal con pronóstico de riego en tiempo real

de los gastos consiste en sumar los gastos a nivel de hidrante y por línea para después calcular el gasto a nivel de punto de control o de recepción del agua.

Para solicitar el gasto en el punto de control aguas arriba, el distribuidor de agua puede usar dos procedimientos de cálculo: el primero, es utilizando las eficiencias de conducción por tramo de canal o de la tubería que se trate, dividiendo el gasto que debe servir a los usuarios por día de operación entre la eficiencia de conducción; en el caso de que toda la red esté entubada, la eficiencia de conducción es cercana al 100%.

El segundo método considera usar los factores de pérdidas de gasto del tramo de canal o tubería, que deben multiplicarse por el gasto por servir; los factores de pérdidas de volúmenes se estiman en base a un porcentaje de pérdidas del tramo correspondiente. En el caso de canales entubados, el factor de pérdidas es prácticamente nulo y no se considera un volumen excedente, por lo que no se aplica en estos casos.

El cálculo del gasto aproximado que el distribuidor de agua debe solicitar a nivel de punto de control, se

efectúa a partir de la superficie a regar en la semana y de las láminas netas programadas por cultivo, mismas que deben ser las que se consideraron en su plan de riegos, así como las eficiencias por tramo desde la fuente de abastecimiento.

En un primer caso, se calcula el volumen neto total semanal, luego con la eficiencia o factor de pérdidas se calcula el volumen bruto semanal y a partir de éste dato, se calcula el gasto diario promedio que cumple con el riego de toda la semana. Este gasto diario, sería el que se solicitaría a nivel de punto de control o entrega de agua, para cumplir con la demanda en todos los hidrantes, tratando de mantenerlo constante durante la semana, lo cual en la práctica es complicado, porque los gastos varían conforme inician o terminan los riegos durante el día.

El operador debe acomodar o programar los riegos parcelarios de manera que el gasto en punto de control no varíe y por lo mismo no tenga variaciones el canal principal o abastecedor.

Por ejemplo, en el cuadro 4.2 se muestra el cálculo del gasto a nivel punto de control para una demanda en parcelas abastecidas con una red

Cuadro 4.2 Cálculo del gasto a nivel punto de control para una demanda en parcelas abastecidas con una red entubada

Cultivo	Riego	Superficie ha	Lámina neta cm	Volumen neto Mm ³	Eficiencia conducción %	Volumen bruto Mm ³	Lámina bruta cm	Gasto necesario l/s	CUR l/s/ha
	Núm.								
Maíz	1	120	15	180	98	183.67	15.3	303.7	2.53
Frijol	2	60	12	72	98	73.47	12.2	121.5	2.02
Garbanzo	2	40	12	48	98	48.98	12.2	81.0	2.02
Perennes	2	40	18	72	98	73.47	18.4	121.5	3.04
Total o Promedio	7	260	14	372	98	379.59	14.6	627.7	2.41

* Mm³ = Miles de metros cúbicos

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

entubada. Como se puede observar para regar 260 ha-riego, con una lámina neta promedio de 14.31 cm se requiere un volumen neto en parcela de 372 millares de m³, y de 379.6 millares de m³ en punto de control, considerando una eficiencia del 98%, mismo que equivale a una lámina bruta en punto de control de 14.6 cm. El gasto necesario calculado para regar en 7 días las 24 horas, será de 627 l/s.

El Coeficiente Unitario de Riego (CUR) para 7 días de riego efectivos, es de 2.41 l/s/ha. Si en la semana siguiente, se programaran otras 260 ha, con el mismo gasto, en total en 14 días se habrían regado, 520 hectáreas con el mismo gasto de 627 l/s y tandeo riguroso, el CUR ahora calculado en 14 días sería de 1.2 l/s/ha, mismo que corresponde aproximadamente a la capacidad de diseño de la red. Esto es

equivalente a decir que el CUR, se iguala con el Coeficiente Unitario por hectárea (l/s/ha), cuando el intervalo de riego es el mismo.

Una alternativa eficiente para el control de volúmenes necesarios a nivel parcelario son las tablas superficie-gasto-tiempo, las cuales están basadas en el control del tiempo y el gasto de riego para una superficie dada (cuadro 4.3).

Estas tablas pueden calcularse para diferentes niveles de distribución del agua y deben utilizarse por los distribuidores de agua y demás personal operativo. Las tablas se pueden calcular para aplicar láminas netas de 10 y 12 cm según las condiciones de la parcela, de esta manera, se condiciona a los usuarios a regar su superficie en cierto tiempo, logrando un incremento en la eficiencia de aplicación.

Cuadro 4.3 Tabla superficie-gasto-tiempo para el control de riego parcelario

Superficie (ha)	Gasto (l/s)							
	40	50	60	70	80	90	100	120
2	14	11	9 ¼	8	7	6 ¼	5 ½	4 ¾
4	27 ¾	22 ¼	18 ½	15 ¾	14	12 ¼	11	9 ¼
6	41 ¾	33 ¼	27 ¾	23 ¾	20 ¾	18 ½	16 ¾	14
8	55 ¾	44 ½	37	31 ¾	27 ¾	24 ¾	22 ¼	18 ½
10	69 ¾	55 ½	46 ¼	39 ¾	34 ¾	30 ¾	27 ¾	23 ¼
12	83 ¾	66 ¾	55 ½	47 ½	41 ¾	37	33 ¼	27 ¾
14	97 ¾	77 ¾	64 ¾	55 ½	48 ½	43 ¼	39	32 ½
16	111	89	74	63 ½	55 ½	49 ½	44 ½	37
18	125	100	83 ¼	71 ½	62 ½	55 ½	50	41 ¾
20	139	111	92 ½	79 ¼	69 ½	61 ¾	55 ½	46 ¼
22	152 ¾	122 ¼	101 ¾	87 ¼	76 ½	68	61	51
24	166 ¾	133 ¼	111	95 ¼	83 ¼	74	66 ¾	55 ½
26	180 ½	144 ½	120 ¼	103 ¼	90 ¼	80 ¼	72 ¼	60 ¼
28	194 ½	155 ½	129 ¾	111	97 ¼	86 ½	77 ¾	64 ¾
30	208 ¼	166 ¾	139	119	104 ¼	92 ½	83 ¼	69 ½

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

Cuando esto sucede, la operación de la red se considera a demanda máxima y es necesario cumplir con los tiempos y gastos de riego de diseño especificados en el proyecto.

Generalmente por razones económicas y además por usos y costumbres de los usuarios del riego por gravedad, las redes de riego a baja presión se diseñan con el método de tandeo riguroso considerando el período de máxima demanda de consumo de agua por las plantas, de tal manera que todas las parcelas que componen una misma red, se rieguen en un intervalo de días conocido como intervalo de riego crítico (foto 4.3).



Foto 4.3 Red de riego a baja presión (multicompuestas)

Esta condición de diseño, obliga a los operadores a utilizar una distribución de gastos establecida en el diseño del proyecto, es decir, se condiciona y se exige por la capacidad de conducción de los tramos, abrir sólo hasta cierto número de hidrantes permitidos en la red. Cuando esta condición no se satisface, es común que existan problemas de abastecimiento de agua por falta de presión en algunos hidrantes en la red, o bien problemas de tipo social entre los mismos usuarios.

En los planos del proyecto debe estar indicado este cuadro o esquemas tipo que condicionan la apertura de hidrantes para la condición de demanda máxima en la red. Es común y debe estar indicado en los planos del proyecto, que la operación de la red de riego se subdivide en secciones de riego o bien en laterales de riego, en donde el operador debe manejar sólo hasta cierto número de gastos modulares o gastos por hidrante.

El número máximo de hidrantes que se puede operar de manera simultánea en un sistema de riego de baja presión depende del gasto total de la fuente de abastecimiento y del gasto modular de diseño (gasto por hidrante).

$$\text{No. máx de hidrantes} = \frac{\text{Gasto disponible en la fuente}}{\text{Gasto modular}}$$

El grupo de hidrantes que deberán operar de manera simultánea tiene que ver con la capacidad de la red y de la programación de los riegos, siendo importante delimitar la capacidad de conducción de la tubería principal, secundaria y en su caso la terciaria para definir el número de gastos modulares que circulan a través de éstas. Por ejemplo, en el cuadro 4.4 se muestran las recomendaciones de operación de los hidrantes para gastos modulares de 30 l/s en cinco laterales.

Como se puede observar, en el período de máxima demanda hídrica del cultivo es necesario abrir los 13 hidrantes propuestos en todos los laterales, de manera tal, que el gasto total del sistema es de 390 l/s para irrigar una superficie de 293.5 hectáreas. En este caso, el Gasto Unitario de Riego de diseño es de 1.33 l/s/ha, el cual se define como la relación

Cuadro 4.4 Ejemplo de operación de los hidrantes para gastos modulares de 30 l/s en cinco laterales

Lateral	Gasto	No. de hidrantes simultáneos	Superficie dominada	Intervalo de riego
	(l/s)		(ha)	(días)
K 0+207	90	3	72.3	13.9
K 0+407	60	2	37.9	11.0
K 0+930	90	3	72.7	14.0
K 1+172	90	3	68.9	13.3
K 1+774	60	2	41.7	12.1
Totales	390	13	293.5	12.86

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

que existe entre la el gasto de diseño y la superficie a regar.

También muestra que el tiempo total de riego en promedio para toda la red es de 12.86 días, considerando el tandeo riguroso de los riegos. El Coeficiente Unitario de Riego (CUR) de 1.33 l/s/ha implica una cierta flexibilidad del riego, de manera que para un gasto modular de 30 l/s, con una avance diario promedio de 30.32 ha, que dividido entre los gastos modulares operando, es equivalente a un avance diario de 2.33 ha/día con una lámina neta aproximada de 11.12 cm.

La deducción del dato por sí mismo, es necesaria para entender la operación de las redes de riego, por lo que se explica con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{V}{A} = \frac{Q \times t}{A_d} = \frac{\left(0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(86,400 \frac{\text{s}}{\text{día}}\right)}{\left(2.33 \frac{\text{ha}}{\text{día}} * 10,000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}\right)} = 11.12 \text{ cm} \quad 4.2$$

Donde:

L = Lámina de riego, cm

Q = Gasto de diseño, m³/s

t = Tiempo, s

A = Superficie, ha

A_d = Avance diario = ha/día

86,400 = Factor de conversión de unidades

10,000 = Factor de conversión de unidades

La lámina de riego calculada (la cual es parámetro de diseño), implica que el tubo proporcionará 13 gastos modulares de 30 l/s, por lo tanto, el usuario tardará 12.86 días en regar la superficie dominada de 293 hectáreas. Sí el regador aplica una lámina diferente, mayor o menor, el intervalo aumentará o disminuirá proporcionalmente según sea el caso.

4.3.1.3 Programa de riego por módulo o distrito de riego

Cuando se tienen integradas las demandas por sección de riego, los encargados de zona o el gerente de operación del módulo organizan el programa semanal que se debe realizar para la entrega de agua a las secciones de riego, y tomando en cuenta las eficiencias de conducción o los factores de pérdidas en la red de distribución debe calcular los gastos necesarios que necesita solicitar a la S. de R. L., o bien, a la CONAGUA según sea el caso.

El personal técnico de la S. de R. L. integra las demandas que requieren los módulos, aplica las eficiencias de conducción o los factores de pérdidas en red mayor y determina los gastos que deben solicitar al personal técnico de la CONAGUA en los puntos de entrega de agua a la red mayor.

Con la finalidad de facilitar la operación de los canales y las estructuras de control, conviene que el periodo de integración de pedidos o programa de riegos sea de varios días, que pueden ser 3, 5 y 7 días. El periodo de tiempo para el programa de riego debe estar de acuerdo con los tiempos de respuesta de la red y de las obras hidráulicas, y al incremento o reducción de gastos para atender las variaciones de la demanda. Cuando el sistema es completamente entubado desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas, el tiempo de respuesta es mínimo, ya que la tubería se encuentra presurizada y llena.

Para facilitar la operación en las redes de riego, es necesario que el orden en el servicio de riego se ajuste a la entrega del agua, sin hacer modificaciones en los gastos que se manejan en los puntos de control. Entre más largo es el periodo del programa de riego, se facilita la operación y se restringe la flexibilidad en el servicio de riego, haciendo más riguroso el tandeo o el orden en los turnos de riego, y entre más corto es el periodo para realizar los ajustes de incrementos o reducciones de gastos para atender la demanda de los usuarios, se complica la operación de la red de distribución, pero se facilita el servicio de riego en las tomas parcelarias.

Generalmente en el mes de demanda crítica, el intervalo de riego es de 15 a 20 días dependiendo de los cultivos y suelos de la zona de riego. Lo

normal es manejar intervalos de riego del orden de los 25 a los 30 días. En otros meses del año como en invierno el intervalo de riego es hasta de 40 a 50 días. El cálculo de la capacidad del entubado se realiza con el intervalo de máxima demanda, por lo que será en estos meses, cuando hay que poner atención a la operación en tandeo riguroso de las redes de riego.

4.4. Operación de la red entubada

4.4.1 Consideraciones generales

• Niveles de operación

Para la entrega volumétrica del agua se requiere que los niveles del agua en las represas o bien en las estructuras de entrega de agua comúnmente conocida como “cajas” u obras de tomas, se mantengan prácticamente constantes y para lograr eso se deben considerar los aspectos siguientes:

- El gasto a entregar debe ser conforme a su programa de riegos semanal o decenal.
- El personal técnico del módulo o bien de la S. de R. L. o la CONAGUA, deberá entregar el agua a los operadores en los puntos de control conservando los tirantes para evitar fuertes pérdidas de conducción.
- Sí el punto de control de entrega de agua al sistema entubado es una caja sobre un canal, el nivel de diseño en la caja debe ser coincidente con el nivel de operación normal de canal.
- La verificación del gasto se realiza en el medidor a la salida de la obra de toma o “caja”.

Sin duda, la operación de una red cerrada es más difícil que la de una red abierta, debido a que no es tan fácil inferir los gastos y presiones de diseño por tramo o por zona de riego.

- **Solicitud de aumento o reducción de gasto a una red entubada**

Antes de solicitar aumento o reducción de gasto en las tuberías, los distribuidores de agua deben analizar los cambios o ajustes necesarios por tramo de las redes, de acuerdo con la demanda de los siguientes días para seguir utilizando el mismo gasto que están recibiendo y en caso de no ser posible, deben hacer los ajustes por línea o sección de riego. Este ajuste consiste en utilizar el gasto de hidrantes que terminen de regar en la semana.

Si no se pueden hacer ajustes en el programa de servicios de riego, entonces debe hacerse la solicitud del cambio; para el grupo de técnicos de operación, lo más conveniente es que durante una semana solo se produzcan uno o dos cambios en los gastos de las líneas y que los usuarios se ajusten a un tandeo controlado, tomando en cuenta el orden de las solicitudes de riego, sin embargo, lo ideal para los productores sería recibir el servicio de riego como demanda libre y este sería el caso

de mayor dificultad para la operación de la red de distribución.

En el caso del aumento o reducción de gasto, éste se realiza mediante la apertura o cierre de la válvula de compuerta o mariposa que se encuentra al inicio de la línea (figura 4.3). Aumentando el área de paso en la válvula principal, así como en las válvulas de paso del interior de las secciones, permitirá el aumento de gasto en los hidrantes, y viceversa.

El aumento o disminución del gasto debe verificarse en el medidor ubicado aguas abajo de las cajas. En el caso de aumento de gasto esta verificación debe hacerse un vez abierto los hidrantes a regar, ya que el medidor no marcará aumento alguno, sí no existen aberturas en los hidrantes al momento de abrir la válvula de paso. En el caso de disminución de gasto, éste se presenta de manera regular en los hidrantes en operación al ser provocado por el efecto de disminución de área de paso en la válvula principal.

- **Tiempo de respuesta de la infraestructura hidráulica**

Con la finalidad de evitar las fluctuaciones en los niveles de los canales o reducirlas al mínimo, se



Figura 4.3 Válvulas de mariposa utilizadas en las redes de riego a baja presión

considera necesario que los operadores tomen en cuenta los tiempos de respuesta o la velocidad de onda de los cambios de gastos en las obras de control. Cuando se requiere hacer un cambio en la red de distribución que implique transporte de agua desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas, se considera que en cada punto de control debe solicitarse el incremento o cambio de gasto desde las tomas parcelarias hasta la fuente de abastecimiento, tomando en cuenta el tiempo de respuesta de los canales, de manera que el tiempo que tarda el agua desde la presa hasta el punto de control debe ser considerado para definir el momento en que se abra o se incremente la descarga en el hidrante.

Esto significa que el distribuidor de agua debe abrir la toma hasta que recibe el cambio de gasto en el punto de entrega de agua, porque si entrega agua antes de recibirla, se originan fluctuaciones en los niveles de la represa y por lo tanto cambios en las descargas.

Una de las ventajas de los sistemas de redes entubadas con respecto a los canales, es la posibilidad de que el tiempo de respuesta de la red es inmediato en cuanto a la aplicación del riego parcelario, ya que generalmente la red de tuberías está llena y con el gasto disponible para riego, cosa que no sucede en los canales, por la necesidad de llenar los vasos y dar niveles a los puntos de entrega de agua.

Este ahorro en tiempo efectivo de riego, significa para el usuario como para el operador un ahorro del orden del 10 al 20% de intervalo de riego crítico, dependiendo de la red, lo cual, elimina tiempos muertos de llenado y vaciado de canales y regaderas.

• Apertura y cierre de válvulas e hidrantes

Para mantener las presiones en la red lo más estables posible se requiere principalmente un nivel constante en la fuente de abastecimiento.

Las estructuras de control en los canales de alimentación a las redes entubadas, son las represas con compuertas radiales y rectangulares deslizantes y requieren de que su manejo sea bajo el criterio de que deben operar siempre a un mismo nivel del agua en la parte de aguas arriba de la compuerta, controlando el gasto únicamente con la abertura.

Una vez que se logra mantener el nivel en la caja, los cambios de riego se realizan mediante el cierre lento de los hidrantes hasta su cierre definitivo. Para tal efecto es necesario tener preparado el siguiente hidrante de riego, para que una vez cerrado el anterior, abrirlo.

El llenado de la red debe hacerse abriendo lentamente la válvula principal y previo a éste movimiento, haber abierto algunos hidrantes auxiliares para eliminar el aire atrapado en la tubería de conducción. Luego estos hidrantes es necesario cerrarlos durante el llenado. Cuando el sistema es de gravedad a baja presión (carga hidráulica menor de 15 m) no existe mucho problema, ya que el llenado se da lentamente y no existen problemas de transitorios en la red hidráulica. Una vez eliminado el aire de la tubería, el gasto modular se establece en los hidrantes y se inicia el riego de manera normal, al salir el agua por las compuertas.

El gasto no utilizado de manera parcial, traerá como consecuencia una disminución en las

pérdidas de carga en la red, aumentando un poco la presión disponible en los demás hidrantes, pero que volverá a su estado normal en la red, al aumentar el gasto en todos a la vez. Es decir, que el sistema hidráulico, se regula automáticamente, siempre y cuando se cumpla la continuidad de los gastos en las aberturas de los hidrantes.

Cuando el cierre es brusco y realizado de una manera rápida, el aumento en la presión es inmediato, volviéndose la velocidad a un valor de cero atrás del hidrante, lo que provoca un golpe de ariete, mismo que se trasmite hacia aguas arriba de la red, a una velocidad equivalente a la velocidad de onda que permite el material de la tubería, poniendo en riesgo a todos los componentes de la red, al ser golpeados por una onda de presión que físicamente puede colapsarlos.

Los movimientos de las válvulas e hidrantes deben realizarse con cuidado y sólo por personas autorizadas en el manejo de las redes de riego. Es muy común que la apertura y cierre de los hidrantes se deje a cargo del regador o del usuario,

sin explicarles su funcionamiento o riesgos específicos de daños a la red.

4.4.2 Operación de redes a baja y alta presión

4.4.2.1 Operación de una red conectada a un canal

Con fines prácticos, se presenta la operación del canal sublateral km 2+170 del canal lateral 10+560 que abastece al módulo de riego III Margen Derecha del río Santiago del DR 043 Estado de Nayarit (figura 4.4), el cual esta entubado en red abierta con una sola línea de conducción y riega 70 hectáreas con un gasto de diseño de 120 l/s, mediante la aplicación de 4 riegos simultáneos con gastos modulares de 30 l/s.

- Descripción del sistema

Canal de aportación y sus estructuras

En la figura 4.5 se muestra la planta y perfil del canal de aportación, la obra de toma que



Figura 4.4 Plano general de la zona de riego

consiste en una caja de concreto y las estructuras complementarias del inicio de la red entubada.

Se tienen 3 diferentes mallas que van reduciendo el área de paso antes de la entrada a la caja, con la finalidad de proteger al sistema de tuberías del taponamiento por basuras y maleza. Se cuenta también con medidor de gasto de propela tipo silleta de 350 mm, además de una válvula de mariposa que permite operar diferentes gastos o vaciar la caja para proporcionar mantenimiento.

Red de conducción principal

El canal consta de 7 hidrantes de 6 pulgadas, suficientes para abastecer 4 riegos modulares de 30 l/s, que debe operar el distribuidor de agua

para satisfacer la demanda de riego de las parcelas (figura 4.4).

La figura 4.6 muestra el plano en planta y perfil topográfico del canal sublateral km 2+170 del canal lateral 10+560 que abastece al módulo de riego III Margen Derecha del río Santiago del DR 043, Estado de Nayarit.

En los primeros 800 m del perfil del terreno se tiene poca carga hidráulica (alrededor de 2 m) y los últimos 450 m se presenta una caída importante que hace que al final del canal se tengan más de 4.6 m de diferencia en desnivel del terreno con respecto a la cota de la superficie libre del agua en la caja, la cual corresponde a la cota 98.8 msnm. Lo anterior, determina que el sistema puede tener

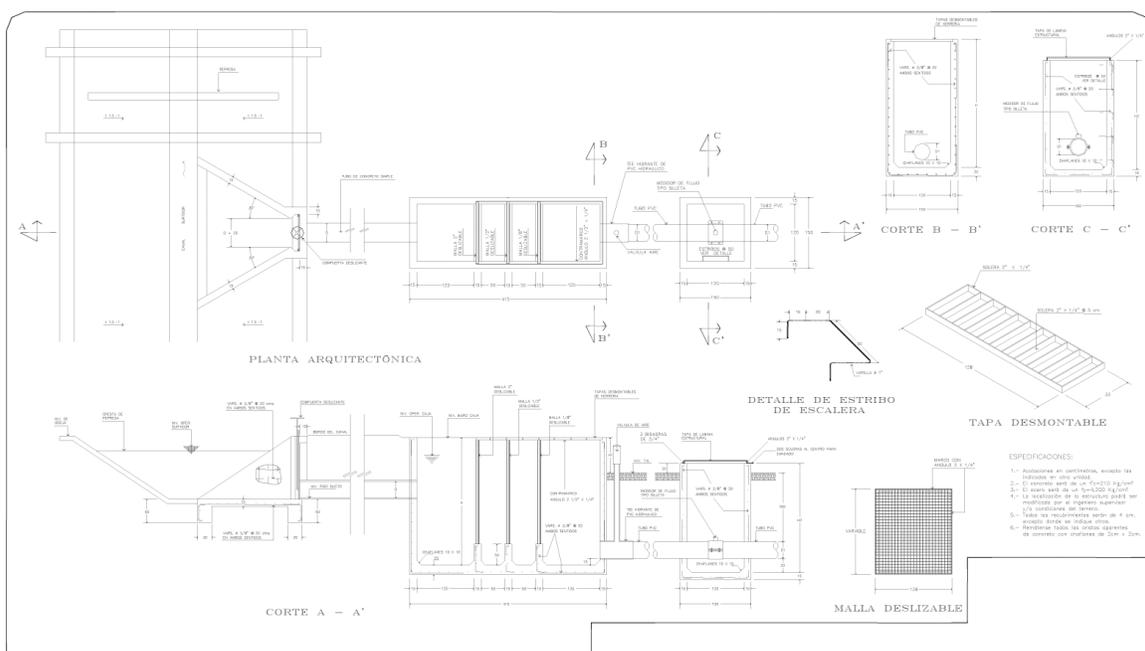


Figura 4.5 Planta y perfil del canal de aportación y sus estructuras

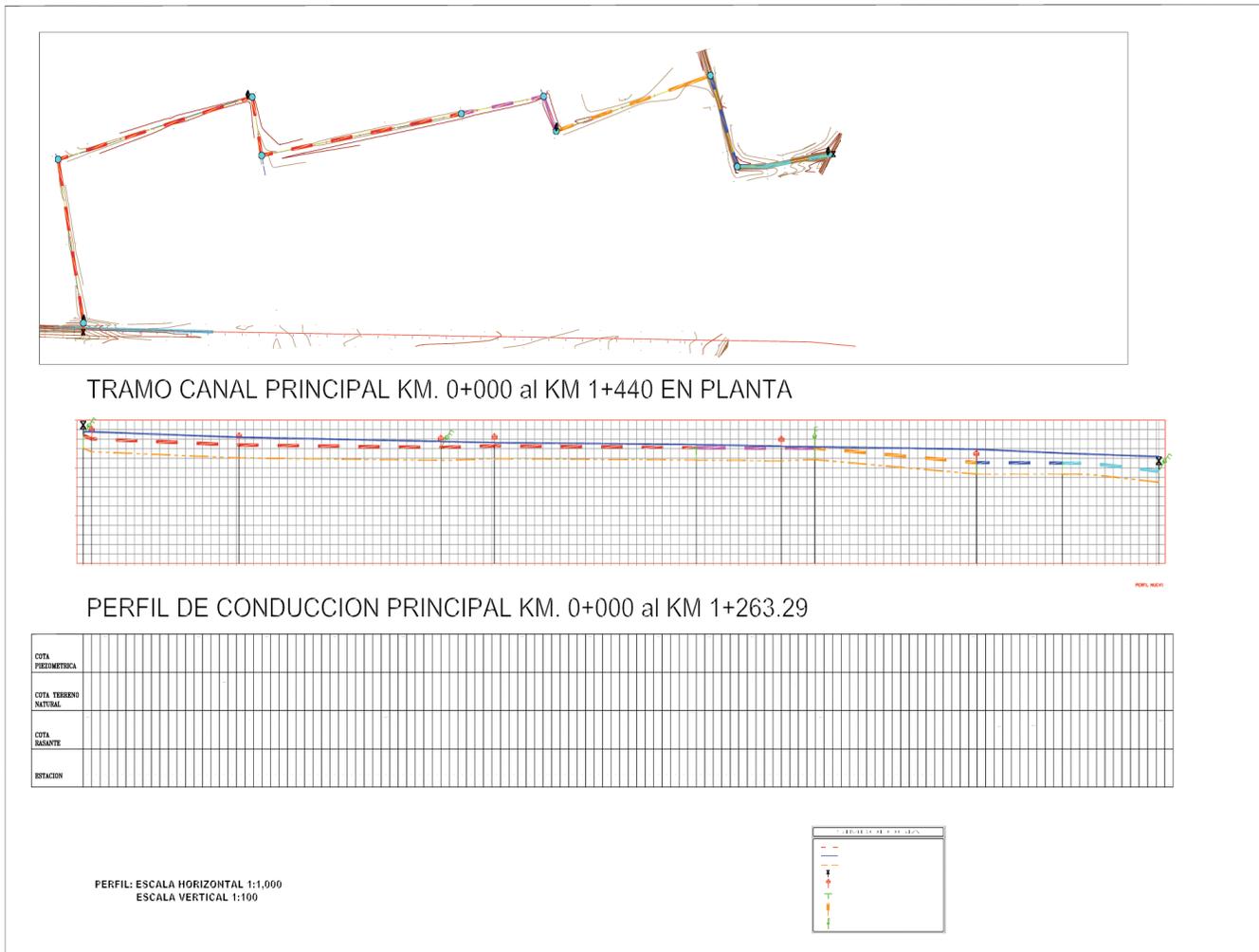


Figura 4.6 Planta y elevación del canal sublateral 2+170

tuberías de riego por multicompuertas sólo en algunos hidrantes debido a la limitante de carga.

• **Operación de la red de conducción principal**

Previa verificación mediante recorrido, de que todos los hidrantes están en condiciones de operación para el manejo de los gastos y volúmenes que habrán de suministrarse durante el ciclo agrícola, el distribuidor de agua proporciona el gasto necesario en el punto de control (obra de toma de la caja) para el periodo correspondiente, con base en su plan de riegos debidamente

autorizado.

Como se trata de un canal lateral pequeño con gastos relativamente pequeños, el distribuidor de agua puede operar prácticamente con los gastos demandados la semana anterior.

Si el canal entubado resultará ser un punto de control importante del módulo, la apertura de la obra de toma en la caja, se realiza a través del personal designado (presero) y/o el jefe de operación del módulo o su equivalente; en los lugares que se amerite, se deberá tener una

estrecha coordinación con el personal técnico de la dependencia normativa (CONAGUA) o de la S. de R. L.

De acuerdo con el diseño se tiene que para operar los 120 l/s, el comportamiento hidráulico de la red funcionará con el gasto y las velocidades de diseño que permiten una carga de operación mínima en cada hidrante, tal y como se muestra en la figura 4.7

De acuerdo con el diseño hidráulico de la red, del km 0+000 al km 0+420 pueden transitar 120 l/s suficientes para proporcionar 4 riegos de 30 l/s. En este tramo se tiene tubería de 14 pulgadas.

Del km 0+420 al km 0+720 se tiene una capacidad de 90 l/s, con tubería de 12 pulgadas, después hasta el km 0+860 se tiene una capacidad de 60

l/s ya que se tienen tuberías de 10 y 8 pulgadas. En el último tramo, se tiene una capacidad de 30 l/s, o más bien un solo riego al ser tubería de 6 pulgadas.

De acuerdo con los datos que proporciona el gráfico de la figura 4.6, se tienen pérdidas totales en el recorrido de $h_f = 3.6$ m, lo que permite que al final se tenga una carga de operación de 50 cm en el hidrante, suficiente para riego por gravedad, pero insuficiente para tubería de multicompuertas. En la operación del canal entubado, el distribuidor de agua y los usuarios deben respetar estas capacidades de diseño para no ocasionar problemas durante la operación.

El gráfico de la figura 4.6, también muestra los gastos a operar en el caso de que se tengan 4 riegos en el sistema, el distribuidor del agua debe

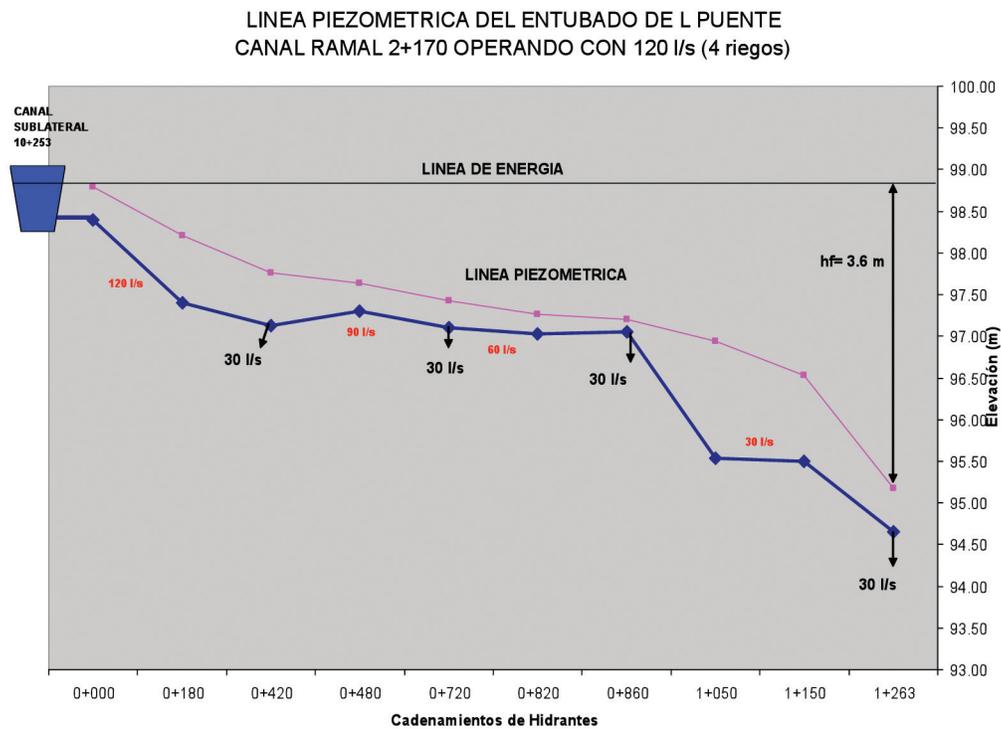


Figura 4.7 Operación de la red a gasto máximo de diseño de 120 l/s

considerar la capacidad de los tubos, entre tramos, en donde se deberá respetar el gasto transitado como se indica a continuación:

- Del cadenamiento km 0+860 Transitar un riego en adelante
- Del cadenamiento km 0+720 Transitar dos riegos al km 0 + 860
- Del cadenamiento km 0+420 Transitar tres riegos al km 0+720
- Del cadenamiento km 0+000 Transitar cuatro riegos al km 0+420

Lo anterior no implica que se puedan abrir tal número de hidrantes por tramo, si no que en cada tramo se debe abrir como máximo un hidrante, aún cuando en la demanda máxima del sistema se estén ocupando los 4 riegos de diseño.

Sin embargo, habrá ocasiones en que por la demanda de riego, se operarán menos de cuatro riegos. Por ejemplo, en la figura 4.8 se muestra el caso de operación de un solo riego de 30 l/s operando el último hidrante en el sistema.

Se observa que debido a que se opera la tubería con gastos menores a los de diseño y por lo tanto velocidades menores, las pérdidas de carga o de presión en las tuberías es menor, pudiéndose operar con multicompuertas sin problemas en todos los hidrantes. En este caso la pérdida de carga total en el sistema es de $h_f = 2.27$ m.

La línea piezométrica muestra la carga piezométrica del sistema y las cargas de operación que se tendría en cada hidrante para el caso indicado, es decir, si por la

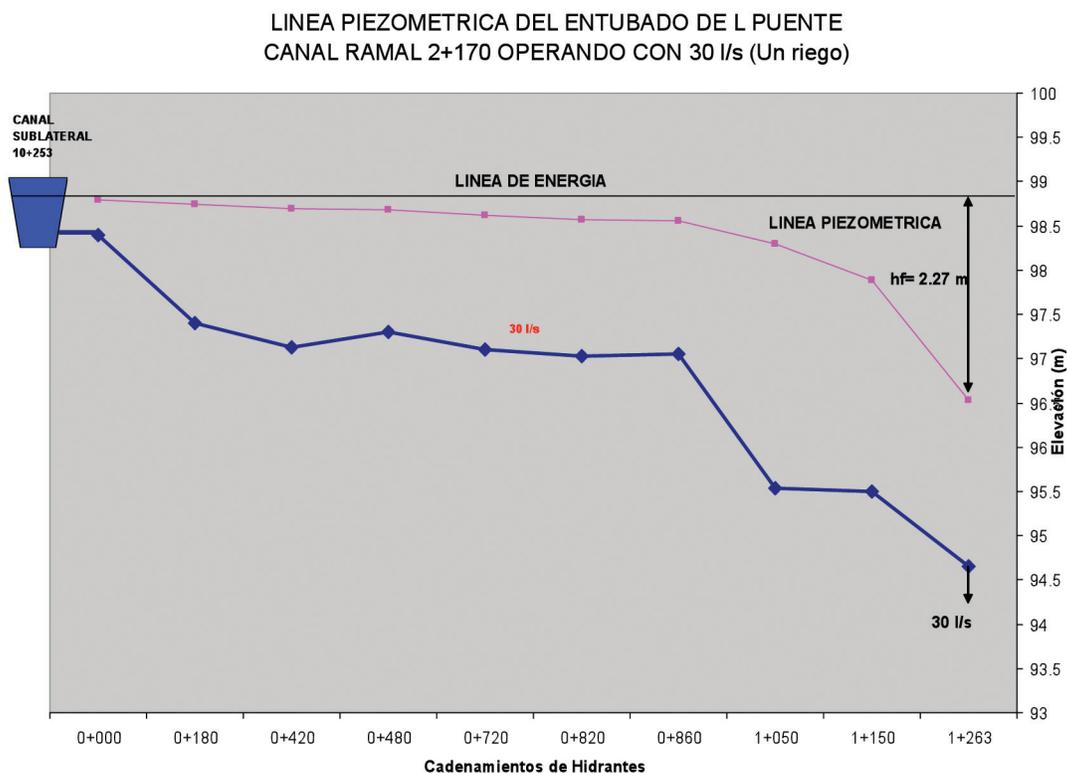


Figura 4.8 Operación del sistema entubado con un gasto de 30 l/s en el último hidrante

red sólo operara un gasto de riego. Como el hidrante que se analiza es el último, la simulación mostrada representa la carga real que se tendría si se abriera cualquier hidrante y un solo riego en el sistema.

De esta forma, para el último hidrante la carga de operación sería de 2.3 m aproximadamente, sin embargo, habrá hidrantes, por ejemplo el ubicado en el cadenamiento km 1+050 que tendría más de 3.5 m de carga hidráulica y la alternativa de operación para este caso sería que el distribuidor de agua deberá cerrar parcialmente la válvula hasta lograr los 30 l/s de gasto en el hidrante.

En la figura 4.9 se muestra el caso de operar tres riegos (90 l/s) en el sistema entubado.

Cuando operan tres riegos o bien 90 l/s, se tendría una condición intermedia en la red al existir cargas

de operación un poco más altas que cuando se operan 4 riegos o 120 l/s (la pérdida de carga sería del orden de 3.4 m). Como los diámetros están diseñados para gastos mayores, en teoría no deberían existir problemas de operación en la red, sin embargo, algunas veces por la operación diaria de la red, es necesaria abrir hidrantes vecinos debido a que algunos usuarios siembran cultivos como hortalizas que requieren riegos más frecuentes.

Por ejemplo, en la figura 4.10 se muestran los mismos tres riegos, pero con hidrantes cercanos operando.

En este caso se incrementa la pérdida de carga en el último tramo, porque se abrieron dos hidrantes cuando técnicamente se debió abrir como máximo un hidrante en ese tramo. Es decir, en una tubería diseñada para 30 l/s estaría operando con 60 l/s,

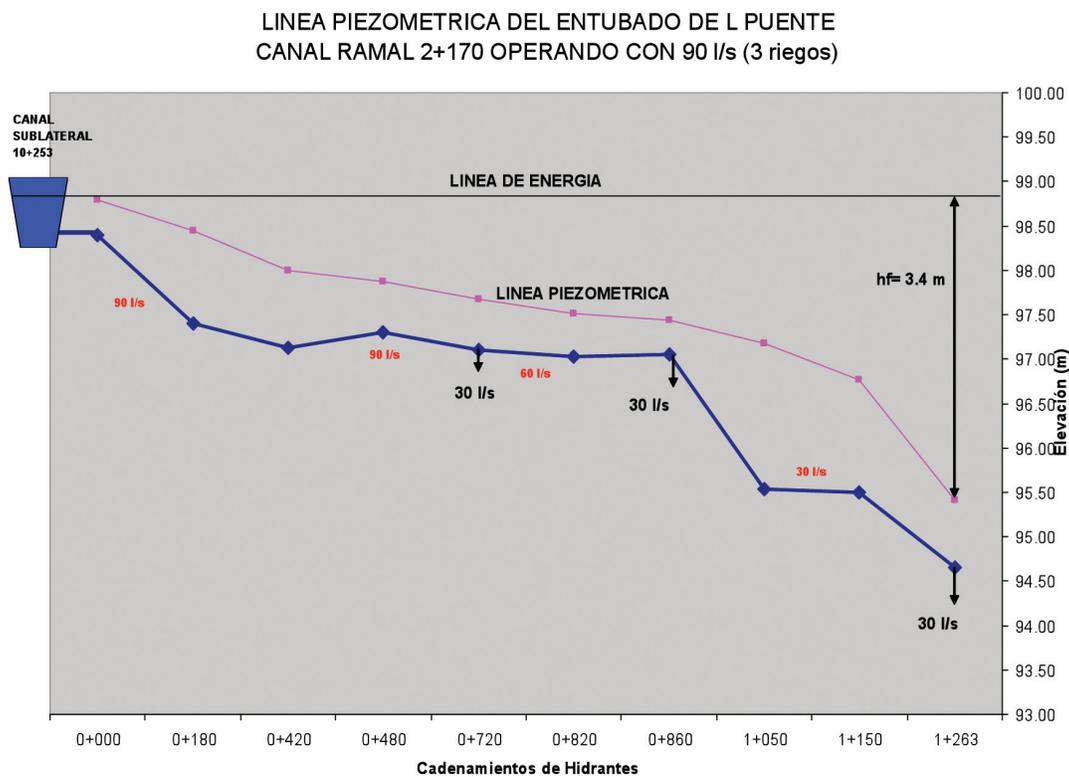


Figura 4.9 Operación del sistema entubado con un gasto de 90 l/s (tres hidrantes simultáneos)

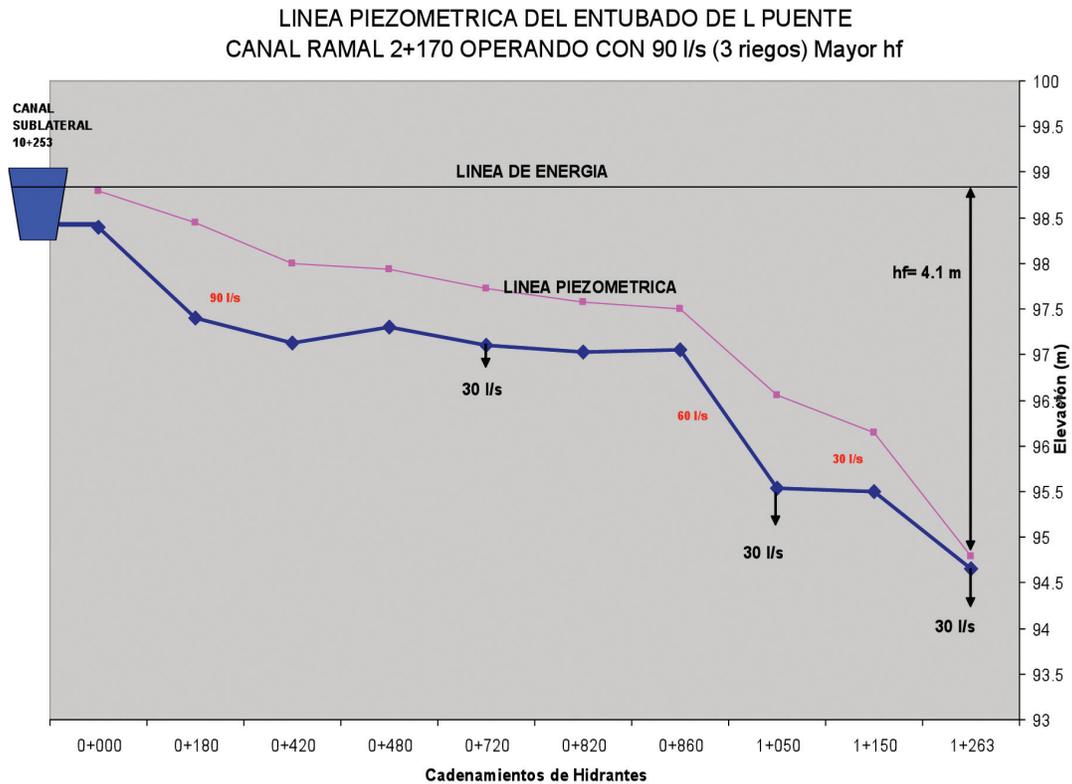


Figura 4.10 Operación del sistema entubado con un gasto de 90 l/s (tres hidrantes simultáneos y cercanos)

lo que determina un incremento en la pérdida de carga de hasta 4.1 m, mientras que en el caso anterior, con el mismo gasto de 90 l/s se tiene una pérdida de carga de 3.4 m.

La figura 4.11 muestra el caso de operación de dos hidrantes alejados en la red entubada. Se observa que la carga de operación en los hidrantes es un poco más elevada que en el caso de operar tres hidrantes, pero menor que la operación de tres hidrantes simultáneos. La pérdida de carga total es de 2.9 m.

Para ejemplificar un caso práctico de cómo puede fallar una red hidráulicamente, en la figura 4.12 se muestra un ejemplo donde se abren dos hidrantes vecinos al final del entubado.

Se observa que la línea piezométrica se encuentra por abajo de la elevación del hidrante, lo que significa una presión negativa (menor que la presión atmosférica). En la práctica lo que sucede es que el gasto de ambos hidrantes se equilibra de acuerdo con la presión disponible y las pérdidas de carga en el sistema, es decir, dependiendo de la presión disponible, el hidrante de aguas arriba podrá dar sin problemas los 30 l/s, pero el de aguas abajo dará menos gasto a una presión nula o bien a la presión atmosférica. Hidráulicamente se dice que opera sólo con la carga de velocidad sobre el orificio del hidrante.

En la figura 4.13 se muestra como se podría equilibrar al sistema abriendo dos hidrantes

LINEA PIEZOMETRICA DEL ENTUBADO DE L PUENTE
CANAL RAMAL 2+170 OPERANDO CON 90 l/s (3 riegos) Mayor hf

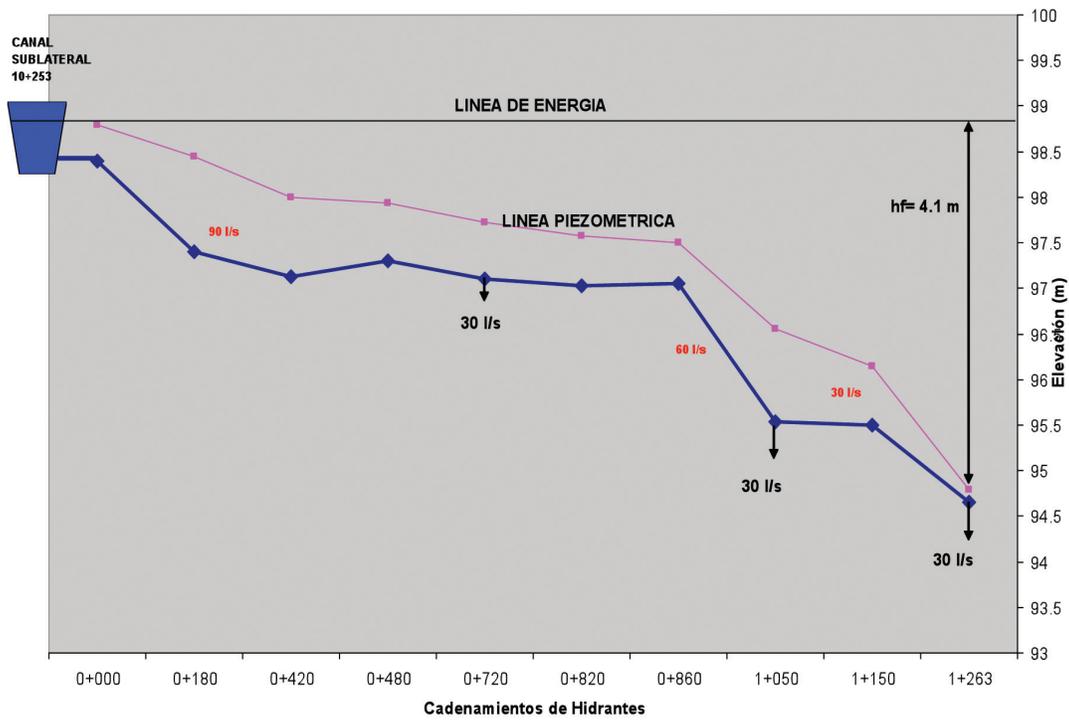


Figura 4.11 Operación del sistema entubado con un gasto de 60 l/s (dos hidrantes alejados)

LINEA PIEZOMETRICA DEL ENTUBADO DE L PUENTE
CANAL RAMAL 2+170 OPERANDO CON 60 l/s (2 riegos con hidrantes vecinos)

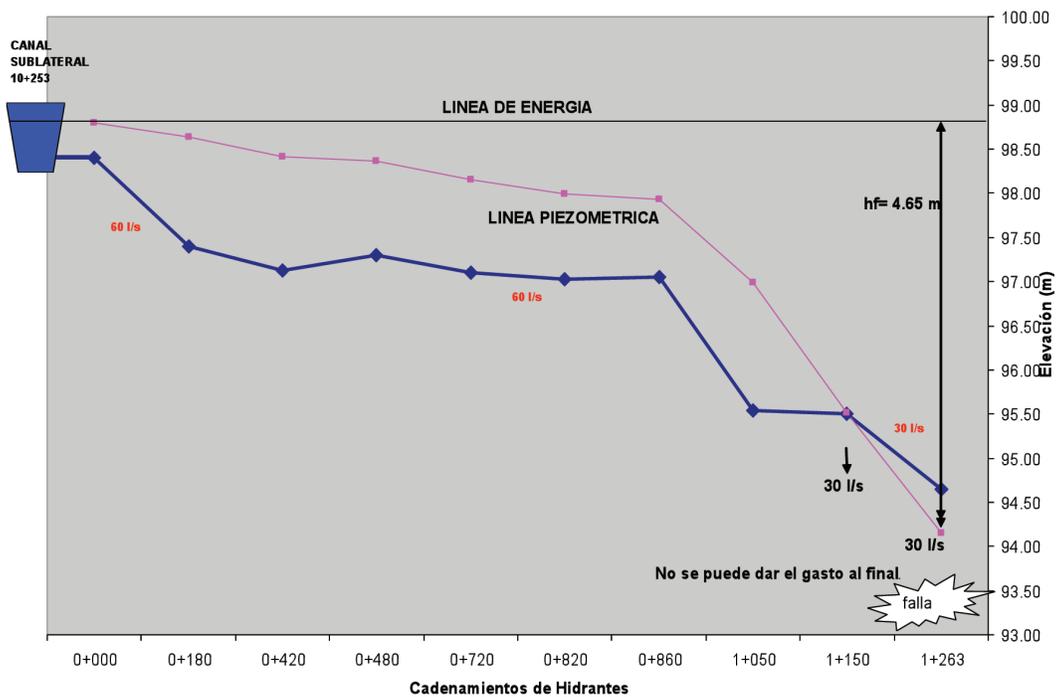


Figura 4.12 Operación del sistema entubado con un gasto de 60 l/s (dos hidrantes cercanos al final del entubado)

simultáneos al final de la tubería, en donde se observa que dicho equilibrio se logra con un gasto de 55 l/s.

Son muchas las combinaciones que se pueden presentar en la red, en donde el distribuidor del agua deberá analizarlas para tomar las medidas necesarias de operación de los dispositivos para proporcionar los gastos requeridos a cada hidrante.

Finalmente, la condición de desfogue de la red con fines de mantenimiento se presenta cuando en el último hidrante se presenta el gasto máximo de 55 l/s con la válvula completamente abierta.

4.4.2.2 Operación de una red conectada a una presa de almacenamiento o derivadora a descarga presurizada

Con fines prácticos, se presenta el ejemplo de la propuesta preliminar para la zona de riego de la Presa “I. Mariano Abasolo”, Pénjamo, Gto., que riega una unidad de riego de 2,000 hectáreas, cuya red de conducción y distribución se encuentra entubada desde la obra de toma.

• Descripción del sistema

Fuente de abastecimiento

Dentro de la galería de la presa se tiene una tubería de 42 pulgadas de diámetro, conectado entre la

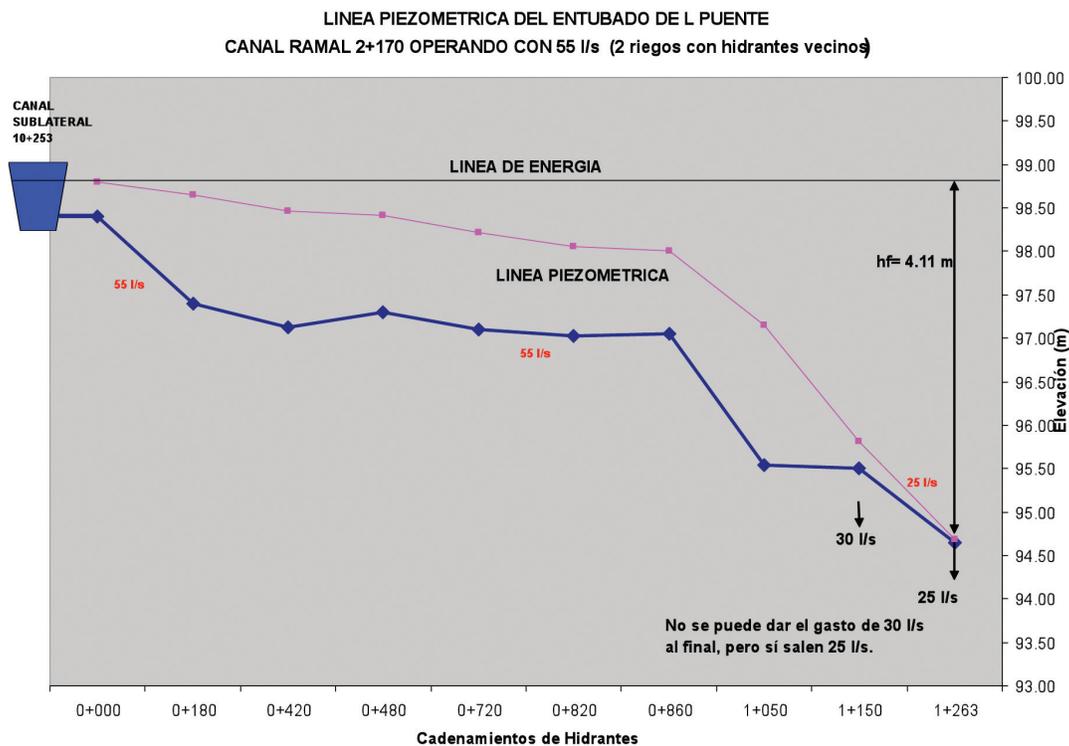


Figura 4.13 Operación del sistema entubado con un gasto de 60 l/s (dos hidrantes vecinos al final del entubado con equilibrio de gasto)

compuerta actual y con la tubería de conducción principal de 48 pulgadas de diámetro.

Red de conducción principal y sus dispositivos

Consta de una red principal y seis líneas laterales (figura 4.14). La capacidad de conducción de la red principal es de 1,960 l/s, mismo que se va reduciendo hacia el final de la red.

En la figura 4.15 y en el cuadro 4.5 se presenta la distribución y la longitud de la red principal.

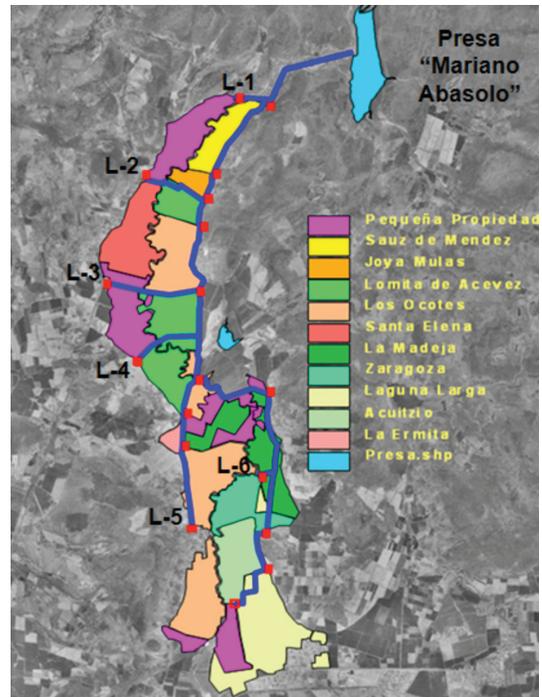


Figura 4.14 Plano general de la zona de riego de la presa "I. Mariano Abasolo"

Cuadro 4.5 Diámetros y longitudes en el proyecto ejecutivo de la red de conducción principal de la unidad de riego de la Presa "I. Mariano Abasolo", Gto.

Diámetro		Longitud (m)
(mm)	(pulg.)	
1,200	48	5,140
1,100	44	1,341
1,000	40	2,207
700	28	1,699
630	24	4,269
500	20	708
450	18	2,502
400	16	1,395
355	14	3,007
315	12	352
250	10	1,430
160	6	210
Total:		24,260

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

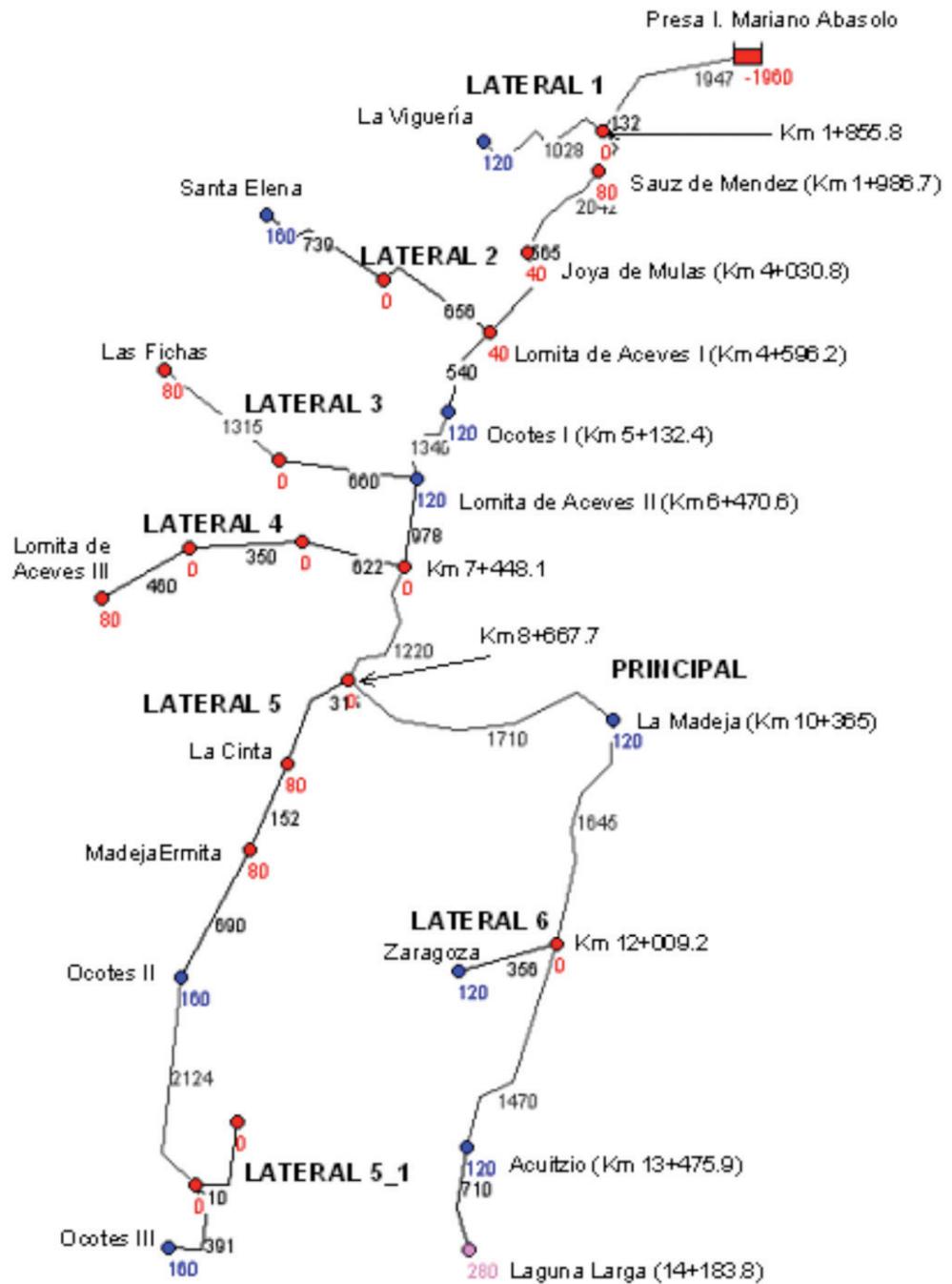
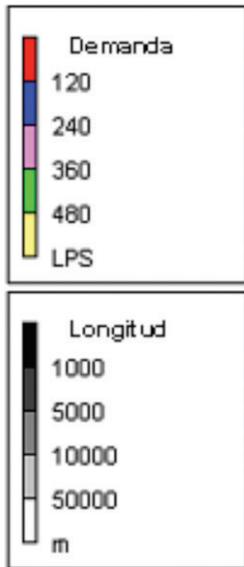


Figura 4.15 Plano de la red de distribución de la presa “I. Mariano Abasolo”

Las estructuras y/o dispositivos instalados en la red de conducción principal son:

- 72 válvulas de admisión y expulsión de aire (6 válvulas de 24 pulgadas, 24 válvulas de 6 pulgadas, 12 válvulas de 3 pulgadas y 30 válvulas de 2 pulgadas).
- Una válvula de desfogue al inicio de la conducción principal.
- 4 Válvulas reductoras/reguladoras de presión.

Red de conducción interparcelaria y parcelaria, y sus dispositivos

La zona de riego se agrupó en 14 áreas compactas (puntos de entrega del agua de riego en bloque), mismas que agrupan a uno o más ejidos o parcelas de la pequeña propiedad (cuadro 4.6).

Los diámetros y la longitud de tubería de la red interparcelaria y parcelaria se presentan en el cuadro 4.7, en donde se incluye la tubería

Cuadro 4.6 Superficie y usuarios por punto de entrega del agua de riego

Área o ejido	Superficie (ha)	Usuarios
La Viguería	109.86	17
Las Fichas	95.23	13
La Cinta-Madeja-Ermita	154.14	47
Acuitzio	94.47	50
Madeja	143.28	54
Lomita de Aceves	199.89	81
Laguna Larga P.P. La Florida	290.69	105
Los Ocotes I	133.76	38
Los Ocotes II	140.97	45
Los Ocotes III	141.30	36
Sauz de Méndez	84.50	29
Zaragoza	121.48	48
Santa Elena	161.36	85
Joya de Mulas_Lomita de Aceves	91.52	41
Total	1,962.45	689

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

Cuadro 4.7 Tuberías de la red interparcelaria y parcelaria

Concepto	Cantidad (m)
I. Tubería	
400 mm (16")	1,285
355 mm (14")	775
315 mm (12")	4,136
250 mm (10")	11,319
200 mm (8")	17,739
160 mm (6")	48,112
Total	83,366
II. Tubería con compuertas de 160 mm (6")	11,400
III. Número de hidrantes	663
IV. Válvulas de admisión y expulsión de aire	347
V. Válvulas de compuerta	17
VI. Válvulas reductoras/reguladoras de presión	3
VII. Medidores de gasto y totalizador volumétrico	17

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

de compuertas de 6 pulgadas de diámetro y dispositivos.

En el cuadro 4.8 se presentan las cantidades de tubería y piezas especiales de cada una de las áreas compactas.

• **Operación de la red de conducción principal**

En el cuadro 4.9 se presentan los puntos de entrega y el gasto que se conduce en la red principal por tramo. Así mismo, se presenta la presión disponible a un nivel de agua mínimo de operación de la presa, en condiciones de una máxima demanda en la red de conducción.

Al inicio de cada ciclo de riego (principalmente en otoño-invierno) se debe proceder al llenado con el agua de riego de todas las líneas de la tubería, en

consecuencia se tendrá el proceso de expulsión del aire contenido dentro de la misma. El proceso de llenado inicia con la apertura de la compuerta de la obra de toma, en donde la velocidad de apertura o el gasto de llenado deberá ser lo suficientemente pequeño para permitir el desalojo gradual del volumen de aire a través de las válvulas de admisión-expulsión. En el cuadro 4.10 se presenta el tiempo de llenado y el volumen requerido por cada tramo de la red de conducción principal, considerando un gasto promedio de 150 l/s.

Se recomienda que el gasto de llenado para esta red no sea mayor de 150 l/s, lo que implica que para llenar únicamente la red de conducción principal, que representa un volumen de 11,868 m³ se requiere de 22 horas. Adicionalmente para la red interparcelaria y parcelaria, utilizando el mismo gasto, representa un volumen de 2,451

Cuadro 4.8 Tubería y dispositivos para la tecnificación de la red interparcelaria y parcelaria por ejido

Área o ejido	Longitud de tubería (m)		Dispositivos No. (pulg.)		
	Conducción	Compuertas	Medidores	Válvulas compuerta	Válvulas de aire
La Vigería	4,895	900	1 (12")	1 (12")	20
Las Fichas	3,135	600	1 (12")	1 (12")	14
La Cinta-Madeja-Ermita	5,750	900	1 (8")	1 (8")	21
Acuitzio	6,252	600	1 (10")	1 (10")	25
Madeja	5,603	900	1 (12")	1 (12")	24
Lomita de Aceves	8,383	1,200	2 (10")	2 (10")	38
Laguna Larga y Florida	13,475	1,500	1(20")	1(20")	52
Los Ocotes (i)	4,548	900	1 (12")	1 (12")	19
Los Ocotes (ii)	4,163	900	1(14")	1(14")	17
Los Ocotes (iii)	5,880	600	1(16")	1(16")	22
Sauz de Méndez	4,185	450	1(10")	1(10")	20
Zaragoza	6,554	600	1 (12")	1 (12")	28
Santa Elena	6,428	900	1(16")	1(16")	26
Joya de Mulas-Lomita Aceves	4,175	450	2(6")	2(6")	21
Total	83,426	11,400	-	-	347

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

Cuadro 4.9 Características hidráulicas y operativas de la red de conducción principal

Tramo	Longitud (m)	Superficie dominada (ha)	Gasto (l/s)	Diámetro (pulgadas)	Presión NAMÍN (m)	Punto de entrega
Red principal						
Obra de Toma	90	1963.5	1960	42	0	-
K 0+000 al K 1+855	1,855	1963.5	1960	48	22.8	Hacia la Viguería
K 1+855 al K 1+986	131	1853.7	1840	48	22.3	Sauz de Méndez
K 1+986 al K 4+030	2044	1769.2	1760	48	29.1	Joya de Mulas
K 4+030 al K 4+596	566	-	-	48	30.2	Hacia Santa Elena
K 4+566 al K 5+132	566	1515.3	1520	48	31	Los Ocotes (I)
K 5+132 al K 6+470	1338	1381.5	1400	44	32.6	Hacia Las Fichas
K 6+470 al K 7+448	978	1286.3	1200	40	33.9	Hacia Lomita de Aceves
K 7+448 al K 8+667	1219	1086.4	1120	40	33.4	Bifurcación Principal
K 8+667 al K 10+365	1698	650	640	28	27.7	La Madeja
K 10+365 al K 12+009	1644	506.7	520	24	23.3	Hacia Zaragoza
K 12+009 al K 13+476	1467	385.2	400	24	21.6	Acuitzio
K 13+476 al K 14+183	707	290.7	280	20	17.5	Laguna Larga
Lateral 1 (K 1+855)						
K 0+000 al K 1+029	1029	95.2	120	14	18.4	La Viguería
Lateral 2 (K 4+596)						
K 0+000 al K 1+390	1390	161.4	160	16	22.5	Santa Elena
Lateral 3 (K 6+470)						
K 0+000 al K 1+972	1972	95.2	80	14	23.1	Las Fichas
Lateral 4 (K 7+448)						
K 0+000 al K 1+426	1426	200	80	10	11.6	Lomita de Aceves
Lateral 5 (K 8+667)						
K 0+000 al K 0+317	317	436.4	480	24	29.7	La Cinta
K 0+317 al K 0+460	143		400	24	28.1	Ermita y Madeja
K 0+460 al K 1+130	670	282.3	320	24	29.5	Los Ocotes (II)
K 1+130 al K 3+642	2512	141.3	160	18	23.2	Los Ocotes (III)
Lateral 6 (K 12+009)						
K 0+000 al K 0+351	351	121.5	120	12	23.2	Zaragoza

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

m³, se requiere de un tiempo de 4.54 horas, por lo tanto, el tiempo total de llenado de toda la red no deberá ser menor de 26.5 horas. Lo anterior implica que al menos un día antes de iniciar los riegos, se deberá empezar a llenar la red de manera lenta.

Para el llenado de la red de conducción interparcelaria y parcelaria, el gasto de entrada

deberá ser proporcional al gasto máximo de operación. Es decir, que el gasto de 150 l/s se deberá dividir entre las 14 áreas compactas. En el cuadro 4.11 se presenta el gasto recomendado para el llenado de cada una de las áreas compactas. Para obtener este gasto se deberá regular desde la válvula tipo compuerta ubicada en cada punto de entrega. De no hacerse este procedimiento de llenado lento, se corre el riesgo de que la tubería colapse.

Cuadro 4.10 Tiempo de llenado de la red de conducción principal con un gasto promedio de 150 l/s

Tramo	Longitud	Diámetro	Volumen	Tiempo
	(m)	(pulgadas)	(m ³)	(Hr)
Red principal				
Obra de Toma	90	42	101.79	0.19
K 0+000 al K 1+855	1,855	48	2,097.96	3.89
K 1+855 al K 1+986	131	48	148.16	0.27
K 1+986 al K 4+030	2,044	48	2,311.71	4.28
K 4+030 al K 4+596	566	48	640.13	1.19
K 4+566 al K 5+132	566	48	640.13	1.19
K 5+132 al K 6+470	1,338	44	1,271.55	2.35
K 6+470 al K 7+448	978	40	768.12	1.42
K 7+448 al K 8+667	1,219	40	957.40	1.77
K 8+667 al K 10+365	1,698	28	672.27	1.24
K 10+365 al K 12+009	1,644	24	475.74	0.88
K 12+009 al K 13+476	1,467	24	424.52	0.79
K 13+476 al K 14+183	707	20	129.54	0.24
Lateral 1 (K 1+855)				
K 0+000 al K 1+029	1,029	14	95.08	0.18
Lateral 2 (K 4+596)				
K 0+000 al K 1+390	1,390	16	162.66	0.30
Lateral 3 (K 6+470)				
K 0+000 al K 1+972	1,972	14	182.22	0.34
Lateral 4 (K 7+448)				
K 0+000 al K 1+426	1,426	10	65.05	0.12
Lateral 5 (K 8+667)				
K 0+000 al K 0+317	317	24	91.73	0.17
K 0+317 al K 0+460	143	24	41.38	0.08
K 0+460 al K 1+130	670	24	193.88	0.36
K 1+130 al K 3+642	2,512	18	371.61	0.69
Lateral 6 (K 12+009)				
K 0+000 al K 0+351	351	12	25.48	0.05
Total			11,868.12	21.98

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

Cuadro 4.11 Gasto aproximado para el llenado de la red de conducción interparcelaria y parcelaria por ejido para distribuir un gasto total de 150 l/s

Área o ejido	Superficie (ha)	Gasto (l/s)	
		Ajustado	De llenado
La Vigería	109.86	120	9
Las Fichas	95.23	120	9
La Cinta-Madeja-Ermita	154.14	160	12
Acuitzio	94.47	120	9
Madeja	143.28	160	12
Lomita de Aceves	199.89	200	12
Laguna Larga y Florida	290.69	280	18
Los Ocotes (i)	133.76	120	9
Los Ocotes (ii)	140.97	160	12
Los Ocotes (iii)	141.30	160	12
Sauz de Méndez	84.50	80	6
Zaragoza	121.48	120	9
Santa Elena	161.36	160	12
Joya de Mulas-Lomita Aceves	91.52	120	9
Total:	1,962.45	-	-

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

El número de riegos simultáneos en cada área compacta o ejido, se presenta en el cuadro 4.12

Cuadro 4.12 Número de riegos simultáneos para cada ejido, en función de la superficie y del gasto ajustado

Área o ejido	Superficie (ha)	Gasto (l/s)		No. máximo de riegos simultáneos
		Requerido	Ajustado	
La Vigería	109.86	105.5	120	3
Las Fichas	95.23	91.4	120	3
La Cinta-Madeja-Ermita	154.14	148	160	4
Acuitzio	94.47	90.7	120	3
Madeja	143.28	137.5	160	4
Lomita de Aceves	199.89	192	200	5
Laguna Larga y Florida	290.69	279	280	7
Los Ocotes (i)	133.76	128.5	120	3
Los Ocotes (ii)	140.97	135.3	160	4
Los Ocotes (iii)	141.30	135.6	160	4
Sauz de Méndez	84.50	75.4	80	2
Zaragoza	121.48	116.6	120	3
Santa Elena	161.36	155	160	4
Joya de Mulas-Lomita Aceves	91.52	87.9	120	3
Total:	1,962.45	-	-	-

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

Cuando se establecen más riegos a los estipulados, originará una disminución del gasto por hidrante del área respectiva, lo que implica un mayor

tiempo para completar el riego de las parcelas. En el cuadro 4.13 se presenta la presión de operación a que deberán estar operando las

Cuadro 4.13 Características de operación de las válvulas reguladoras de presión

Válvula reguladora de presión	Presión antes de la válvula reguladora de presión a presa llena (NAMO = 1,738.5) mca.		Presión requerida después de la válvula reguladora de presión (mca)	Reducción de presión (%)	
	Gasto total en la red $Q_{máx.} = 1,960$ lps	Gasto total en la red $Q_{mín} = 960$ lps		Q_{max}	Q_{min}
Red de conducción principal					
12" (ubicada Km 0+003 del lateral 3) Gastos que circulan a través de la Válvula $Q_{máx.} = 120$ lps y $Q_{mín} = 80$ lps Velocidades a través de la Válvula $V_{máx.} = 1.7$ m/s y $V_{mín} = 1.13$ m/s	47.6	54.6	32.6	31.5	40.3
8" (ubicada Km 0+003 del lateral 4) Gastos que circulan a través de Válvula $Q_{máx.} = 80$ lps y $Q_{mín} = 40$ lps Velocidades a través de la Válvula $V_{máx.} = 2.5$ m/s y $V_{mín} = 1.27$ m/s	48.9	57.1	33.9	30.7	40.6
20" (ubicada Km 0+003 del lateral 5) Gastos que circulan a través de la Válvula $Q_{máx.} = 480$ lps y $Q_{mín} = 240$ lps Velocidades a través de la Válvula $V_{máx.} = 2.4$ m/s y $V_{mín} = 1.22$ m/s	48.4	58.0	33.4	31.0	42.4
20" (ubicada en el Km 10+365 de la red principal) Gastos que circulan a través de la Válvula $Q_{máx.} = 640$ lps y $Q_{mín} = 240$ lps Velocidades a través de la Válvula $V_{máx.} = 3.2$ m/s y $V_{mín} = 1.22$ m/s	42.7	56.4	27.7	35.1	50.9
Red de conducción interparcelaria Válvulas reductoras para operar a presa llena. Para reducir la presión en el punto de entrega en el rango (1 a 14 m)					
Joya de Mulas y Lomita de Aceves				Reducción máxima (m)	
Punto o nodo 43	40		28.8	14	
Punto o nodo 47	40		26.9	14	
Los Ocotes (1)					
Punto de entrega único	160		30.9	14	
Lomita de Aceves					
Punto o nodo 1	120		32.38	14	

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

válvulas reductoras/reguladoras, tanto para la red de conducción principal, como para la red interparcelaria y parcelaria. Para la aplicación del riego en la parcela es necesario tener preparado el surcado y colocada la tubería de compuertas, previo a la abertura de la válvula.

Generalmente para cubrir con el riego a toda la parcela, se tienen que realizar varias tendidas

de riego. En el cuadro 4.14 se presentan los datos generales para la operación del sistema de riego entubado operando con tubería de compuertas.

En el cuadro 4.15 se presenta la superficie, el volumen y el gasto por hidrante, el tiempo de riego y el número de riegos para cada subárea de cada ejido o área compacta.

Cuadro 4.14 Datos generales de operación del sistema de riego a baja presión

No.	Concepto	Valor	Unidad
1	Espaciamiento entre surcos	80	cm
2	Lámina de riego neta	9.6	cm
3	Requerimiento de riego máximo	5.79	mm/día
4	Intervalo de riego crítico	16	Días
5	Eficiencia de aplicación	75	%
6	Gasto modular	40	l/s
7	Tiempo de riego para 1.0 hectárea	8.9	Horas
8	Tipo de sistema de riego	Multicompuertas	

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

Cuadro 4.15 Superficie, volumen bruto, gasto y tiempo de riego por ejido y "Área"

Ejido y "Área"	Superficie	Volumen bruto	Gasto	Tiempo de riego	Riegos Simultáneos
	(ha)	(m ³)	(l/s)	(Días)	
La Viguería	109.86	143490.6	120	13.8	3
A1	40	52,244.9	40	15.1	1
A2	40	52,244.9	40	15.1	1
A3	29.86	39,000.8	40	11.3	1
Las Fichas	95.23	124,382.0	120	12.0	3
A1	32.3	42,187.8	40	12.2	1
A2	39.09	51,056.3	40	14.8	1
A3	23.84	31,138.0	40	9.0	1
La Cinta-Madeja-Ermita	154.14	201,325.7	160	14.6	4
A1	37.47	48,940.4	40	14.2	1
A2	40.23	52,545.3	40	15.2	1
A3	40.23	52,545.3	40	15.2	1
A4	40.49	52,884.9	40	15.3	1
Acuitzio	94.47	123,389.4	120	11.9	3
A1	32.4	42,318.4	40	12.2	1

Cuadro 4.15 Superficie, volumen bruto, gasto y tiempo de riego por ejido y "Área", (continuación).

Ejido y "Área"	Superficie	Volumen bruto	Gasto	Tiempo de riego	Riegos Simultáneos
	(ha)	(m ³)	(l/s)	(Días)	
A2	30.1	39,314.3	40	11.4	1
A3	32	41,795.9	40	12.1	1
Madeja	143.28	187,141.2	160	13.5	4
A1	39.56	51,670.2	40	15.0	1
A2	36.63	47,843.3	40	13.8	1
A3	32.17	42,018.0	40	12.2	1
A4	34.92	45,609.8	40	13.2	1
Lomita de Aceves	199.89	261,080.8	200	15.1	5
A1	41.57	54,295.5	40	15.7	1
A2	42.58	55,614.7	40	16.1	1
A3	33.6	43,885.7	40	12.7	1
A4	37.52	49,005.7	40	14.2	1
A5	44.62	58,279.2	40	16.9	1
Laguna Larga y Florida	290.69	379,676.7	280	15.7	7
A1	41.53	54,243.3	40	15.7	1
A2	40.29	52,623.7	40	15.2	1
A3	44.72	58,409.8	40	16.9	1
A4	45.65	59,624.5	40	17.3	1
A5	38.17	49,854.7	40	14.4	1
A6	42.18	55,092.2	40	15.9	1
A7	38.15	49,828.6	40	14.4	1
Los Ocotes (I)	133.76	174,706.9	120	16.9	3
A1	46.31	60,486.5	40	17.5	1
A2	44	57,469.4	40	16.6	1
A3	43.47	56,777.1	40	16.4	1
Los Ocotes (II)	140.97	184,124.1	160	13.3	4
A1	42.67	55,732.2	40	16.1	1
A2	45.75	59,755.1	40	17.3	1
A3	22.58	29,492.2	40	8.5	1
A4	29.97	39,144.5	40	11.3	1
Los Ocotes (III)	141.3	184,555.1	160	13.4	4
A1	40.11	52,388.6	40	15.2	1
A2	32.11	41,939.6	40	12.1	1
A3	31.59	41,260.4	40	11.9	1
A4	37.49	48,966.5	40	14.2	1
Sauz de Méndez	84.5	110,367.3	80	16.0	2
A1	45.68	59,663.7	40	17.3	1

Cuadro 4.15 Superficie, volumen bruto, gasto y tiempo de riego por ejido y “Área”, (continuación).

Ejido y “Área”	Superficie	Volumen bruto	Gasto	Tiempo de riego	Riegos Simultáneos
	(ha)	(m ³)	(l/s)	(Días)	
A2	38.82	50,703.7	40	14.7	1
Zaragoza	121.48	158,667.8	120	15.3	3
A1	42.51	55,523.3	40	16.1	1
A2	45.21	59,049.8	40	17.1	1
A3	33.76	44,094.7	40	12.8	1
Santa Elena	161.36	210,755.9	160	15.2	4
A1	39.37	51,422.0	40	14.9	1
A2	38.37	50,115.9	40	14.5	1
A3	43	56,163.3	40	16.3	1
A4	40.61	53,041.6	40	15.3	1
Joya de Mulas-Lomita Aceves	91.52	119,536.3	120	11.5	3
A1	33.02	43,128.2	40	12.5	1
A2	29.52	38,556.7	40	11.2	1
A3	28.98	37,851.4	40	11.0	1

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

4.4.3 Regulación de la presión

• Regulación de la presión en las redes de tuberías

En algunas redes debido a los desniveles o pendientes muy fuertes se presentan altas cargas que dificultan la operación de los emisores, ya que la fuerza de la presión es tan alta que el chorro de salida es difícil de controlar y dirigir hacia la tubería de compuertas o bien a la regadera de la parcela, inclusive hasta puede colapsar el hidrante (presiones de hasta 5 kg/cm²).

La solución en estos casos no es fácil, sobre todo cuando se diseña la red con la carga hidráulica natural de un canal o de una presa,

en donde el desnivel se convierte en energía potencial (carga hidráulica) cuando la red está completamente llena sin operación o gasto nulo en los hidrantes.

Válvula reguladora de presión (VRP)

En primer lugar se optaría por una válvula reguladora de presión instalada a cierta cota topográfica y ubicada en paralelo a la mitad del tramo de la tubería, que permita disminuir o controlar la presión aguas abajo, con la finalidad de que al último hidrante no le llegue excesiva presión cuando esté operando sólo o con mínimos gastos en la red. En la figura 4.16 se muestra un ejemplo de la ubicación de una válvula reguladora de presión en la tubería de conducción.

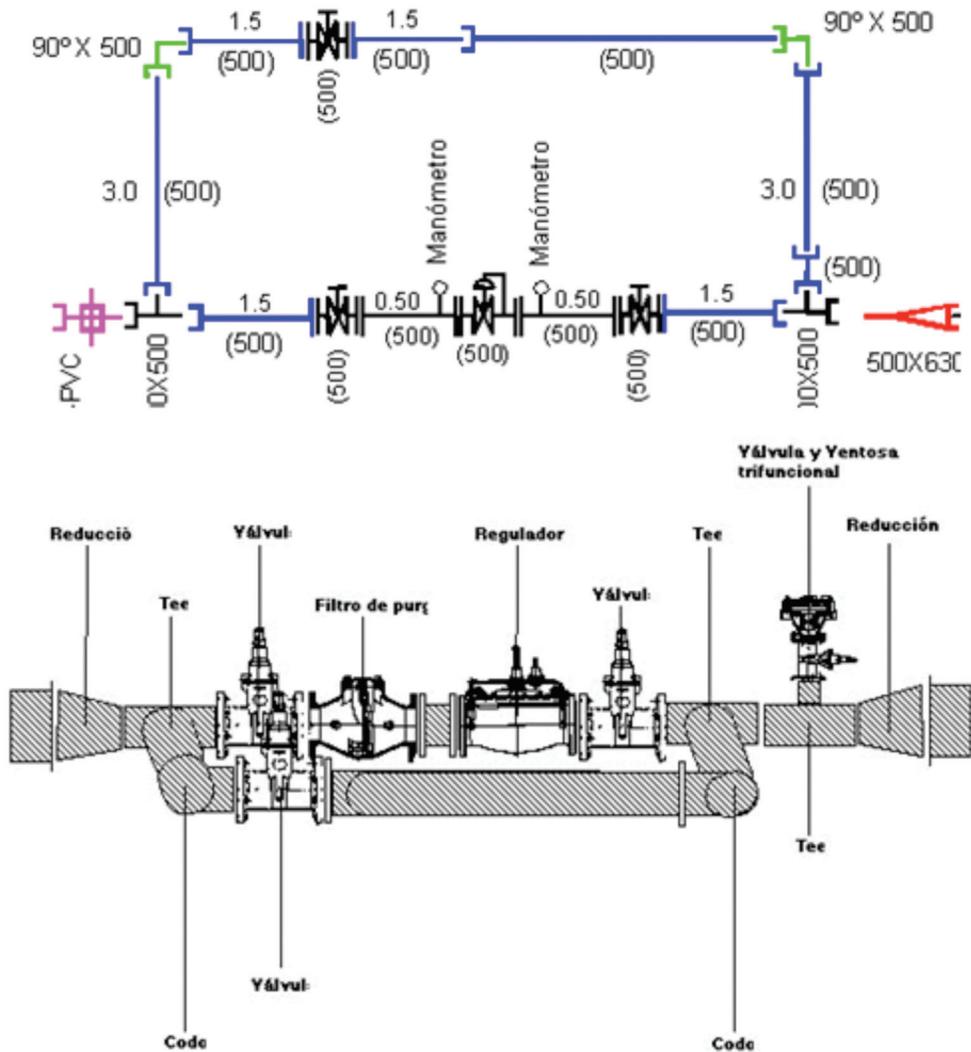


Figura 4.16 Instalación de válvulas reguladoras de presión (VRP)

El funcionamiento de la válvula permite, de acuerdo con su calibración, que a una diferencia de presiones máxima en el sistema, se inicia un proceso de regulación de la cámara de paso de la válvula, reduciendo la presión de entrada por pérdidas de carga provocadas por el cierre lento

de la cámara de paso, hasta que se equilibra con la fuerza provocada por el resorte en el piloto, de esta manera, la válvula reguladora no permite una presión mayor aguas abajo, rompiendo la línea piezométrica original de la línea y reduciendo por lo tanto la presión al final de los hidrantes (foto 4.4).



a) Componentes



b) Piloto

Foto 4.4 Válvula reguladora de presión (VRP)

Para optimizar el funcionamiento de la válvula con el piloto ya que no es posible eliminar más de $\frac{1}{3}$ de la presión de entrada (esto por problemas de cavitación en la tubería), la operación de la válvula sería entonces, sólo para gastos menores de diseño de aproximadamente 30 l/s (para gastos mayores las pérdidas de carga por fricción regulan el sistema) y se lograría cerrando la válvula de mariposa en paralelo.

Esto sin embargo, es difícil de lograr en sistemas de riego colectivos a demanda libre o no controlada, así como cuando se tienen gastos de operación variables y la demanda depende de diversos factores.

Cuando se deba dar mantenimiento a la válvula reguladora, y sea necesario seguir operando el sistema de riego, se desconecta del sistema cerrando ambas válvulas aguas abajo y aguas arriba de la válvula. En caso contrario, si se quiere operar la válvula reductora se cierran las dos válvulas de mariposa para eliminar la válvula reguladora del sistema de conducción.

Para poner en funcionamiento una válvula reguladora de presión con un piloto reductor, se recomienda por parte de los fabricantes, hacerlo contra la válvula que está aguas abajo de la reductora. Esto es cerrar completamente esta válvula y comenzar a abrir lentamente hasta que exista un pequeño flujo.

Para lo anterior, es necesario revisar que todas las válvulas pequeñas de aislación del circuito piloto estén abiertas. Dependiendo de la presión que alcance el manómetro (que deberá estar montado en la válvula), se deberá ajustar al valor requerido. Para dar más presión cierre el perno del piloto y para dar menor presión se requiere menos ajuste soltando el perno.

Es necesario que éste proceso de calibración de la válvula sea realizado por personal con experiencia, por lo que los operadores deben estar atentos a los procedimientos y las presiones de funcionamiento, ya que pueden existir problemas como los siguientes:

- **Presión baja en la válvula:** Puede faltar agua en la tubería y por lo mismo es necesario verificar si el sistema de conducción tiene agua o el gasto necesario. Una vez verificado lo anterior, es necesario medir la presión aguas arriba de la válvula y checar si la tubería de conducción tiene la presión esperada con la válvula aguas abajo de la estación cerrada. Posteriormente, se procede a abrir lentamente la válvula e ir midiendo la presión aguas arriba y aguas abajo.
- **Presión muy alta en la válvula:** Primero es necesario, comprobar que la válvula cierra, para esto se cierra la válvula de aislamiento del piloto que está aguas abajo del mismo, si la válvula cierra y la presión baja, implica que todo está técnicamente bien. Si no cierra probablemente hay una piedra obstaculizando el cierre, para lo cual deberá abrir la válvula y eliminar los obstáculos encontrados. Otro caso de presión alta en la válvula, es cuando se presenta excesiva presión en el sistema, de manera que no existe la posibilidad de regular toda la presión disponible, por lo que se puede presentar el riesgo de que la válvula empiece a trabajar fuera de su rango normal de regulación y comience a cavitarse. Para evitar lo anterior, es necesario al momento de la calibración del piloto, tomar en cuenta el intervalo o rango de presión a regular y evitar operar el cierre del piloto a una condición “forzada” de la válvula reguladora de presión. Esta condición se refiere a cuando se empiezan a escuchar ruidos extraños en la válvula y/o vibraciones.

La revisión del funcionamiento adecuado del piloto y su circuito hidráulico o su mantenimiento

preventivo del circuito piloto se debe realizar cada seis meses haciendo una revisión de rigor, comprobando que la presión aguas abajo corresponda a la proyectada. Luego se cierra lentamente la válvula de bola aguas abajo del pilotaje, si la válvula comienza a cerrar el sistema está funcionando sin problemas.

Una revisión anual del piloto en su totalidad es necesaria. Se desarma y se limpia, revisando especialmente los sellos, la membrana y el resorte. Se recomienda tener en almacén uno o dos pilotos de cada tipo para poder hacer un cambio rápido. La importancia de las válvulas reguladoras y sostenedoras de presión en una red presurizada es que permiten regular y controlar las presiones y gastos necesarios en los puntos de entrega dentro de los parámetros adecuados de funcionamiento.

Son todavía más importantes, cuando dentro de su funcionamiento y operación, es necesario sectorizar o dividir la red en varias unidades de riego que a su vez subdivide la operación en circuitos hidrométricos (figura 4.17).

En el ejemplo anterior, pudiera ser el caso de tener en operación dentro de un mismo sistema de riego, secciones de riego a baja presión con hidrantes parcelarios con cargas de operación menores de 3 mca (0.3 kg/cm^2) y en todo caso una VRP sería necesaria para su regulación. De igual forma, si se tuviera una unidad de riego con sistemas de riego por goteo con cargas de operación cercanas a 15 mca (1.5 kg/cm^2), otra VRP se encargaría de separar al interior de la red.

Un problema para el operador sería tener el caso de un sistema mixto, en donde en la misma sección se tuvieran sistemas de riego por goteo y sistemas de

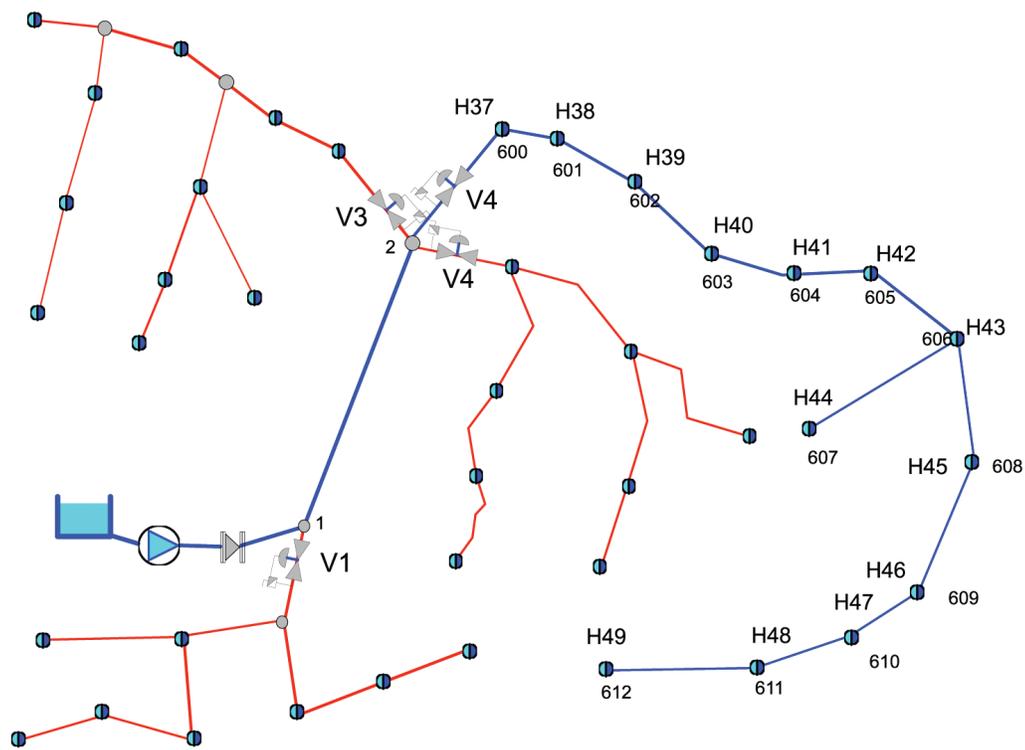


Figura 4.17 Ubicación de las válvulas reguladoras de presión en sitios estratégicos de la red

baja presión operando simultáneamente. En este caso, suponiendo que en la red exista la presión suficiente para un sistema de riego por goteo, el operador deberá recomendar al usuario de baja presión, utilizar algún dispositivo regulador de presión en el hidrante, regular con la válvula del hidrante o bien en un caso extremo, una VRP en el hidrante, lo cual puede resultar muy costoso.

Tanque de regulación o disipador de energía

Otra solución para la regulación de la presión en las redes de riego con desniveles o pendientes muy fuertes, es utilizar un tanque de regulación o disipador de energía, de manera que su funcionamiento se basa en el rompimiento de la

línea de energía del sistema de conducción al funcionar como un almacenamiento regulador del nivel operación (figura 4.18).

El nivel de operación de la caja, se convierte en la carga hidráulica de referencia del sistema hacia aguas abajo con lo que se podría operar diferentes sistemas de riego.

Es muy común dentro de la operación de las cajas reguladoras, que dentro de su diseño contenga una válvula de control con flotador y que su funcionamiento dependa del nivel de operación dentro de la caja, de manera que a un cierto nivel máximo, generalmente de llenado, se cierre y no permita el paso de agua y en caso contrario,

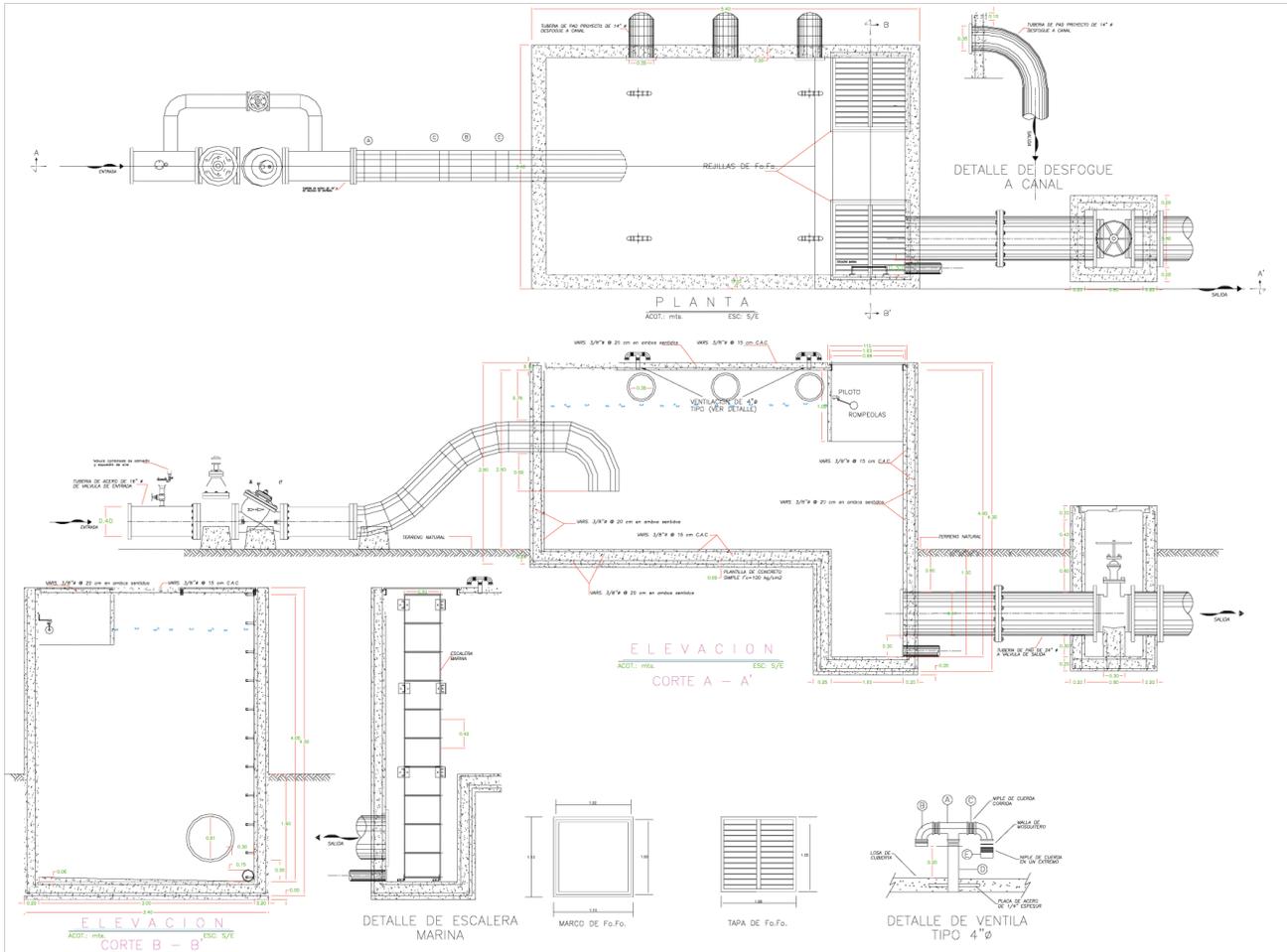


Figura 4.18 Caja rompedora de presión

se abra totalmente y empiece a llenar al tanque, regulando la presión aguas arriba de la válvula en funcionamiento.

• **Regulación de la presión y el gasto en el hidrante**

Entre las opciones de mejoramiento de la conducción y aplicación del agua a los cultivos, se han utilizado sistemas de riego de tuberías con multicompuertas con aprovechamiento de bombeo o el desnivel del agua.

El gasto modular para riego parcelario varía de 20 a 80 l/s dependiendo de la ubicación topográfica e hidráulica del hidrante en la red de distribución; puede tener mayor o menor presión de operación que genera variación en la capacidad de descarga de la válvula, el cual es un mecanismo que trabaja en forma de orificio a descarga libre.

El caudal proporcionado, está en relación directa con el área del orificio y la energía total existente en el sistema de alimentación sobre la válvula o hidrante; un incremento en la energía total del flujo le corresponde un incremento en el gasto del orificio. En la práctica, este problema origina la



Foto 4.5 Hidrantes con problemas de exceso de presión en su operación

mala distribución del agua entre los usuarios, sí no se respeta el gasto modular por usuario (foto 4.5).

En los sistemas de riego colectivos a baja presión, se presentan problemas de este tipo, cuando se tienen desniveles importantes o condiciones topográficas accidentadas, provocando que el

mecanismo de descarga no tenga la capacidad para controlar y regular el gasto requerido debido a la dificultad de enfrentarse a reducciones poco factibles del área de paso del orificio (figura 4.19).

La solución inmediata, consiste en implementar algún regulador de presión existente en el mercado,

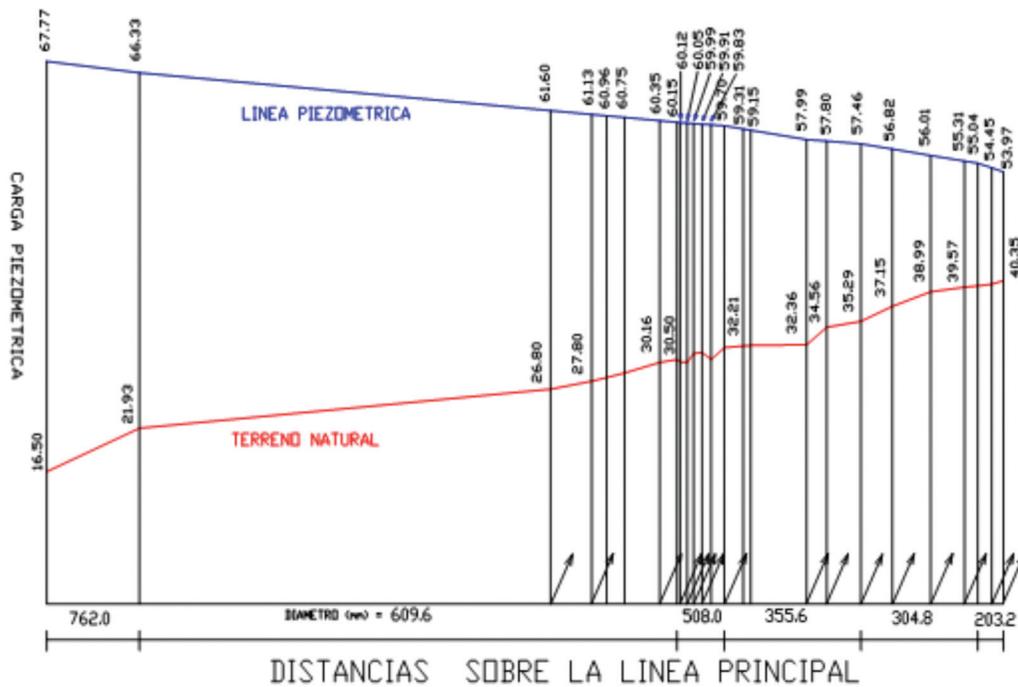


Foto 4.19 Carga piezométrica sobre los hidrantes de una conducción entubada.

que elimine los excedentes de presión, obstruyendo el área de paso, mediante un sistema móvil o de resorte, disminuyendo así, cierto porcentaje de la carga piezométrica de la energía total del sistema, sin embargo, el costo de un regulador de presión provoca incrementar notablemente el costo total del proyecto.

En la mayoría de los proyectos, al operar la red, el problema de variación de la presión en la red colectiva genera variación en la capacidad de descarga de la válvula originando la mala distribución del agua entre los usuarios.

Existe un dispositivo desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua que ha dado buenos resultados en la regulación de la presión de los hidrantes (foto 4.6).

El prototipo comercial se construyó en material compuesto de una aleación de aluminio y fierro fundido, en diámetros de 6" 8" y 10" de acuerdo con el gasto modular que se utilice en el hidrante.

Consta de 2 conexiones roscadas adaptables al hidrante o válvula alfalfera y a un adaptador roscado que se instala en la te elevador donde se instala el hidrante (foto 4.7).

Para una regulación más efectiva del gasto, es necesario una presión de 1 kg/cm² (10 mca) antes de la válvula, lo cual convierte al dispositivo en



Foto 4.6 Dispositivo regulador de presión para hidrante



a) Codo de arranque, regulador de presión y válvula alfalfera



a) Codo de arranque, regulador de presión y válvula alfalfera

Foto 4.7 Componentes del regulador de presión

un limitador de caudal hasta un máximo de 40 l/s para el diámetro de 6", hasta un gasto de 50 l/s para el diámetro de 8" y de 75 l/s para el diámetro de 10" (figura 4.20).

4.4.4 Problemas especiales en la operación de redes entubadas

• Aire atrapado

Una tubería nunca está vacía, o bien circula en su interior agua llenando completamente el conducto o está llena de aire. El agua como fluido no compresible comparte con el aire el volumen del tubo mezclándose ambos y circulando en el tubo con o sin la velocidad del agua. Algunas veces están separados y bien definidos compartiendo el volumen del conducto. El aire se puede introducir en una red tuberías de las siguientes maneras:

- A partir de fuentes abiertas o superficie libre del agua en contacto con la atmósfera.
- Al desprendimiento de gases disueltos en el agua al cambiar la sección de la tubería, a la temperatura del agua y a la dirección del flujo.
- Formación de gases por descomposición de la materia orgánica dentro de las conducciones de aguas sucias.
- Durante el llenado a través de las válvulas de admisión de aire.
- Penetración de aire controlado para prevenir presiones negativas.
- Obstrucción o reducción del flujo en las líneas (hasta un 10%).
- Incremento de las pérdidas de carga localizadas.
- Daños por golpes de agua o transitorios hidráulicos.
- Lecturas inapropiadas de los dispositivos de control y medición.
- Inadecuada entrega del gasto.

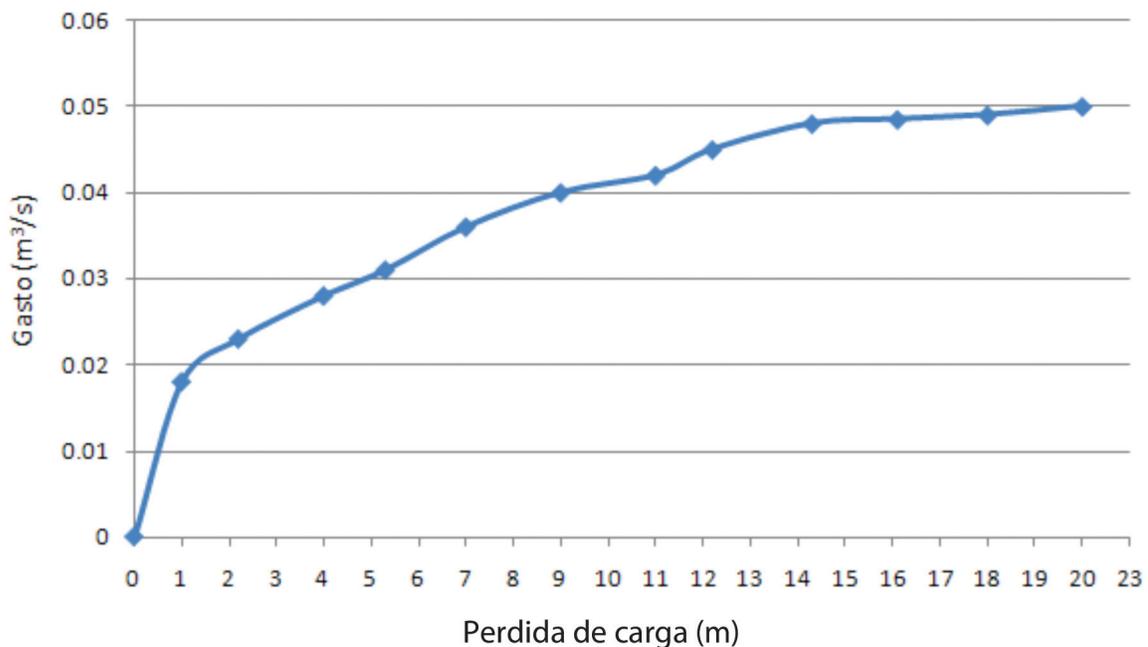


Figura 4.20 Curva carga –gasto del regulador de presión para 8" de diámetro

- Corrosión y cavitación.
- Probabilidad de daños físicos a bombas, equipos de filtrado y operadores.
- Si la red de tuberías carece de un sistema de válvulas de aire, las bolsas de aire se evacúan a través de un hidrante, lo que permitirá el rápido llenado de agua en la tubería, pero también su posible daño (figura 4.21).

Sin embargo, también existen riesgos y desventajas de la ausencia de aire en las tuberías como:

- Succión de lodo y basuras a través de los emisores.
- Succión descontrolada en la inyección de fertilizantes dentro del sistema de riego.
- Colapso de tuberías y dispositivos por presiones negativas o por abajo de la presión atmosférica.

La presencia de aire en las tuberías (figura 4.22) puede ser en:

- En pequeñas cantidades de burbujas que se transportan conjuntamente con el flujo de agua en la tubería (figura 4.22).

- Cantidades moderadas o burbujas equivalentes a una fracción del diámetro de la tubería.
- Grandes cantidades de aire o burbujas que pueden ser tan grandes como el diámetro de la tubería y formar un gran tapón en el conducto.

Cuando se tiene una línea nueva el aire es atrapado durante el llenado en puntos altos; en líneas funcionando regularmente, el aire disuelto en el agua se libera al haber cambios de presiones debidos a cambios en la velocidad del flujo.

El aire atrapado siempre tiende equilibrarse con las presiones mínimas, o bien, los puntos más altos en las tuberías (figura 4.23). Los factores que influyen en el movimiento del flujo de aire en la tubería son: el grado de inclinación o la pendiente del conducto positiva o negativa, la velocidad del agua y el grado de rugosidad interior de la tubería, mismos que permiten el movimiento de las burbujas de aire.

Dos de los fenómenos menos considerados en el diseño de sistemas de conducción y distribución

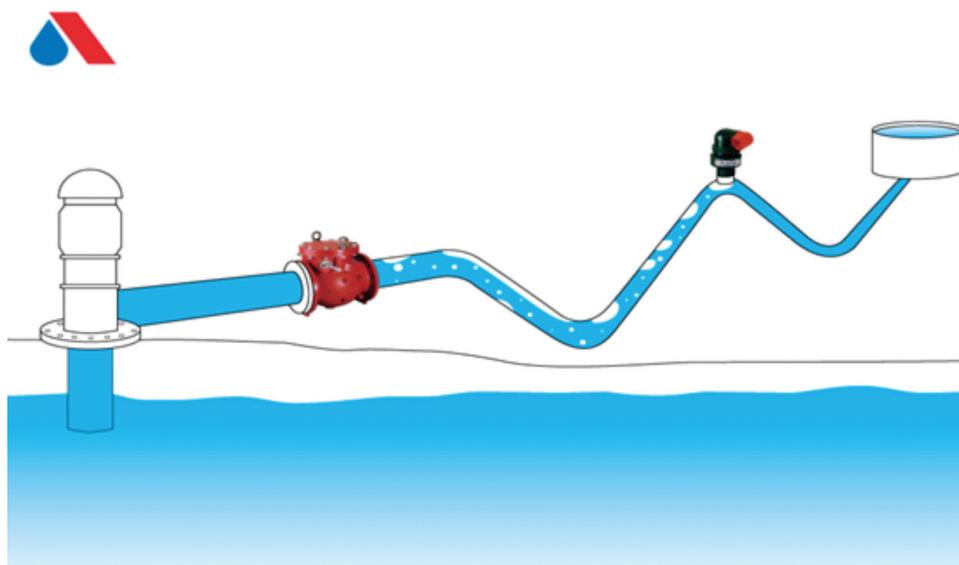


Figura 4.21 Ubicación de válvulas de alivio en la red de tuberías

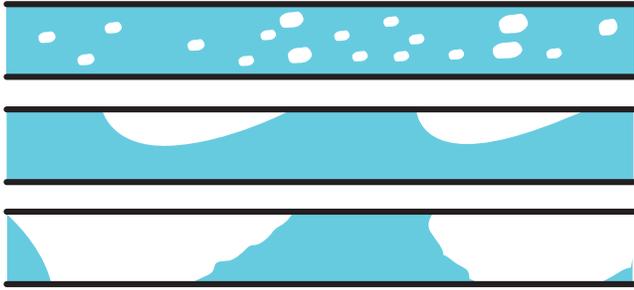


Figura 4.22 Formas de presentarse aire en las tuberías

de agua es el aire atrapado dentro de la tubería y el vacío. Muchos problemas de mal funcionamiento de las líneas se deben a estas causas. Las líneas deben ser bien ventiladas para que su funcionamiento sea óptimo.

Cuando una línea de conducción es vaciada accidentalmente por una fuga o para realizar algún mantenimiento, se requiere el ingreso de aire a la tubería con el objeto de evitar el vacío y por consecuencia el colapso o aplastamiento del tubo.

En el diseño de sistemas de conducción de agua, siempre será necesario considerar la instalación

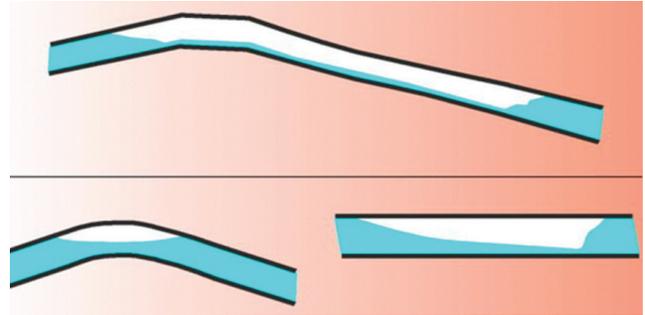
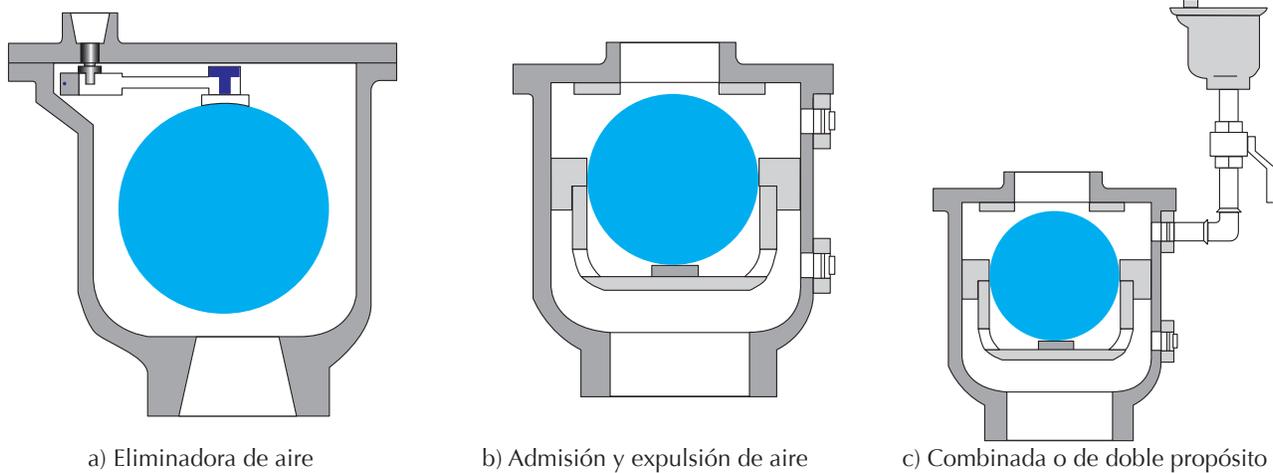


Figura 4.23 Ubicación del aire atrapado en las tuberías

de accesorios para el control del aire dentro de las tuberías. Como se indica en el inciso 2.2.2, existen diferentes tipos de válvulas y estructuras que permiten la eliminación y la admisión de aire a las tuberías. La siguiente clasificación se basa principalmente en el funcionamiento de las válvulas:

- (I).- Válvulas eliminadoras de aire o automáticas: Funcionan en los sistemas presurizados expulsando el aire que se libera del agua al haber cambios de presión en la tubería por cambios topográficos (figura 4.24a).
- (II).- Válvula de admisión y expulsión de aire: Las cuales funcionan para evacuar el aire durante el



a) Eliminadora de aire

b) Admisión y expulsión de aire

c) Combinada o de doble propósito

Figura 4.24 Clasificación de válvulas eliminadoras de aire

llenado de las tuberías y para admitir aire en el vaciado, sea accidental o intencionado (figura 4.24b).

(III).- Válvulas combinadas o de doble propósito: Las cuales combinan el funcionamiento de los dos tipos anteriores, por un lado admiten y expulsan aire, en el llenado y vaciado de la tubería y por otro evacúan el aire que se libera del agua (figura 4.24c).

Algunos puntos recomendables para instalar estas válvulas (figura 4.25), son los siguientes:

- Puntos donde la tubería salga del suelo, por ejemplo en la instalación de válvulas de control. Si después de la válvula la tubería asciende, instalar una eliminadora de aire (I), si desciende y hay peligro de vaciado rápido, una válvula combinada (III).
- En tuberías con pendiente uniforme se recomiendan entre 400 y 800 m.

- En los equipos de bombeo, antes de la válvula de retención (check) se recomienda una válvula de admisión y expulsión de aire (II)
- Se debe instalar una válvula combinada (III) antes de los medidores (10 diámetros de separación) para evitar error en las mediciones y daños al equipo.
- En el cruce de carreteras, después del cruce una válvula combinada (III).

Por ejemplo, cuando se tenga un cambio de pendiente en la línea, en un punto donde la presión es menor que la línea piezométrica de diseño (zona en donde la presión relativa sea negativa), como el que se indica en la figura 4.26 con la letra "C", no se debe colocar una válvula de admisión y expulsión, debido a que permitiría la entrada de aire al interior de la conducción. Es decir, la válvula exclusivamente debe tener función de purgador (eliminación del aire durante el proceso de llenado).

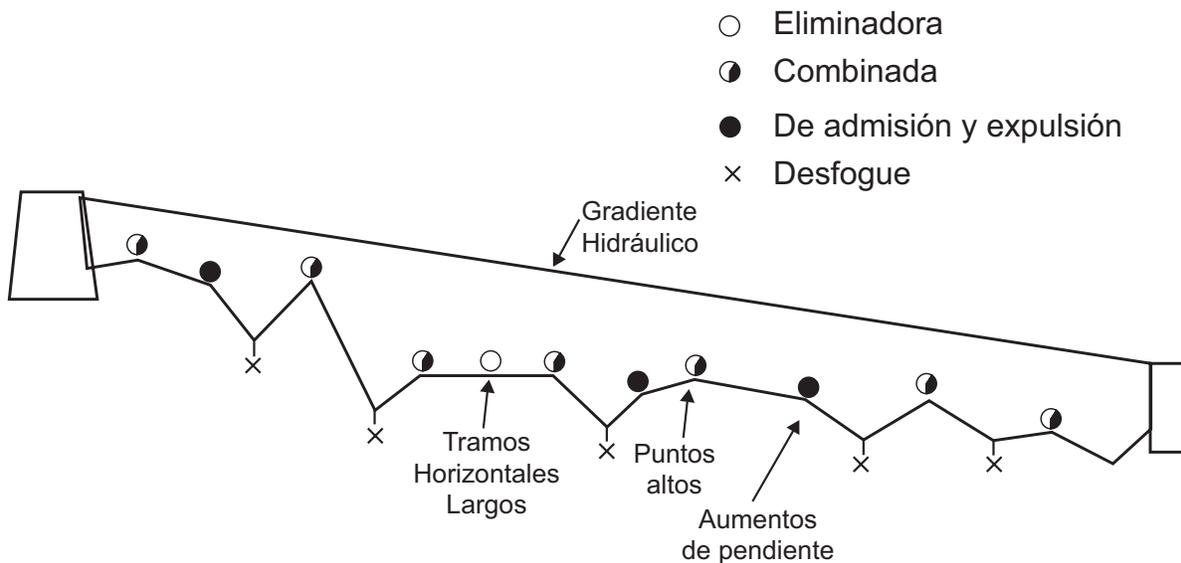


Figura 4.25 Localización de las válvulas de eliminación de aire

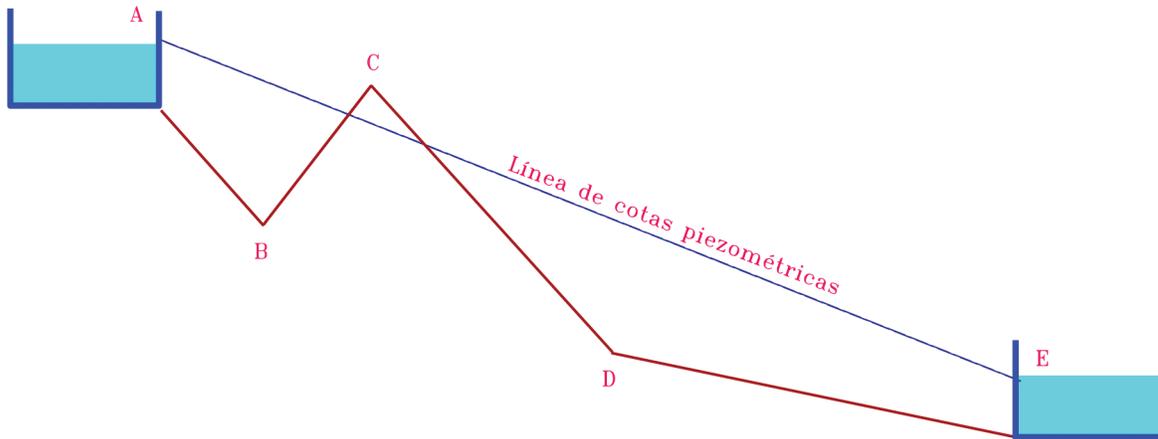


Figura 4.26 Conducción de una tubería con un tramo por arriba de la línea de cotas piezométrica de diseño en baja de presión

• Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico en forma de sobrepresión que se presenta en las líneas de tuberías cuando se tiene un paro brusco del fluido contenido en la tubería, provocado por un cierre brusco de válvulas de control o reguladoras de presión, un paro de equipos de bombeo o cualquier cambio de velocidad en el flujo.

La energía cinética que contiene el fluido debido a la velocidad de conducción, se transforma en energía potencial, que a su vez, dará origen a un incremento de la carga piezométrica original, llevándose a cabo un trabajo elástico de deformación en las paredes del conducto y el agua. En el diseño de líneas de conducción de agua es muy importante considerar el golpe de ariete con el fin de evitar colapsos en la tubería que podrían provocar daños personales, daños a las instalaciones hidráulicas y por lo mismo pérdidas económicas en las inversiones.

Un sistema hidráulico puede diseñarse con un factor de seguridad muy grande para soportar las cargas máximas y mínimas debidas al golpe de ariete. Sin embargo, para un diseño óptimo de un sistema deberá tomarse en cuenta la instalación de uno o varios dispositivos de alivio.

4.5 Medición del agua

En el mercado existe una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación como de principios de funcionamiento (ver inciso 2.2.4). Para medir el agua en tuberías se pueden usar los métodos siguientes:

- Dispositivos con sensor de velocidad.
- Aforo a la descarga de tuberías con compuertas.
- Válvulas y dispositivos calibrados.

4.5.1 Dispositivos con sensor de velocidad

Los dispositivos de medición tienen sensores de velocidad para detectar la velocidad del agua en

el flujo y toman en cuenta el área para indicar el gasto o caudal que pasa en la sección que tiene instalado el medidor y pueden ser sensores de propela, de turbina y de señal acústica, además existen otros tipos como son los térmicos y electromagnéticos (foto 4.8).



Foto 4.8 Medidor de propela con contador volumétrico

4.5.2 Aforo en tuberías con multicompuertas

El gasto en cada compuerta se puede conocer a partir del gasto total en el hidrante (que se supone es conocido) o se puede medir, dividido entre el número de compuertas abiertas; o bien, aforar las compuertas por alguno de los métodos que se describen a continuación.

- **Aforo volumétrico**

Consiste en tomar un recipiente o una bolsa de plástico y después se acerca a la compuerta para captar el volumen de agua; midiendo la duración de la entrada del agua al recipiente.

Para obtener el gasto de la compuerta, dividir el volumen (litros) de agua captada dentro del recipiente por el tiempo (segundos) medido; el gasto se obtiene en litros por segundo (figura 4.27).

El gasto obtenido se multiplica por el número de compuertas en operación y se obtiene el gasto total.

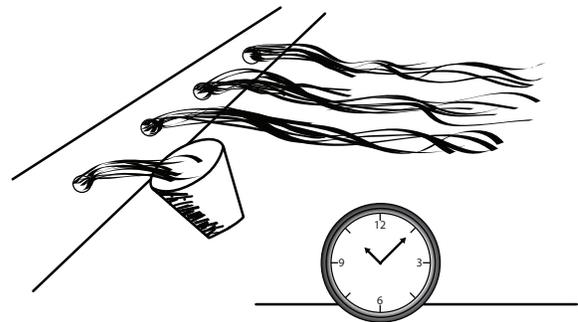


Figura 4.27 Aforo volumétrico

Es recomendable que para garantizar un valor preciso del gasto se deben realizar varias mediciones a diferentes compuertas y finalmente promediar el valor. En el cuadro 4.16 se presenta un formato de captura para el aforo volumétrico de la tubería con multicompuertas.

Cuadro 4.16 Formato para el aforo volumétrico de la tubería multicompuertas

No. de aforo	Volumen del recipiente (l)	Tiempo de llenado (s)	Gasto por compuerta (l/s)
1			
2			
3			
:			
n-1			
N			

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

- **Aforo con carga hidráulica y abertura**

El segundo método para determinar el gasto de la compuerta, consiste en medir la carga hidráulica de operación sobre la misma. Para determinar esta carga se introduce un piezómetro en el orificio de la compuerta y se registra el nivel que sube el agua

dentro de éste, midiendo a partir del centro de la compuerta.



Foto 4.9 Aforo carga-abertura

Es importante que el extremo del piezómetro que se introduce en la tubería quede en dirección hacia aguas abajo del flujo. La lectura se toma con la ayuda de un flexómetro o una regla graduada (foto 4.9).

Con la carga hidráulica (h) medida y el grado de abertura de operación de las compuertas y auxiliándose en el cuadro 4.17, se obtiene el gasto en l/s de cada compuerta.

El grado de abertura y por lo tanto de operación de las compuertas puede variar desde 1/16 a completamente abierta, sin embargo, en la práctica generalmente se utilizan las aberturas de 1/2 y completamente abierta.

• Dispositivos calibrados

Existen dispositivos que se utilizan en los hidrantes para la medición del gasto, los cuales fueron calibrados en laboratorio (foto 4.10).

En el cuadro 4.18 se muestran las ecuaciones de calibración para diferentes aberturas de dicho dispositivo para un hidrante de 8" (200 mm), operando sin regulador de presión.



Foto 4.10 Dispositivo de aforo en hidrante

Cuadro 4.18 Ecuaciones de calibración del dispositivo de aforo para un hidrante de 8"

Abertura de válvula (cm)	Ecuación de gasto (Q)*
5.15	$Q=0.04316 H^{0.50077}$
3.45	$Q=0.03956 H^{0.45618}$
2.14	$Q=0.02761 H^{0.50647}$
1.28	$Q=0.01905 H^{0.51391}$
0.85	$Q=0.02094 H^{0.36206}$
0.43	$Q=0.01619 H^{0.40660}$

* Donde: Q = gasto en m³/s y H = carga de operación en mca

Fuente: Autor Mario Montiel Gutiérrez

4.6 Seguimiento y evaluación de la operación

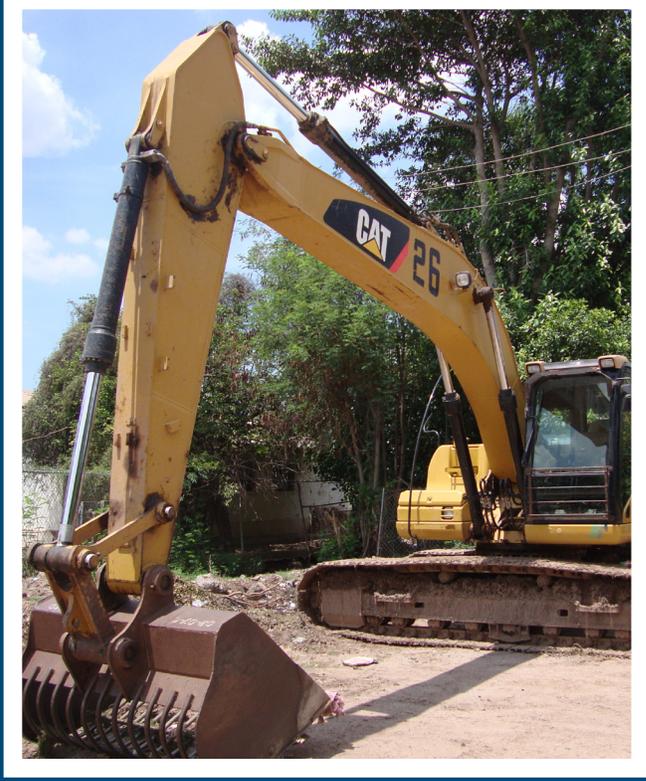
El operador deberá registrar en los formatos de control correspondientes, el gasto instalado en la fuente de abastecimiento, la hora en que fueron realizados los movimientos y demás información que considere pertinente.

4.7 Perfil del personal de operación

Para estar en condiciones de atender eficientemente todos los aspectos arriba descritos, se considera que el encargado de esta área sea un ingeniero agrónomo especialista en irrigación con experiencia en el

La evaluación de las condiciones de las tuberías de un sistema de distribución de agua debe considerar cuatro elementos:

- a. Integridad estructural.
- b. Calidad del agua.
- c. Condiciones hidráulicas.
- d. Fugas.



5

Planeación del mantenimiento de una red entubada

M.C. Ramón J. Lomelí Villanueva

Ing. Francisco Zaldívar Váldez

Ing. Nazario Álvarez González

5.1 Generalidades

5.1.1 Deterioro de tuberías

La evaluación de las condiciones de las tuberías de un sistema de distribución de agua debe considerar cuatro elementos:

- a. Integridad estructural.
- b. Calidad del agua.
- c. Condiciones hidráulicas.
- d. Fugas.

La integridad estructural de una tubería de agua es el factor involucrado en la evaluación de su frecuencia de ruptura y depende de la resistencia del material usado en la manufactura del tubo, sus dimensiones, y el espesor efectivo de sus paredes. La ruptura de un tubo ocurre cuando su integridad estructural no tiene la fuerza suficiente para soportar las fuerzas internas y externas a las que está sometido.

Los parámetros de la calidad del agua proporcionan alguna indicación de la corrosión en las paredes

internas de la tubería ya que puede afectarla negativamente debido a los efectos que ocasiona la introducción de productos físico-químicos en el sistema.

Una evaluación de las condiciones hidráulicas en la distribución puede ayudar a revelar la dimensión de los principales deterioros de la tubería en cada zona. Por ejemplo, una reducción en la capacidad de conducción de un tubo puede ser el resultado de un aumento de la rugosidad en sus paredes internas.

Los incidentes de fuga pueden acelerar el rango de falla de una tubería de agua, debilitar el suelo de soporte del tubo, colocándolo de ese modo en condiciones de balanceo. Las fugas pueden también acelerar los rangos de corrosión externa, incrementando el contenido de humedad de ciertos tipos del suelo.

Es difícil determinar con exactitud cuáles son las causas que originan las fallas de una tubería de

agua debido a la compleja interrelación de varios factores involucrados en el proceso de deterioro. Las condiciones de un sistema de distribución de agua pueden variar ampliamente por la clase del tubo o región geográfica. Aún las condiciones de un segmento de tubo individual pueden variar debido al tipo de corrosión localizado, el tipo de suelo de soporte ó problemas de fundición del tubo. En la figura 5.1 se muestra el modelo conceptual de las fuerzas que actúan en una tubería.

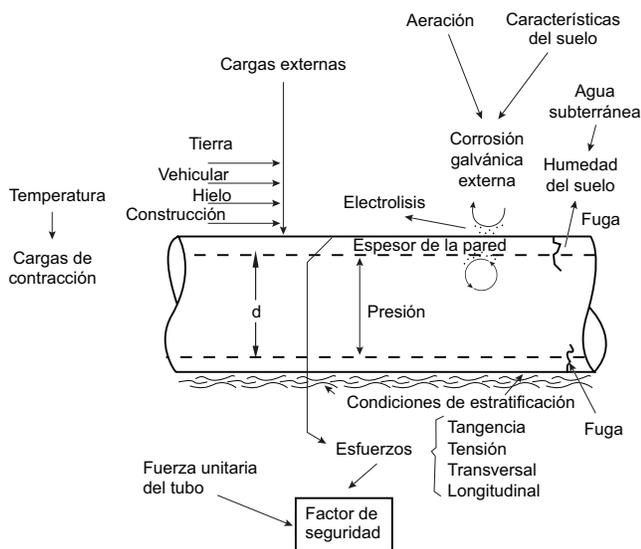


Figura 5.1 Modelo conceptual de las condiciones estructurales de una tubería de agua

Las prácticas de construcción de tuberías para la conducción de agua incluyen bastantes requerimientos importantes para su adecuada seguridad, siendo las principales:

- a.- La tubería debe ser adecuadamente instalada a lo largo de su longitud para prevenir que actúe como una viga.
- b.- El suelo bajo la tubería debe estar bien apisonado para asegurar un completo soporte.
- c.- La arena u otros materiales de calidad, deben ser usados como relleno alrededor de la tubería para garantizar unas buenas condiciones de drenaje, y de ese modo, prevenir el desgaste de la tubería y/o el incremento de los rangos de corrosión externa.

5.1.2 Fuerzas y esfuerzos que actúan en la tubería

Es importante determinar las fuerzas que actúan en las tuberías de agua ya que son útiles para describir sus efectos, en términos de esfuerzos, que ocurren a lo largo de la longitud de la tubería (eje longitudinal) y alrededor de su circunferencia (eje transversal). Las fuerzas y esfuerzos de resistencia,

Cuadro 5.1 Causas estructurales de la ruptura de tuberías

Tipo de ruptura	Esquema de la ruptura	Esfuerzos en los ejes que se presentan	Causas estructurales de la ruptura
Circunferencial		Longitudinal	- Contracción térmica. - Fallas de apoyo. - Presión interna.
Longitudinal		Transversal	- Cargas circundantes excesivas. - Presión interna.
Campana cuarteada		Transversal	- Junta de expansión rígida.

Fuente: Balcázar, S. V. y Castro, V. M. C. (1994).

actúan sobre una tubería como resultado de varias combinaciones de los mismos.

Los tipos de falla que se presentan en una tubería debido a los esfuerzos excesivos longitudinales o transversales, dependen principalmente del tipo de material de la misma. Los principales tipos de ruptura y sus causas estructurales asociadas se presentan en el cuadro 5.1.

En resumen las fuerzas o esfuerzos que se presentan en las tuberías son:

- a) Esfuerzos longitudinales: Pueden ser causados porque están actuando como vigas por la contracción térmica y efectos de presión longitudinal. En este rubro se consideran:
 - Esfuerzos de contracción térmica.
 - Esfuerzos de flexión.
 - Esfuerzos de presión longitudinal
 - Esfuerzos longitudinales combinados).
- b) Esfuerzos transversales: Son causados por esfuerzos tangenciales de presión interna, esfuerzos circulares de cargas externas e inserción de las uniones de expansión. En este rubro se consideran:
 - Esfuerzos tangenciales.
 - Esfuerzos circulares.
- c) Cargas externas: Son causadas por el peso de la tierra de relleno en la zanja sobre la tubería (carga de la tierra) y las cargas instantáneas de vehículos que pasa sobre la tubería (supercargas vehiculares).
 - Cargas de la tierra.
 - Supercargas vehiculares.
 - Fugas y estratificación de las tuberías.

5.1.3 Corrosión en tuberías de metal

La corrosión es la causa principal del deterioro estructural de una tubería de metal. Este fenómeno es una reacción electroquímica entre el metal del

tubo y su medio ambiente, en la cual la tubería pierde su componente ferroso, dejando atrás grafito.

La corrosión se puede clasificar según la forma de ataque como se muestra en el cuadro 5.2 y según el medio corrosivo el cual puede ser galvánico o electrolítico.

El flujo de agua a través de una tubería puede contar con factores que estimulan e inhiben la corrosión. Algunos de los factores más importantes son: pH,, oxígeno disuelto, capacidad amortiguadora, total de sólidos disueltos, sílice, calcio, fosfatos, temperatura, rangos de flujo, cloro, dureza, hierro, sulfato, etc.

5.2 Mantenimiento de tuberías y sus dispositivos

El logro de los objetivos y metas que se establecen para cada ciclo agrícola en los sistemas de riego, requiere de la correcta ejecución de los programas y acciones de conservación y mantenimiento que corresponden a todas las actividades enfocadas a sostener en condiciones óptimas de funcionamiento la infraestructura, equipos e instalaciones para proporcionar el servicio de riego con oportunidad y suficiencia con la finalidad de mejorar la producción y la productividad.

Por tal motivo, es imprescindible que el programa de conservación se analice técnica y racionalmente con base en las necesidades reales de conservación y, principalmente que cumplan con el objetivo para el que se construyeron las obras.

Cuadro 5.2 Tipos de corrosión

Tipo	Localización	Descripción
Tuberculación	Interior	El desarrollo de una capa de incrustaciones (tubérculos) da como resultado la obstrucción en el interior de la tubería, por lo que se reduce la capacidad de conducción.
Erosión	Interior	La adherencia mínima de productos corrosivos a las paredes del tubo da como resultado la formación y destrucción repetitiva de capas superficiales. La pared del tubo corroída está continuamente expuesta a futuros ataques.
Hendidura	Interior	La naturaleza del área superficial involucrada restringe la difusión. Esta forma de corrosión ocurre principalmente en las uniones, superficies inferiores de material particulado o imperfecciones en el revestimiento de cemento debidas a la exclusión de O ₂ o acumulación de iones metal dentro de un depósito.
Picaduras	Interior/Exterior	Los ataques corrosivos localizados dan como resultado la penetración del metal en sitios llamados "fosos". Ocurre principalmente en puntos donde la tubería está en contacto con cavidades de tierra corrosiva.
Grafitización	Interior/Exterior	La disolución de hierro de la estructura metálica da como resultado un espesor efectivo reducido de las paredes de la tubería, dado que la permanencia de grafito no proporciona integridad estructural.

Fuente: Balcázar, S. V. y Castro, V. M. C. (1994).

A efecto de cumplir con lo anterior, es necesario que en los sistemas de riego se cuente con metodologías que permitan la planeación, programación y control de la ejecución de los trabajos de conservación, así como obtener datos precisos y elementos que apoyen los programas. Las obras de un sistema de riego se proyectan y construyen para que tengan una vida útil de más de cincuenta años, durante la cual deberán conservarse, aunque esto implique con el tiempo el cambio del proyecto original.

5.2.1 Conceptos de trabajo

Debido a que en el caso de las redes entubadas se tiene una gama muy amplia de materiales,

diámetros, piezas especiales y estructuras, resultaría un catálogo de conceptos de trabajo extenso; en el cuadro 5.3 se presenta un ejemplo de los principales conceptos de trabajo que servirán de base para elaborar un catálogo acorde con las necesidades de cada zona de riego.

Para cada uno de los conceptos de trabajo, deberá elaborarse la especificación que contenga toda la información relativa a su definición y los requisitos pormenorizados para su aplicación y su pago. Por ejemplo para el concepto de trabajo:

“Reposición de tramo de tubería de --- mm de diámetro, clase -----incluye excavación y relleno

de cepa a mano, sustitución y prueba de tubería ----- material. Por metro lineal colocado.”

La especificación debe ser la siguiente:

Definición.- Se entenderá por reposición de tubería, de --- clase ----, de ----- mm de diámetro, al conjunto de trabajos y operaciones que tendrá que efectuar el contratista para reponer la tubería en forma definitiva según el proyecto y/o las órdenes del ingeniero.

Requisitos de ejecución.- Por el precio unitario de este concepto, el contratista deberá ejecutar las operaciones siguientes:

1. Abrir una zanja o cepa.
2. Cortar y extraer la tubería dañada.
3. Adquirir y acarrear hasta el lugar los tramos de tubería que sustituirán la tubería dañada, de acuerdo con las especificaciones correspondientes.
4. La tubería se colocará exactamente a líneas de proyecto, dentro de la zanja o cepa excavada.
5. La excavación de la zanja o cepa que se realicen, el afine del fondo deberá proporcionar un apoyo directo en toda la longitud de la tubería.
6. El afine se hará con la menor anticipación posible a la colocación de la tubería.
7. Cuando a juicio del residente, el terreno del fondo de la zanja o cepa sea poco resistente o inestable, podrá ordenar que se profundice la excavación hasta encontrar el terreno

Cuadro 5.3. Resumen de conceptos de trabajo en redes entubadas

Concepto de trabajo	Unidad
Tuberías	
Extracción de azolve “A Mano” de tubería de xxx mm de diámetro de ----- material.	m ³
Extracción de azolve con equipo mecánico de tubería de xxx mm de diámetro de ----- material.	m ³
Reposición de tramo de tubería de --- mm de diámetro, incluye excavación y relleno de cepa a mano, sustitución y prueba de tubería ----- material.	m
Extracción de tapón “A Mano” de tubería de xxx mm de diámetro de ----- material.	lote
Extracción de tapón “Con equipo” de tubería de xxx mm de diámetro de ----- material.	lote
Aplicación de pintura anticorrosiva a base de resinas epóxicas en tubería metálica.	m ²
Estructuras y dispositivos	
Extracción de azolve “A Mano” de estructura.	m ³
Extracción de maleza “A Mano” de estructura.	m ²
Aplicación de pintura anticorrosiva a base de resinas epóxicas en estructura metálica.	m ²
Suministro, corte, doblado y colocación de fierro de refuerzo, para estructuras.	kg
Suministro y colocación de válvula ----- de ---- mm de diámetro de --- material.	pza
Fabricación y colocación de concreto para construcción de estructura incluye suministro de arena, grava y agua.	m ³
Mantenimiento de medidor de --- mm de diámetro.	pza
Mantenimiento de estructura de tubería de --- mm de diámetro.	pza
Suministro, fabricación, colocación y remoción de formas de madera para concreto.	m ²

Fuente:

adecuado, el material no aprovechable se removerá y se reemplazara con material aprovechable para relleno, compactado con pisón de mano en capas de 15.0 (quince) centímetros de espesor máximo con la humedad optima necesaria.

8. El producto de la excavación de las zanjas o cepas, se depositara en una sola margen de la excavación; con objeto de dejar la margen contraria para maniobras de descarga e instalación, de este material se seleccionara el más adecuado, de grano fino, para emplearlo en el relleno inicial que quedará en contacto con la superficie del tubo y deberá compactarse con pisón de mano. De ser necesario se deberá acarrear material para relleno de un banco cercano.
9. La colocación de la tubería se hará de tal manera que en ningún caso se tenga una desviación de 5 (cinco) milímetros en la alineación o nivel de proyecto. Durante la colocación de la tubería, se mantendrá totalmente limpio su interior, de cualquier material extraño y el residente por ningún motivo permitirá trabajo alguno mientras haya agua en la excavación.
10. Cada tramo deberá tener un apoyo completo y firme en toda su longitud, para lo cual se colocará de modo que el cuadrante interior de su circunferencia descanse en toda la superficie sobre la plantilla de la zanja o cepa. No se permitirá colocar los tubos sobre piedras, calzas de madera o soportes de cualquier otra índole.
11. Pruebas de juntas a presión hidrostática.- Terminado el junteo de la tubería, este se anclara provisionalmente en la forma indicada anteriormente, de ser el caso transcurridos

7 (siete) días de haberse colocado el último ataque a base de concreto o mampostería con mortero de cemento y arena, se someterá a una prueba de presión hidrostática, de magnitud correspondiente a su tipo. Previamente a la prueba, la tubería se llenara lentamente con agua y se purgara con aire mediante válvulas que con anterioridad deben haberse colocado. La presión se aplicará con una bomba que a juicio del ingeniero sea adecuada para este tipo de pruebas.

12. Esta prueba constante debe durar todo el tiempo necesario para efectuar la revisión de todas las juntas, válvulas, piezas especiales, etc. del sistema de conducción o de distribución y en ningún caso su duración será menor de 2 (dos) horas. Se considerará satisfactorio el resultado de la prueba cuando no se observen fugas en las juntas.

Criterios de medición y base de pago. -La reposición de la tubería se medirá en metros lineales con aproximación de un decimal, que el contratista haya instalado y probado a presión hidrostática.

Los trabajos de mantenimiento se realizan con mano de obra especializada, para lo cual, es necesario contar con personal capacitado para atender los trabajos de acuerdo con la calendarización realizada. Algunos trabajos requieren del apoyo de herramientas (carretilla, palas, revolvedora, etc.) y/o maquinaria como una retroexcavadora-cargadora, camión volteo, excavadora hidráulica con cucharón especial, etc. (foto 5.1).

5.2.2 Inventario de la infraestructura

Las zonas de riego, pueden estar constituidas por superficies que van de algunos centenares de



Foto 5.1 Herramientas y maquinaria de mantenimiento y conservación

hectáreas hasta grandes extensiones con miles de hectáreas, la infraestructura construida es muy variada y el conocimiento de las obras, su ubicación, características, funciones e importancia son factores decisivos para programar las acciones de conservación, con oportunidad y suficiencia en todas ellas.

El desconocimiento de las características de la infraestructura provocará fallas graves de programación, que se traducen en un funcionamiento deficiente de las obras por falta de conservación.

El inventario, es una relación detallada de las obras que incluye la ubicación y las características físicas e hidráulicas, no se limita a una simple relación de las obras; contiene toda la información necesaria para diagnosticar correctamente los requerimientos de conservación.

Es conveniente que cada una de las obras tenga bien definidas sus características de proyecto y de funcionamiento, a efecto de que al llevar a cabo las acciones de conservación éstas permanezcan invariables; sobre todo las que por su función se construyen con capacidades fijas, como es el caso de las tuberías de conducción.

El objetivo del inventario de las tuberías de conducción y sus estructuras es relacionarlas con sus características y clasificarlas de acuerdo con su función específica. Para integrar la información en el anexo 5.1a, se muestra una propuesta de formato denominado “*Inventario de infraestructura de la red entubada y sus dispositivos*”, y que a continuación se presentan las instrucciones para su llenado:

Datos generales

En la parte superior central se identificará el nombre de la dependencia donde esté dada de alta o que lleve el control de la infraestructura, por ejemplo puede ser la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) o los Gobiernos de los Estados.

Posteriormente se indicarán de acuerdo con la ubicación del área de riego los nombres del Organismo de Cuenca (si corresponde a CONAGUA), Dirección Local de la CONAGUA, Delegación en el caso de la SAGARPA o el que corresponda al Gobierno del Estado, a continuación el nombre de la Entidad Federativa, posteriormente el nombre del Distrito de Riego o de Desarrollo Rural, posteriormente el nombre del Módulo o

Unidad de Riego y, de ser el caso, el nombre de la Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL). A continuación se indica el año en que se elaboró o actualizó el inventario.

Datos específicos

— **Columna 1 (Nombre de la obra):** Anotar la relación con los nombres de las líneas de tuberías o tramos de tubería del sistema con base en la figura 5.2.

Se numerarán las líneas principales de la cual parten las líneas laterales que se localicen en su desarrollo, partiendo de la obra de toma hacia aguas abajo; enseguida se incluirán cada uno de las líneas sublaterales de la lateral anteriormente relacionada y, en caso de existir ramales y subramales, éstos se intercalarán según el orden secuencial que marca su cadenamamiento.

Cada una de las líneas se dividirá en tramos cuando se presente un cambio de diámetro, identificándolo con un guión y un número consecutivo.

- **Columnas 2 y 3 (Cadenamientos inicial y final):** Anotar los cadenamamientos que correspondan al inicio de cada línea o tramo de línea y el kilometraje que marca su término.
- **Columna 4 (Longitud efectiva):** Anotar la longitud efectiva del desarrollo real de la línea o tramo de línea de tubería, que corresponde a la diferencia entre los enlaces final e inicial; se apuntan en kilómetros, con aproximación de tres decimales.
- **Columna 5 (Gasto “Q”):** Anotar la capacidad de la línea o tramo de línea, expresándola en litros por segundo (lps) sin decimales.
- **Columna 6 (Diámetro nominal de la tubería):** Anotar el diámetro nominal de la tubería o tramo de tubería que corresponda expresado en milímetros sin decimales.
- **Columna 7 (Material de la tubería):** Anotar el material de la tubería o tramo de tubería que corresponda.
- **Columna 8 (Número de medidores):** Anotar la cantidad de medidores que existan en el tramo correspondiente.

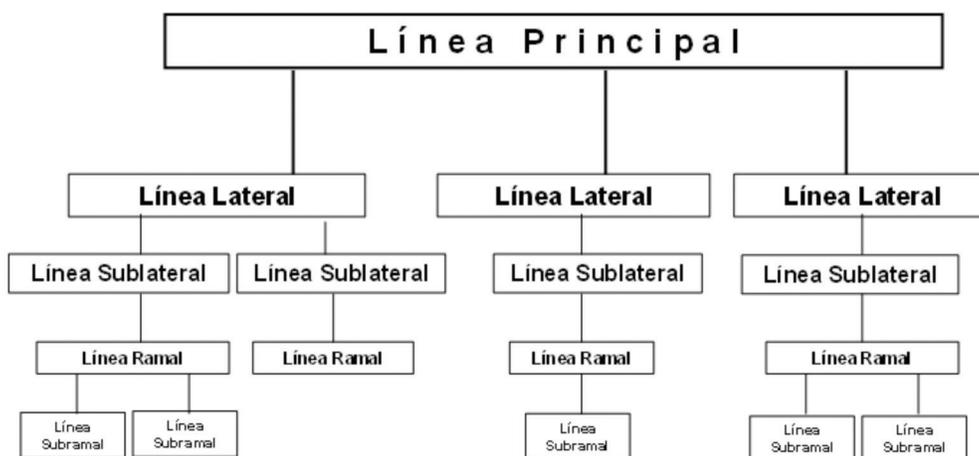


Figura 5.2. Distribución esquemática de la nomenclatura de las líneas

- **Columna 9 (Tipo de medidores):** Anotar el tipo de medidores de la cantidad señalada en la columna anterior, cuando haya más de un tipo deberán anotarse por separado.
- **Columnas 10 hasta m (Estructuras de regulación):** En estas columnas se anotará el número de estructuras de regulación de cada línea o tramo de línea, indicando en la parte superior el nombre de cada tipo de estructura, se incluirán tantas columnas como tipos de estructuras de operación existan.
- **Columnas m+1 hasta n (Estructuras de protección):** En estas columnas se anotará el número de estructuras de protección de cada línea o tramo de línea, indicando en la parte superior el nombre de cada tipo de estructura, se incluirán tantas columnas como tipos de estructuras de protección existan.
- **Columnas n+1 hasta o (Estructuras de cruce):** En estas columnas se anotará el número de estructuras de cruce de cada línea o tramo de línea, indicando en la parte superior el nombre de cada tipo de estructura, se incluirán tantas columnas como tipos de estructuras de cruce existan.
- **Columna o+1 (Observaciones):** Se anotarán todas las observaciones que se consideren convenientes.

Datos finales

En la parte inferior del formato, se anotará el nombre y cargo de la persona que elaboró o actualizó el inventario y de la persona que lo revisó y aprobó.

5.2.3 Diagnóstico y estimación de cantidades de obra

La formulación del diagnóstico de necesidades tiene por objeto conocer fundamentalmente el

estado de deterioro y desgaste en que se encuentran las obras, así como, en su caso, la factibilidad técnica de su conservación, para valorar los costos respectivos y proponer su programa de realización.

El Gerente de la zona de riego, previamente al inicio de cada ciclo agrícola y antes de proporcionar el servicio de riego, deberá formular el diagnóstico de necesidades de mantenimiento de las obras y sus estructuras.

El objetivo específico del diagnóstico de necesidades de mantenimiento es captar la información que permita conocer anualmente las necesidades totales de conservación de las obras, misma que servirá de base para la elaboración de los costos y del programa de mantenimiento normal.

Lograr que las obras funcionen a su máxima capacidad y que cumplan con el objetivo para el que se construyeron, no es fácil, ya que están expuestas a un proceso de deterioro constante producido por el clima, las condiciones de trabajo y, en algunos casos, por el vandalismo, desde que se termina su construcción o antes en algunos casos.

La conservación oportuna de las obras es importante realizarla con oportunidad, ya que retrasar su ejecución provoca la necesidad de mayores recursos e incrementa la conservación diferida.

Para determinar los volúmenes de obra es necesario realizar las acciones que a continuación se describen.

Después de actualizar el inventario de la infraestructura se requiere dictaminar si funciona

adecuadamente, si cumple con su objetivo y si es imprescindible ejecutar trabajos de conservación.

Para conocer el grado de deterioro y desgaste de las obras, se requiere determinar la factibilidad técnica de su conservación, valorar los costos respectivos, proponer su programa de realización y, en su caso, determinar si la obra está funcionando adecuadamente, por lo tanto, es necesario realizar un diagnóstico de necesidades de conservación antes de proporcionar el servicio de riego.

Con objeto de realizar una programación congruente que considere las necesidades reales de conservación, es importante que exista una coordinación estrecha y permanente entre el personal técnico de las áreas de conservación y de operación tanto en la determinación de necesidades como en las épocas de realización de los trabajos con la finalidad de resolver los problemas y utilizar en forma óptima los recursos disponibles.

Para cuantificar las necesidades totales de conservación de obras se procederá de la siguiente manera:

1. Recopilar las solicitudes de conservación de obras presentadas por los productores, las cuales se analizan y se jerarquizan.
2. Para contar con información fidedigna y actualizada, conviene realizar recorridos que incluyan cada una de las obras, en los que participe el personal técnico de las áreas de conservación y de operación y, con el apoyo de los planos de las obras y el inventario, determinarán el grado de deterioro de la infraestructura.
3. Se anotan para cada caso las necesidades de trabajos de conservación y se clasifican de acuerdo a su prioridad, con base en su ubicación y en las condiciones en que se encuentran tanto las líneas como sus estructuras.

Para cualquier actividad que se repite cíclicamente, conviene llevar un registro histórico y que, mediante extrapolaciones, permita predecir con cierto margen de seguridad su repetición. En general, el ciclo agrícola, inicia en octubre y termina en septiembre del año siguiente, e impone una serie de actividades previas.

Cuadro 5.4. Ciclos óptimos de ejecución de los conceptos de obra

Concepto de trabajo	Ciclo óptimo (años)
Fuente de abastecimiento	
Reparación y mantenimiento de obra civil.	1
Reparación y mantenimiento de equipo electromecánico hidráulico y eléctrico.	1
Red de distribución	
Rehabilitación de tuberías.	Variable
Estructuras	
Reparación y mantenimiento de obra civil	15

Fuente: Residencia de conservación del DR 034, Estado de Zacatecas

El ciclo óptimo de conservación es el tiempo que puede transcurrir con seguridad entre dos operaciones consecutivas de un mismo concepto de trabajo de conservación, de una obra, sin que falle o perturbe el funcionamiento eficiente del sistema de riego. Por ejemplo en el cuadro 5.4 se presenta la información de los ciclos óptimos para las zonas del distrito de riego 034, Estado de Zacatecas.

Por su parte la frecuencia es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico, que para el caso de conservación es el número de veces que es necesario repetir un concepto de trabajo en el año (cuadro 5.5).

Cuadro 5.5. Frecuencias

Periodicidad del concepto de trabajo	Frecuencia
4 veces al año	0.25
3 veces al año	0.33
2 veces al año	0.50
1 vez al año	1.00
1 vez cada 2 años	0.50
1 vez cada 4 años	0.25
1 vez cada 15 años	0.07
1 vez cada 50 años	0.02

Para cada concepto de trabajo de una obra, es conveniente realizar un análisis del grado máximo de deterioro que se puede permitir y que no presente deficiencias importantes en el servicio y, precisar el tiempo en que el deterioro alcanza ese estado, para establecer la época en que deben ejecutarse los trabajos. Esta información es un dato estadístico que debe ser usado como una guía para efectos de programas y presupuestos.

Por ejemplo, en las líneas de conducción enterradas resulta difícil determinar la frecuencia para ejecutar una conservación preventiva; situación que no se presenta en las tuberías de acero a la intemperie, ya que están propensas al depósito o acumulación de agua, polvo, herrumbre, escapes de vapor y salitre.

La acumulación de estas sustancias forma pequeñas pilas galvánicas que eventualmente corroen la superficie del metal y es necesario protegerla con pintura anticorrosiva tipo epóxico, que dependiendo de las características de la región puede tener una frecuencia de cuatro a cinco años (foto 5.2).



a) Con mantenimiento



b) Sin mantenimiento

Foto 5.2 Tubería de conducción.

Durante la inspección de las obras, se realizan las mediciones físicas necesarias en las líneas de conducción que requieran conservación y se toma nota de las condiciones en que se encuentran las estructuras. Posteriormente se calculan los volúmenes de obra, apoyándose en las mediciones realizadas, los datos del proyecto y en su caso, los catálogos de los fabricantes.

La programación de las actividades se hace por concepto de trabajo y para cada obra en particular; en donde se consideran las cantidades totales de obra por realizar, comparadas con las cantidades de trabajo que pueden ejecutarse con la fuerza de trabajo disponible y la capacidad económica para efectuar los trabajos, en función de los fondos provenientes de la recaudación de cuotas por servicio de riego.

5.2.4 Tiempo de ejecución de los trabajos

El tiempo necesario para ejecutar cada uno de los conceptos de trabajo depende de los volúmenes de obra a ejecutar, del personal o equipo, de los elementos de trabajo disponibles y del rendimiento de los mismos. Los tiempos necesarios para ejecutar cada uno de los conceptos de trabajo se determinarán de la forma siguiente:

$$T = \frac{C_t}{(N_e)(R)} \quad 5.1$$

Donde:

T = Tiempo necesario para ejecutar cada uno de los conceptos.

C_t = Cantidad de trabajo.

N_e = Número de brigadas de trabajo o equipos.

R = Rendimiento.

El tiempo necesario resultante será en horas efectivas o días, según el caso. Para efectos de programación, la duración de cada una de las actividades se transformará en meses, para lo cual el mes se considerará de 20 días hábiles o de 160 horas efectivas por mes como mínimo. Con base en los tiempos necesarios para la ejecución de los conceptos de trabajo, se fijan las fechas de inicio y terminación de cada uno de ellos, con base en los períodos en que es posible realizarlos.

5.2.5 Necesidades de maquinaria, equipo y personal

En todo programa de mantenimiento debe determinarse las cantidades de maquinaria, equipo y personal que se requieren para la ejecución de los volúmenes de obra. Para esto se aplica la siguiente ecuación.

$$N_m = \frac{T}{(H_e)(E_o)} \quad 5.2$$

Donde:

N_m = Número de máquinas.

T = Tiempo necesario para ejecutar cada uno de los conceptos, h.

H_e = Horas efectivas que puede trabajar la maquinaria o equipo,

E_o = Eficiencia operativa.

La eficiencia operativa es un factor que representa el tiempo que efectivamente trabajará cada máquina o equipo, descontando el tiempo de traslado y mantenimiento.

5.2.6 Programa de mantenimiento y conservación

Su objetivo es captar la información que permita conocer el programa de trabajos de mantenimiento

y conservación normal de obras, así como el calendario mensual de ejecución con sus importes respectivos. Al fijar las prioridades, se deben considerar en primer lugar las líneas principales y sus respectivas estructuras.

A partir del diagnóstico de necesidades, el calendario de ejecución de los conceptos de trabajo y los costos unitarios obtenidos, se procederá a elaborar el programa de actividades. Para lo cual, se consideran todos los conceptos de trabajo, las obras contempladas en el programa, relacionándolos con sus respectivas cantidades de obra a ejecutar, con sus costos unitarios e importes respectivos, lo que implica contar con un control de avances.

5.2.7 Seguimiento y evaluación de los trabajos

El seguimiento de los trabajos lo realiza el Residente de Conservación o el Gerente Técnico, comparando los avances programados con los realizados; el seguimiento debe realizarse mensualmente con la finalidad de tomar las medidas que se requieran para evitar retraso en los trabajos. La evaluación consiste en determinar el grado de cumplimiento de las metas consideradas en el programa mensual de actividades.

En el anexo 5.1b se muestra una propuesta de formato denominado “*Programación y Seguimiento*” y que a continuación se presentan las instrucciones para su llenado:

Datos generales

En la parte superior central se identificará el nombre de la dependencia donde esté dada de

alta o que lleve el control de la infraestructura, por ejemplo puede ser la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) o los Gobiernos de los Estados.

Posteriormente se indicarán de acuerdo con la ubicación del área de riego los nombres del Organismo de Cuenca (si corresponde a CONAGUA), Dirección Local de la CONAGUA, Delegación en el caso de la SAGARPA o el que corresponda al Gobierno del Estado, a continuación el nombre de la Entidad Federativa, posteriormente el nombre del Distrito de Riego o de Desarrollo Rural, posteriormente el nombre del Módulo o Unidad de Riego y, de ser el caso, el nombre de la Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL). A continuación se indica el año en que se elaboró o actualizó el inventario. A continuación se indica el año en que se elaboró el programa.

Datos específicos

- **Columna 1 (Nombre de la línea, nombre de la obra y conceptos de trabajo):** Anotar, el nombre de la línea, de acuerdo el inventario (ejemplo: Línea Principal 4+140), en el renglón siguiente se anota el nombre de la obra (ejemplo: Línea de conducción), a partir del siguiente renglón, se anotan todos los conceptos de trabajo de dicha línea de conducción (ejemplo: desazolve, aplicación de pintura anticorrosiva, etc.).
- **Columnas 2 y 3 (Cadenamientos inicial y final):** Anotar los cadenamientos que correspondan al inicio de cada línea o tramo de línea y el kilometraje que marca su término. En el caso de

que proceda, por el tipo de concepto de trabajo se anotará el correspondiente a cada uno de ellos.

- **Columna 4 (longitud efectiva):** Anotar la longitud efectiva del desarrollo real de la línea o tramo de línea de tubería, que corresponde a la diferencia entre los enlaces final e inicial; se apuntan en kilómetros, con aproximación de tres decimales.
- **Columna 5 (Cantidad de obra):** Anotar para concepto de trabajo la cantidad de obra correspondiente a los trabajos que estén programando, con aproximación de tres decimales.
- **Columna 6 (Unidad):** Anotar la unidad correspondiente al concepto de trabajo, de acuerdo a los trabajos que se estén programando.
- **Columna 7 (Precio unitario):** Anotar el precio unitario correspondiente al concepto de trabajo y a la unidad, de acuerdo a los trabajos que se estén programando, con aproximación de dos decimales.
- **Columna 8 (Importe):** Anotar el importe del costo total del concepto de trabajo acorde con la unidad anotada, con aproximación de dos decimales.
- **Columna 9 (Avances):** Anotar para cada concepto de trabajo en un renglón diferente Programado, Realizado y % Realizado.
- **Columnas 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 y 32 (Cantidad de obra):** Anotar para cada mes en el que se programen actividades la cantidad de obra que corresponda a un concepto de trabajo, indicando en un renglón diferente la cantidad programada, la cantidad realizada y el % realizado en el mes, dividiendo la cantidad realizada entre la programada expresada en % sin decimales.

- **Columnas 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 y 33 (Importe):** Anotar para cada mes en el que se programen actividades, el importe correspondiente a la cantidad de obra del concepto de trabajo, indicando en un renglón diferente el importe programado, el importe realizado y el % realizado en el mes dividiendo el importe realizado entre lo programado expresado en % sin decimales.
- **Columna 35 (Avance físico):** Anotar la suma de las cantidades de obra que corresponda a un concepto de trabajo, indicando en un renglón diferente la suma de las cantidades programadas, la suma de las cantidades realizadas y el % realizado por concepto de trabajo, dividiendo la suma de las cantidades realizadas entre la suma de las cantidades programadas expresado en % sin decimales.
- **Columna 36 (Avance financiero):** Anotar la suma de los importes que corresponda a un concepto de trabajo, indicando en un renglón diferente la suma de los importes programados, la suma de los importes re alizados y el % realizado por concepto de trabajo, dividiendo la suma de los importes realizados, entre la suma de los importes programados, expresado en % sin decimales.
- **Columna 37 (Observaciones):** Se anotarán todas las observaciones que se consideren convenientes.

Al final de cada una de las líneas se suma el importe programado y, en cada mes se suman los importes realizados en la columna correspondiente y se determinan los % de avance tanto de cantidades de obra (avances físicos mensuales), como de los importes (avances financieros mensuales).

Debido a que los conceptos de trabajo tienen diferentes unidades, los avances físicos mensuales se obtienen con base a los % de avance de los mismos, cuando se tiene únicamente un concepto de trabajo el valor del % de avance mensual, es el mismo del concepto de trabajo, cuando se tenga más de un concepto de trabajo el % corresponde al promedio de los diferentes conceptos de trabajo.

Para el caso de los avances financieros mensuales, se obtienen dividiendo directamente los importes realizados entre los programados. En ambos casos los valores de los porcentajes no llevan decimales. De una manera similar se obtienen los valores de los % de avance totales mensuales y los % de avance anuales.

Datos finales

En la parte inferior del formato, se anotará el nombre y cargo de la persona que elaboró el programa y el nombre y cargo de la persona que lo revisó y aprobó.

5.2.8 Perfil del personal de mantenimiento

Para estar en condiciones de atender eficientemente todos los aspectos arriba descritos, se considera que el encargado de esta área sea un ingeniero civil con experiencia en el diseño, operación y mantenimiento de líneas de redes entubadas.

El mantenimiento incluye los trabajos de limpieza y ciertas formas de tratamiento químico, que ayudan a estabilizar el deterioro de una tubería.



6

Mantenimiento de una red entubada de riego y sus dispositivos

M.I. Rafael Espinosa Méndez

6.1 Generalidades

Existe una gran variedad de técnicas de mantenimiento y rehabilitación de tuberías. Cada una de estas técnicas tiene ventajas, desventajas, costos y aplicaciones de acuerdo a las longitudes de la tubería, el diámetro, el material, las condiciones del suelo en que se encuentra, el grado de deterioro que presenta y el tipo de agua que conduce.

El mantenimiento incluye los trabajos de limpieza y ciertas formas de tratamiento químico, que ayudan a estabilizar el deterioro de una tubería, mientras que la rehabilitación consiste en aquellos métodos para el mejoramiento de los tubos existentes en las redes.

6.2 Técnicas de rehabilitación de tuberías

6.2.1 Recubrimientos no estructurales

Los recubrimientos no-estructurales restauran la capacidad hidráulica con un efecto de duración

considerablemente largo. Sin embargo, la principal justificación para su empleo es el mejoramiento de la calidad del agua mediante el aislamiento de la superficie de una tubería metálica y la prevención contra la corrosión interna, prolongando la vida útil de ésta.

Los recubrimientos no-estructurales no proporcionan una protección contra la corrosión externa, ni tampoco son exitosos en la reducción de los niveles de fugas, por lo que deben ser usados donde los tubos son estructuralmente resistentes y, en consecuencia donde los niveles de fugas son bajos.

En el cuadro 6.1 se muestran las especificaciones, ventajas y desventajas de los diferentes recubrimientos no estructurales.

6.2.1.1 Recubrimientos con mortero-cemento

El método consiste en cortar el tubo en dos extremos e introducir una máquina recubridora

eléctrica o impulsada por aire, la cual rocía centrífugamente el mortero de cemento sobre la pared del tubo por medio de una cabeza rotatoria con hojas acanaladas.

Para tuberías con diámetros hasta 400 mm, la máquina es jalada a través de la tubería por medio de un cable (figura 6.1).

Para diámetros hasta 500 mm, dichas máquinas son auto controladas y propulsadas por aire o por un motor eléctrico. En las líneas de más de 600 mm de diámetro el rociado del mortero es controlado

por un hombre recostado en un carrito dentro de la tubería, el mortero es bombeado hacia el interior de un tanque de servicio y es transmitido desde ahí por medio de una cabeza giratoria.

6.2.1.2 Recubrimiento con resina epóxica

En este método los componentes principales del recubrimiento son resina y endurecedor, los cuales son almacenados en depósitos donde son calentados y bombeados por separado utilizando bombas de desplazamiento positivo a una mezcladora estática y después a un mecanismo

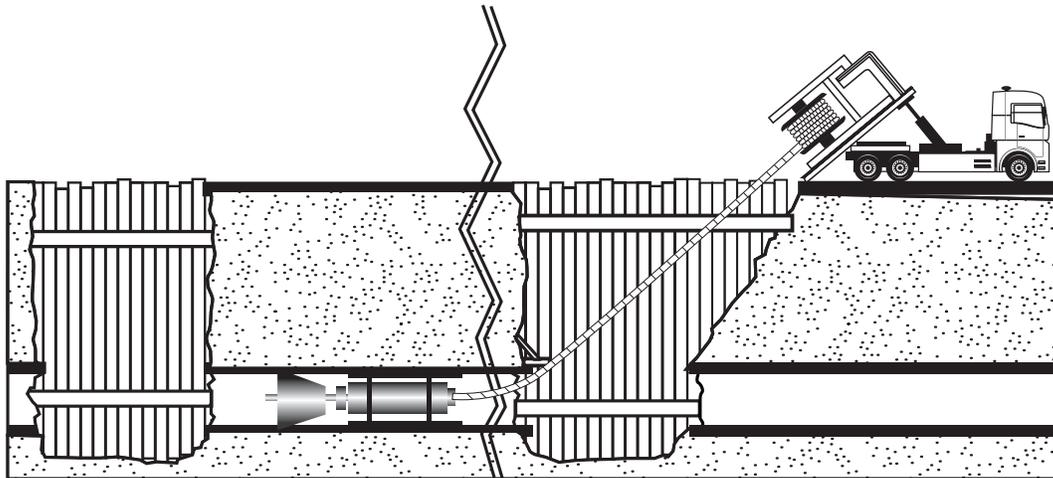


Figura 6.1 Revestimiento con mortero – cemento

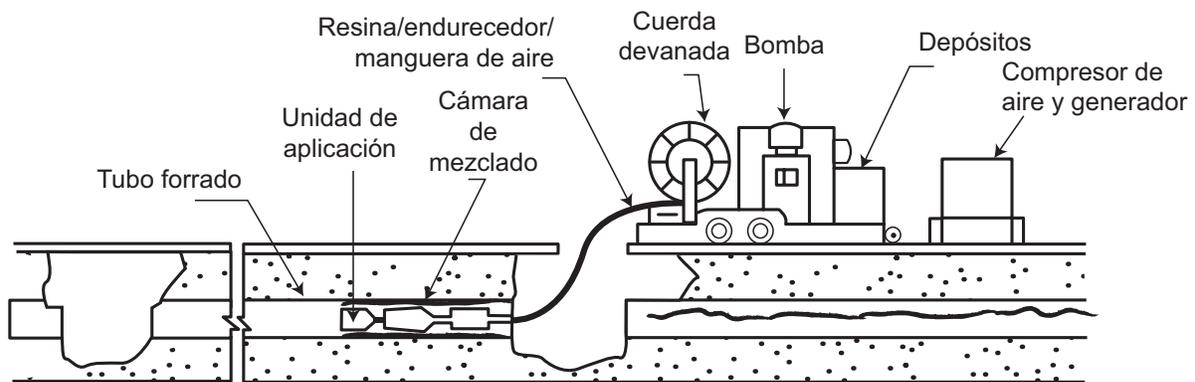


Figura 6.2 Proceso de revestimiento con resina epóxica

que genera aire donde el recubrimiento es aplicado centrífugamente por rociado. Los dos componentes son mezclados en una proporción en volumen de aproximadamente dos partes de resina por una parte de endurecedor.

Durante la aplicación el mecanismo y el rango de la bomba son controlados para obtener un revestimiento con un espesor de 1 mm. Una vez que la resina es aplicada, la tubería es tapada y el recubrimiento es curado con aire durante un tiempo mínimo de 16 hrs (figura 6.2).

6.2.1.3 Recubrimientos blandos

Estas técnicas se basan en la inserción de un recubrimiento “blando” dentro del tubo que va a ser renovado. La naturaleza de estos métodos asegura el contacto directo con la pared del tubo viejo y de esta manera puede obtenerse una capacidad de flujo máxima.

• Proceso Insitu-form

El proceso consiste de una manguera de fieltro, de fibra sintética hecha a la medida en diámetro, longitud, sección y espesor, recubierta con una membrana impermeable e impregnada con una resina termoestable. El compuesto resultante posee características anticorrosivas y alta resistencia a la abrasión.

FASE I. La manguera de fieltro se fija al anillo de “inversión” que se introduce la manguera dentro del anillo y el material queda invertido con su cara interna hacia afuera. A continuación se vierte agua fría dentro de la cavidad formada por la manguera invertida.

FASE II. La presión del agua empuja la manguera hacia adentro de la tubería en reparación, invirtiéndola y comprimiendo la cara impregnada contra la pared de la tubería.

FASE III. Cuando la manguera está totalmente extendida se calienta el volumen de agua que contiene, a efectos de endurecer la resina. Una vez endurecida, se cortan los extremos y se abren las conexiones de tuberías laterales. Posteriormente la tubería esta lista para entrar nuevamente en servicio (figura 6.3).

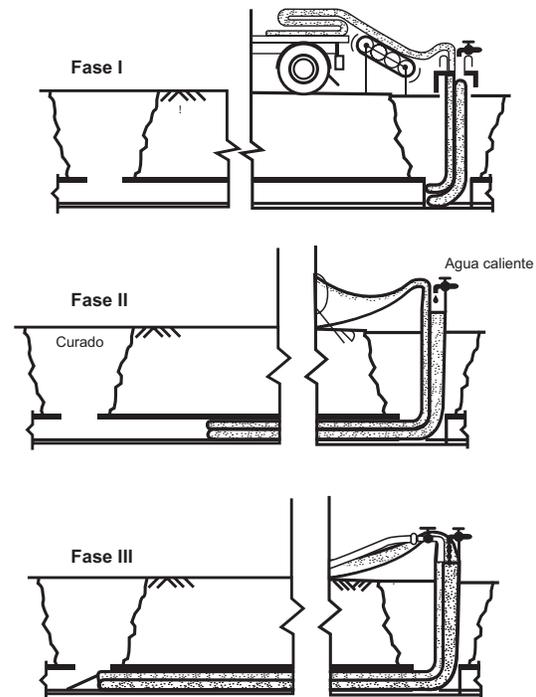


Figura 6.3 Proceso Insitu-form

• Proceso Phoenix

La base del proceso es el uso de una manguera flexible de poliéster tejida que trabaja a presión, la cual es insertada dentro del tubo que va a ser renovado. Esta manguera, muy similar a una manguera lisa contra incendios. Esta manguera es llenada con dos paquetes de

resina epóxica humedecida por su paso a través de rodillos y enrollada sobre un barril, el cual está adentro de un recipiente que puede ser sellado. El extremo de la manguera es conectado a un tubo de inversión en la salida del recipiente. Para insertar la manguera el recipiente es presurizado de 0.765 a 2.04 kg/cm².

La velocidad de inversión es controlada por la restricción del giro del barril dentro del recipiente de presión. Una vez que se ha alcanzado la longitud requerida al final de la manguera se hace un orificio para permitir que el aire escape. Posteriormente se introduce vapor, el cual calienta el recubrimiento y cura la resina.

El resultado es una manguera de presión lisa revestida con polietileno que está adherida a la pared del tubo viejo.

La resina evita el movimiento de la manguera dentro del tubo, los dobleces que restringen el flujo en los codos y el colapso de la manguera cuando la tubería es averiada (figura 6.4).

• Proceso Paltem

Este proceso se basa en la inserción de una manguera flexible dentro de la tubería que va a ser renovada. El método de inserción usado es similar al que se emplea en el proceso *Insituform*; también utiliza la inversión pero usando la presión del aire en lugar de agua. El método emplea un transportador a cierta distancia, el cual ayuda a

empujar el recubrimiento a través de la tubería y es muy útil cuando se trata de codos.

El recubrimiento es fijado a la pared del tubo con una resina epóxica adhesiva.

El componente esencial es un recipiente de presión que contiene un barril, en el que puede ser enrollada la manguera (figura 6.5).

6.2.2 Recubrimientos estructurales

Los recubrimientos estructurales proporcionan capacidad estructural a la tubería, pero la capacidad hidráulica es reducida por su aplicación. Estas técnicas ahorran aproximadamente de un 20-35% del costo equivalente de un reemplazo, pero el número de aplicaciones potenciales es muy limitado.

En el cuadro 6.1 se muestran las especificaciones, ventajas y desventajas de los diferentes recubrimientos estructurales.

6.2.2.1 Recubrimientos con manguera ajustable

El proceso se denomina “tubo interior” que se basa en la inserción de una manguera con un alto grado de rigidez dentro de un tubo (poliuretano reforzado con poliéster). La manguera está hecha de un material especial, el cual es reforzado con una fibra sintética.

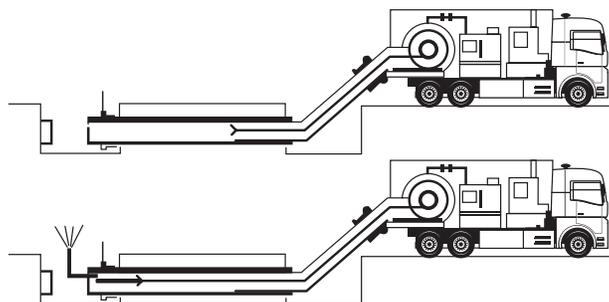


Figura 6.4 Proceso Phoenix

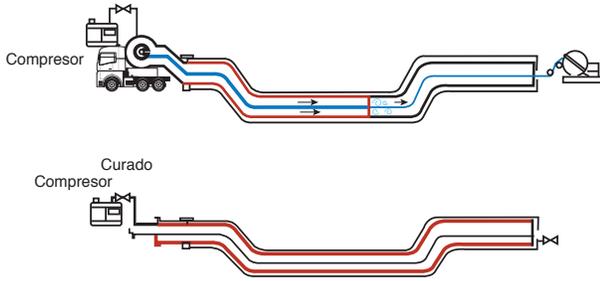


Figura 6.5 Proceso Paltem

El tubo interior ó manguera es plegada y enrollada en una placa protectora y ésta es simplemente empujada al interior de la tubería deteriorada, después de haberla limpiado.

La placa que se restringe a la manguera para permitir la inserción al tubo es rota fácilmente una vez que el agua bajo presión es puesta en servicio. La manguera se expande y llena el tubo viejo.

Esta técnica es efectuada no solo para mantener la calidad del agua, sino también para incrementar la capacidad de conducción del tubo, además para prevenir las fugas en las uniones y para reforzarlo (figura 6.6).

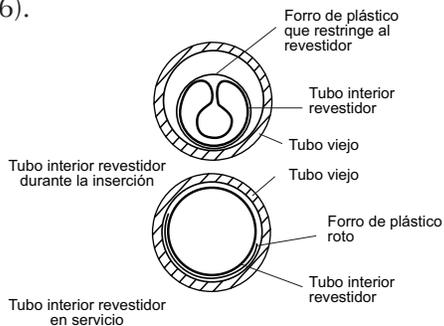


Figura 6.6 Proceso tubo interior

6.2.2.2 Métodos de revestimiento deslizable

Estos métodos se basan en la inserción de un tubo de plástico (preferentemente de polietileno) dentro de una tubería deteriorada mediante el empuje de una "cadena" presoldada con varios trozos de tubo hasta que alcanza la longitud requerida.

La tubería deteriorada se limpia por medio de escobillones que raspan su superficie interior. La

nueva tubería se empuja dentro de la manguera de la tubería vieja utilizando una máquina especial para este propósito, que consiste en una serie de fijadores hidráulicos y arietes.

6.2.2.3 Revestimiento con rodillos corredizos

Este proceso logra reducir el tamaño de la tubería de plástico mediante el uso de rodillos. Varias secciones de tubo son soldadas entre sí para formar "cuerdas" de tubo, las cuales pueden ser unidas para obtener la longitud completa del tubo que va a ser insertado. Posteriormente se coloca un cono en frente de una cadena de pequeños tubos y es unido a un malacate para insertar la cadena dentro de la tubería existente.

El equipo utiliza de dos a cinco pares de rodillos. El espacio entre los rodillos es ajustado de manera que el diámetro es gradualmente reducido cuando se forza al tubo a pasar a través de ellos. El objetivo del equipo es producir un tubo redondo con diámetro de paso reducido, asegurando que la reducción en el diámetro sea de preferencia realizada por un incremento en el espesor de la pared que por un incremento en longitud.

El tubo, por medio de una máquina de empuje (situada cerca del lugar) es forzado a pasar a través de los rodillos.

La máquina comprende dos placas semicilíndricas que sujetan al tubo y lo empujan a través de los rodillos antes de soltarlo y regresar para el siguiente ciclo (figura 6.7).

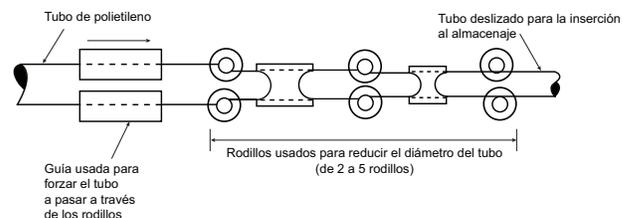


Figura 6.7 Proceso de revestimiento con rodillos corredizos

Cuadro 6.1 Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de rehabilitación de tuberías

Material	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
	Recubrimientos no estructurales		
Mortero-cemento	<ul style="list-style-type: none"> - Las distancias entre cada excavación es de 150 a 200 m para tuberías de hasta 500 mm de diámetro y de 400 a 600 m para tuberías de más de 600 mm. - Proporción 1:1 de cemento/arena fina y un mínimo contenido del agua. - Aplicar sólo para tuberías con diámetros mayores de 200 mm de diámetro, debido al tamaño físico del equipo de revestimiento. - El espesor del recubrimiento varía de 6 a 12 mm de acuerdo al diámetro del tubo. - Revestimiento de secciones con una longitud máxima de 200 m en una sola operación. - Después de 48 horas el agua puede ser puesta nuevamente en servicio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Excavación mínima (cada 150 m). - Bajo costo cuando se revisten tramos de tuberías muy largos (aproximadamente del 25 al 40% del costo de reemplazo). - Reducción mínima del diámetro interior de la tubería. 	<ul style="list-style-type: none"> - No agrega capacidad estructural. - No detiene las fugas y existe el riesgo de fisuras en las juntas. - Puede elevar el pH residual en aguas blandas durante varios meses después de recubrir la tubería.
Resina epóxica	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicable sólo en tuberías de diámetro pequeño (menores de 200 mm). - La tolerancia para el espesor del revestimiento es de 1 ± 0.2 mm. - Se recomienda aplicar en tuberías estructuralmente fuertes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Excavación mínima (cada 100 m). - Bajo costo (un poco mayor que el mortero cemento). - Mínima reducción del diámetro interior (menor que en el mortero-cemento). - Incremento en la capacidad hidráulica al obtener paredes lisas. 	<ul style="list-style-type: none"> - No proporciona integridad estructural. - No detiene las fugas y existe riesgo de fisuras en las uniones. - Podría haber problemas de toxicidad (formación de depósitos orgánicos). - Requiere un alto control de calidad. - No recubre uniones.

Cuadro 6.1 Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de rehabilitación de tuberías (continuación).

Material	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
Blandos (fieltro, fibra sintética, etc.)	<p>- El recubrimiento es saturado o cubierto con una resina de poliéster o epóxica, la cual puede ser curada a temperatura ambiente o mediante calor aplicado mediante agua caliente o vapor.</p> <p>Proceso Insituform</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rehabilitación de tramos de hasta 700 m en una sola inversión. - Se ajusta a toda forma y diámetro de tubería (de 100 a 3,000 mm). <p>Proceso Phoenix</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usado para renovar tubos de cualquier material de 75 a 700 mm de diámetro <p>Proceso Paltem</p> <ul style="list-style-type: none"> - El curado se realiza a temperatura ambiente y toma 48 hr. - El uso de una banda transportadora es necesario para reducir los pliegues en las curvas. - Revestido de tuberías de más de 3 km en una sola operación. - Es aplicable a diámetros desde 100 hasta 1000 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay limitaciones en diámetro ni longitud. - Aplicable en áreas urbanas debido a que se requieren de pocas excavaciones. - Soluciona los problemas de fugas. - Puede revestir los codos sin problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado. - Garantía de un curado completo. - El margen de toxicidad aún no se ha obtenido (puede estar también afectado por el grado del curado).
Manguera ajustable	<p>Recubrimientos estructurales</p> <ul style="list-style-type: none"> - No se requiere de excavaciones muy profundas. El tamaño máximo de la excavación está determinado por el tamaño de la manguera que va a ser colocada dentro de la tubería en un ángulo no mayor de 70° de la horizontal. - La manguera usada tiene una presión de trabajo de 10.19 kg/cm² y una presión de reventamiento mayor de 20.39 kg/cm². - El diámetro máximo del revestidor es de 300 mm y su longitud máxima es de 200 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alteración mínima del entorno. - Pérdida mínima de la capacidad de flujo. - Como los recubrimientos no son fijados a la pared del tubo, puede obtenerse un arreglo en el movimiento del tubo si ocurre una falla estructural. - Bajo costo, debido a que se necesita poco equipo para instalar estos recubrimientos. - Previene el desajuste de las uniones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de adhesión a la pared el tubo. - Es posible que el agua subterránea y la tierra entren al tubo, ocasionando una obstrucción del recubrimiento. - Requiere sistemas de tuberías rectas con codos no muy pronunciados. - La localización de fugas es difícil debido a que están cubiertas por el tubo viejo. - No puede prevenir la corrosión externa.

Cuadro 6.1 Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de rehabilitación de tuberías (continuación).

Material	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
Revestimiento deslizable	<ul style="list-style-type: none"> - No se debe permitir el paso de agua superficial. - Escaso rompimiento de tubería. - Aplicable en tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) con un rango de diámetros de 100 a 300 mm y para tubos de polietileno de media densidad (PEMD) con diámetros menores de 100 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de excavación mínima. - Proporciona un revestimiento estructural que también soluciona los problemas de fugas. - Es más barato que el reemplazo. - Tiene una vida útil de por lo menos 100 años. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hay una reducción en la capacidad hidráulica de la tubería. - No es económico en tuberías con diámetros de más de 10 pulgadas. - Las tuberías que van a ser renovadas deben ser rectas. - La localización de fallas es difícil.
Revestimiento con rodillos corredizos	<ul style="list-style-type: none"> - Se utiliza en tuberías de plástico. - La reducción en el diámetro inmediatamente en la salida de la máquina es de aproximadamente el 9% (por ejemplo, para una tubería de 288 mm se obtiene una elongación de aproximadamente 315 mm). - Esta técnica puede ser usada en tuberías de 75 hasta 300 mm. - La velocidad de operación de los rodillos es de 200 m/hr y la velocidad promedio de inserción es de aproximadamente 0.5 km/semana. - El rendimiento del proceso se estima en aproximadamente 90 m/hr pero esto depende del tamaño, del espesor de la pared y de la temperatura del tubo. 	<ul style="list-style-type: none"> - El equipo ocupa un solo hombre y es fácil de operar. - Compacto para el traslado en camión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debe mantenerse una alta compresión axial. - Se reduce la capacidad de conducción.

Fuente: Balcázar, S. V. y Castro, V. M. C. (1994).

6.3 Técnicas de reemplazo de tuberías

Un reemplazo de tubería se justifica cuando se presenta alguna de las siguientes situaciones:

- Alta frecuencia de daños.
- Corrosión externa en las tuberías, tomas y piezas especiales.
- Costos elevados de reparación de los daños y costos excesivos de mantenimiento.
- Daños severos en red principal.
- Altas pérdidas de agua.
- Reducción del área hidráulica.
- Grandes pérdidas de presión.
- Mala calidad del agua, con alto grado de incrustaciones.

En el cuadro 6.2 se muestran las especificaciones, ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de reemplazo de tuberías.

6.3.1 Método hydros “extracción hidráulica de tubos”

Consiste en una barra de tracción con de varillas individuales y conectadas a acopladores es empujada al interior del tubo existente (figura 6.8). El tubo nuevo con su guía se coloca en el pozo de acceso conectado a través de un adaptador a los diferentes diámetros internos y externos del tubo viejo.

La barra de tracción es también empujada a través del tubo nuevo y fijada a su parte final por medio de una placa sujetadora. Una placa de retención (muro de contención consistente de una placa acerada con una abertura para el tubo que va a ser extraído) es construida dentro del pozo final para que actúe como un empotramiento para el aparato de extracción. Este aparato, por vía hidráulica presiona actuando contra la placa de

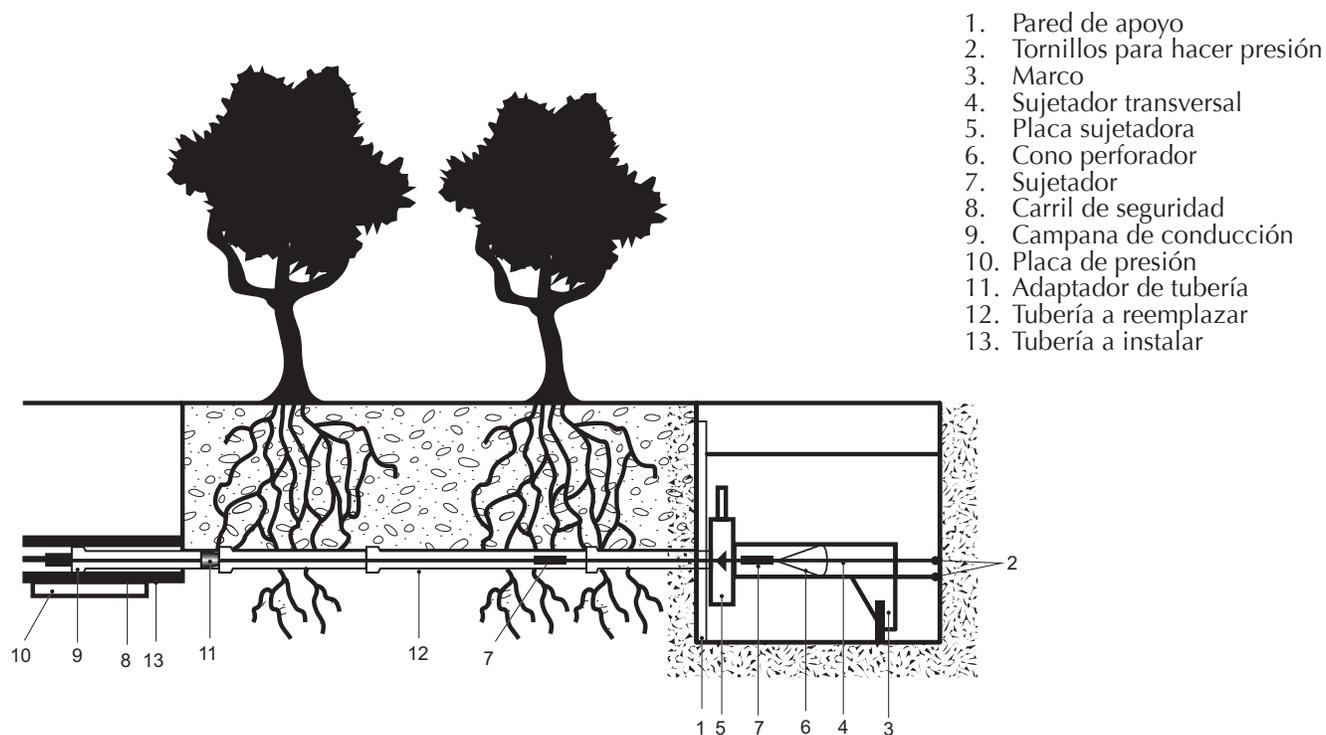


Figura 6.8 Método Hydros

retención y por medio de una barra de tracción sujeta a la pieza cruzada, jala el tubo nuevo junto con el tubo viejo desde el pozo de entrada hasta el pozo de salida.

6.3.2 Métodos de extracción de tubos de servicio de servicio

El equipo de extracción de tubos diseñado para el reemplazo de tubos de servicio consiste esencialmente de tres cilindros construidos dentro de una estructura, así como también de una placa de empotramiento y una placa de presión (figura 6.9).

La regulación de los movimientos adelante/atrás es efectuado por medio de una unidad de control, la cual se une con cables a los cilindros. Una placa de presión, adaptada con un anillo central intercambiable que pueda ser ajustado en cada caso al diámetro del tubo apropiado que a

ser extraído, es fijada al final de los cilindros. La unión mecánica al tubo que va a ser reemplazado es hecha por medio de un mecanismo de sujeción.

Antes de intentar la extracción el tubo viejo que está corroído debe ser fijado con barras de tracción para protegerlo de la ruptura. Las barras de acero son empujadas para este propósito dentro de los tubos de servicio y atornilladas en las orillas del tubo. Un alambre acerado de suficiente dureza puede ser también usado como equipo de seguridad en lugar de la barra.

El cono ensanchador que había sido estabilizado con las barras y el cual es en cada caso adaptado al diámetro del tubo nuevo va a ser colocado dentro del relleno existente sin sufrir daños mecánicos en su superficie (surcos, rasguños, etc.). La conexión entre el tubo nuevo que va a colocarse y el tubo viejo que se va a extraer es efectuada con un tirante sujetador.

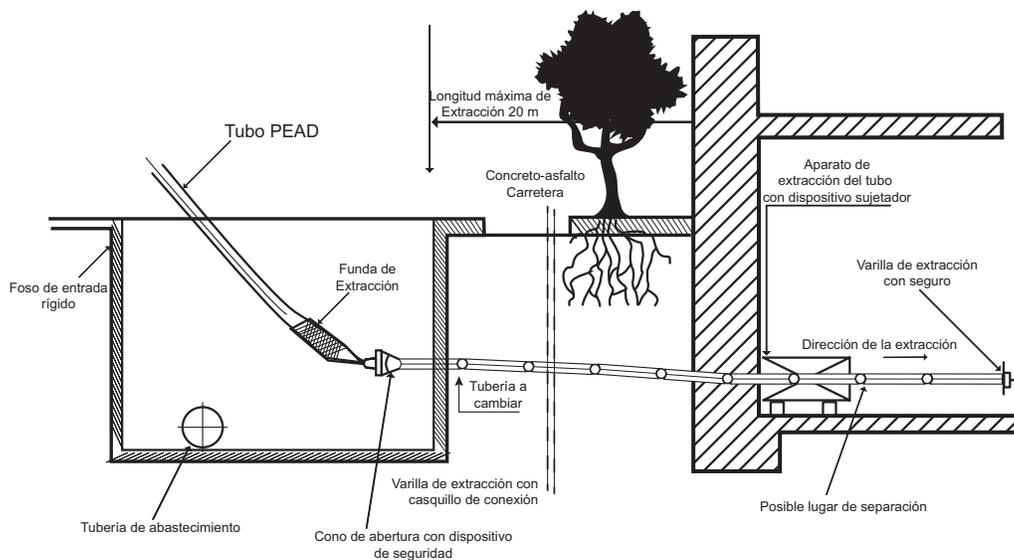


Figura 6.9 Método de extracción de tubos de servicio

La pared del pozo de acceso sirve como empotramiento para el aparato de extracción que es empujado sobre la tubería que va a ser reemplazada. Durante el proceso de extracción, la placa de presión con anillo central intercambiable es asegurada contra el tubo viejo y el mecanismo de sujeción es cerrado con llave para garantizar la unión mecánica. El tubo es extraído de la tierra sección por sección causado por los movimientos adelante y atrás de la unidad hidráulica y el traslado del mecanismo de sujeción.

Con este método surgen fuerzas de reacción por la fricción entre el tubo y el suelo de soporte, y son transmitidas directamente a la placa de retención, obligando de esta manera el deslizamiento del suelo de soporte en la pared del tubo. Sin la placa como empotramiento, el suelo se rompería cónicamente donde el espacio anterior es ensanchado. Este proceso puede repetirse varias veces en la dirección del pozo de acceso durante la operación de extracción, de manera que la tierra a lo largo de toda la longitud del área afectada tiende a desplazarse.

6.3.3 Proceso tubo dentro de tubo

Este método consiste en la instalación de un tubo nuevo dentro de un tubo existente (figura 6.10). El diámetro del tubo nuevo es más pequeño que el tubo existente, por lo que el área de sección transversal para el suministro de agua del tubo resultante es reducida. A pesar de que se reduce el área de sección transversal al insertar el tubo nuevo dentro del tubo existente, esto se compensa porque la superficie interior del tubo nuevo es más lisa y permite que el agua fluya con mayor facilidad.

6.3.4 Proceso de fracturamiento (tubo a tubo)

En este proceso tanto el tubo nuevo como el tubo existente son del mismo diámetro (incluso el tubo de repuesto puede ser de mayor diámetro); el tubo existente sirve como guía al tubo que va a ser insertado y mientras el nuevo tubo es empujado con un gato hidráulico, el tubo existente se va destruyendo (figura 6.11).

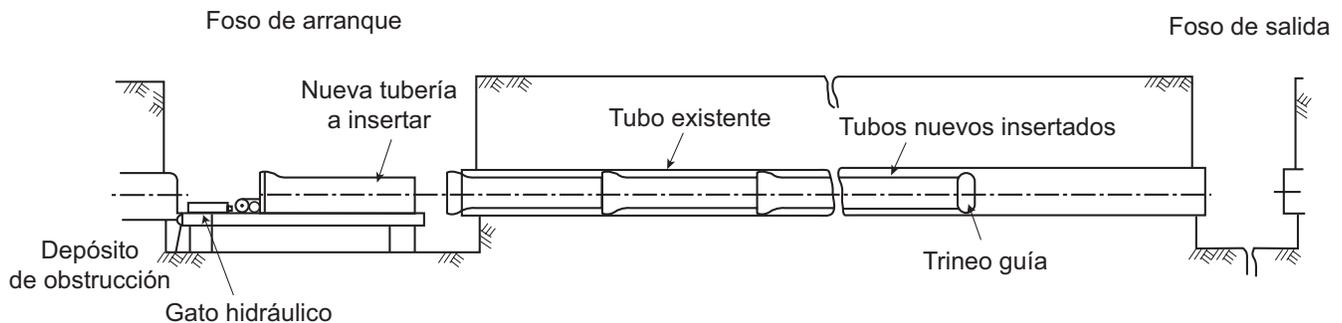


Figura 6.10 Proceso tubo dentro del tubo

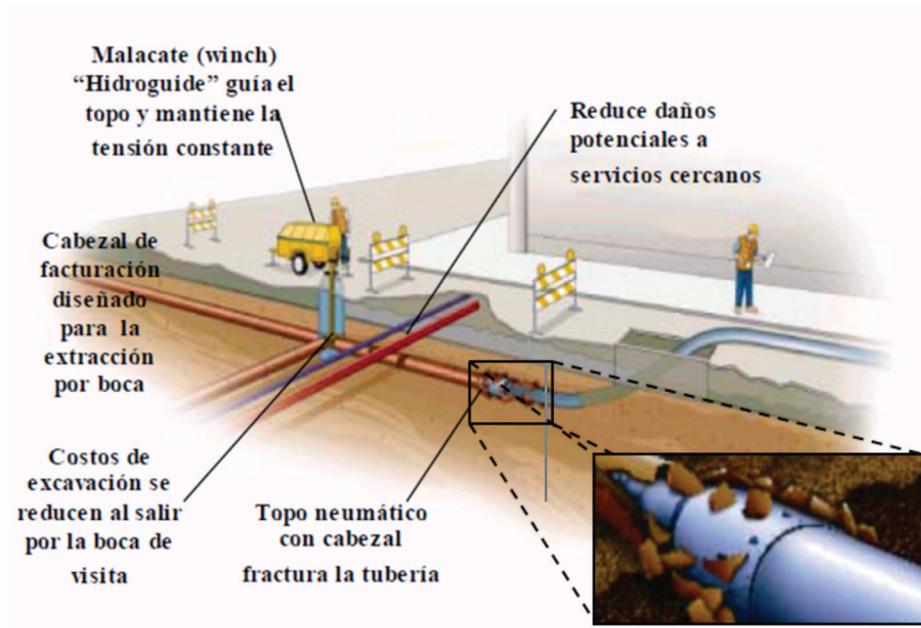


Figura 6.11 Proceso de fracturamiento (tubo a tubo)



Figura 6.12 Cabezal de fracturamiento (topo)

Debido a que ambos tubos son del mismo diámetro el área seccional para el suministro de agua no disminuye. El tubo existente es destruido por medio de un cabezal neumático (topo) que provoca el rompimiento (figura 6.12). Cuando tal ruptura es hecha, se genera en la tierra una porción más compacta. El

área afectada depende del tipo de suelo. Solo requiere de dos excavaciones, una para el pozo de inicio y otra para el pozo de llegada. El sistema consta de una unidad hidráulica, un gato hidráulico, un adaptador, un cabezal de rompimiento y un cable para el ajuste de dirección (foto 6.1).



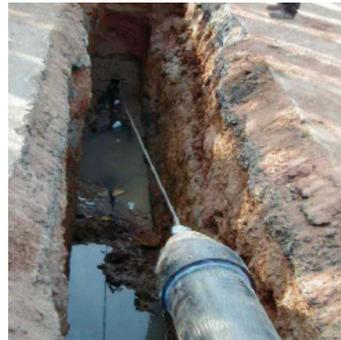
a) Tubería fracturada



b) Unidad hidráulica



c) Adaptador y cabezal de rompimiento



d) Cable para ajuste de dirección



e) Introducción del topo



f) Introducción del tubo nuevo

Foto 6.1 Componentes del sistema y proceso de instalación

Cuadro 6.2. Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de reemplazo de tuberías

Método	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
Extracción hidráulica (Hydros)	- Tiene una carrera de 400 mm de longitud.	- Es conveniente para el intercambio de secciones más largas del tubo en la misma ruta.	- Escasa longitud de reemplazo. - Requiere maquinaria.
Extracción de tubos de servicio	- El doble cilindro levantado permite la extracción de longitudes de aproximadamente 750 mm/carrera. - Las fuerzas de tensión permisibles dependen del tipo de suelo y del relleno sobre el tubo.	- Permite el reemplazo tubos nuevos de diámetros mayores.	- Requiere maquinaria y numerosos trabajadores.
Tubo dentro de tubo	- Este proceso es aplicable a tuberías de hierro dúctil, tuberías aceradas y tuberías de polietileno y pueden insertarse tubos de 100 a 150 mm de diámetro más pequeños que los tubos existentes.	- Resuelve los problemas de fugas. - Tiene un bajo costo. - Requiere de mínima excavación (cada 100 m). - El trabajo realizado es de alta seguridad, y el periodo de construcción corto.	- Tiene limitaciones de diámetro ya que no se aplica a tuberías muy pequeñas debido a que reduce el área seccional para el suministro de agua.
Fracturamiento tubo a tubo	- Es aplicable a tuberías de asbesto-cemento, concreto reforzado, hierro fundido, acero (4" y 6") y hierro dúctil (4" y 6"). - Puede aplicarse en el caso de tuberías pequeñas, debido a que las líneas de tuberías existentes pueden ser reemplazadas sin reducir el área seccional para el suministro.	- Requiere una mínima excavación por el tubo de reemplazo (menor costo con relación a los métodos de zanjado). - Interrumpe menos el tráfico de vehículos. - Permite aumentar la capacidad de conducción hidráulica del sistema al incrementar el tamaño de la tubería. - Menor compactación del terreno.	- Es necesario cortar el suministro de agua durante el periodo de construcción, lo cual también es necesario para preparar una derivación de la línea de la tubería.

Fuente: Balcázar, S. V. y Castro, V. M. C. (1994)

6.4 Técnicas de limpieza de tuberías

El propósito de las técnicas de limpieza es mejorar la calidad del agua mediante la reducción de los depósitos adheridos dentro del sistema de distribución. Muchos de estos problemas son causados por el incremento de la velocidad y la reversión de flujos.

El principio de este grupo de técnicas es la eliminación de todo el material innecesario e indeseable del interior de una tubería. Esto podría incluir depósitos difíciles de remover, además de productos corrosivos. El principal objetivo es restaurar la capacidad hidráulica del tubo.

En el cuadro 6.3 se muestran las especificaciones, ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de limpieza de tuberías.

6.4.1 Limpieza con presión hidráulica

La limpieza hidráulica es un proceso basado en herramientas que son propulsadas por agua

a presión a través de línea. El principio de este método de limpieza, es remover los depósitos mecánica e hidráulicamente de la superficie interior de la tubería para expulsar el material (figura 6.13).

Una característica de este proceso es la herramienta de propulsión que tiene un diseño de acero soldado con collares de cuero que se desarrolla un movimiento de transmisión con una baja presión diferencial de agua.

Aproximadamente un 40% del agua puede pasar por la herramienta de propulsión formando chorros que arrojan todas las partículas que no han sido removidas por las herramientas de limpieza. Además todo el escombros es recogido a una pequeña distancia en frente del mecanismo.

6.4.2 Cepillado de tuberías

Esta técnica incluye la inserción dentro de las tuberías de un escobillón suave con espuma de diámetro mayor que el diámetro interior del tubo, el cual por la presión del agua es conducido a lo largo de la parte afectada.

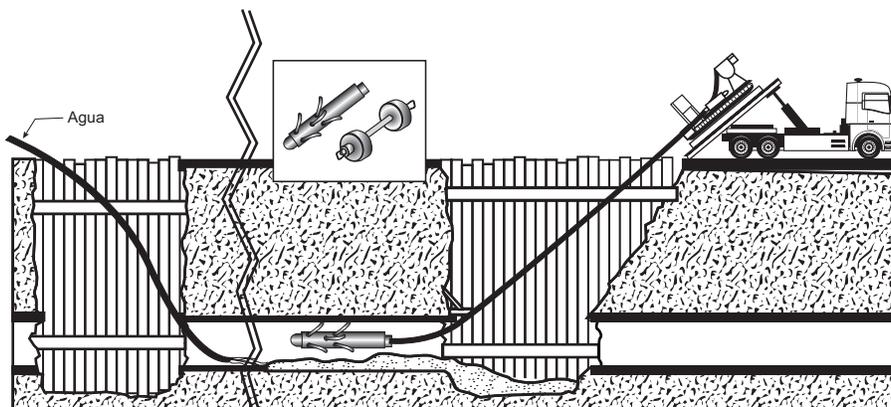


Figura 6.13 Limpieza hidráulica

Mientras que el proceso puede ser efectivo en los primeros metros de la tubería, es probable que el escobillón pueda ocasionalmente llegar a atascarse debido a una obstrucción en el tubo, para lo cual se requiere de una excavación para recuperarlo. En las tuberías de hierro tuberculadas, los escobillones tienden a desintegrarse, creando frecuentemente más problemas que los que originalmente se presentaban.

6.4.3 Limpieza con aire

La limpieza con aire incluye la inyección de aire comprimido dentro de la tubería desde un compresor colocado en el borde del camino. El objetivo es incrementar la velocidad del agua más allá de lo necesario para poner en suspensión los sólidos y remover todos los depósitos sueltos que se encuentren en una tubería (figura 6.14).

Este método no remueve las incrustaciones ni los tubérculos a una gran extensión, pero es muy efectivo para vencer los problemas de infestación animal con la mezcla de aire/agua que es capaz de penetrar y desalojar el material que es inalcanzable por la limpieza por inundación o el cepillado.

La longitud de la tubería puede ser limpiada efectivamente dependiendo de cuatro factores principales: la presión de las tuberías con agua estática, la fricción, el tamaño del compresor y el gradiente de la tubería

La limpieza con aire requiere de una planeación cuidadosa para asegurar el mínimo de rompimientos y el máximo de eficiencia. Es importante prevenir problemas tales:

- Que aire ó agua sucia se filtren a otras partes del sistema de distribución.
- Que válvulas, hidrantes o escapes no estén colocados correctamente.
- Quejas de los clientes acerca de la operación.

El proceso es tan efectivo que pequeñas cantidades de incrustaciones de la pared del tubo pueden ser removidas, las cuales pueden exponer el betún de revestimiento original o el metal puro y posiblemente plomo para un incremento en hidrocarbón poliaromático (HPA) y fierro residual. Sin embargo, tales problemas aparecen en un período muy corto y son removidos por la limpieza por inundación después de unos pocos días que se completa el proceso de limpieza con aire.

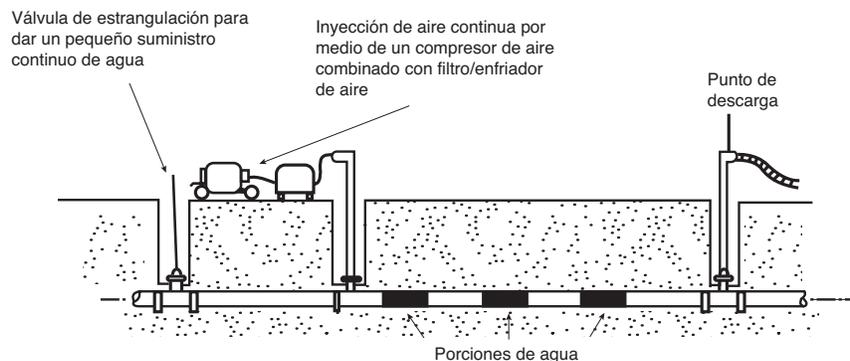


Figura 6.14 Proceso de limpieza con aire

6.4.4 Raspado de tuberías

Después de que una tubería ha sido raspada, el flujo inmediatamente se puede incrementar hasta en un 18%. El ejercicio de raspado es llevado a cabo en una sola operación continua, en donde el raspador es puesto en servicio desde una cámara al principio de la tubería y es conducido por la presión del agua llegando a la cámara de recepción después de 12 horas.

6.5 Técnicas de control de corrosión

Las técnicas que se usan actualmente para el control de la corrosión galvánica externa incluyen el control por electrólisis (corriente impresa y galvánica con protección catódica), y el uso de cubiertas de polietileno, epóxicas y de plástico.

Los sistemas de protección catódica invierten la fuerza corrosiva electroquímica mediante la creación de un circuito extremo entre la línea de la tubería a ser protegida y un ánodo auxiliar (un metal de sacrificio) inmerso en agua o enterrado en la tierra a una distancia predeterminada del tubo (figura 6.15). La corriente directa aplicada al circuito es descargada desde la superficie del ánodo y viaja a través del electrolito circundante a la superficie del tubo (cátodo).

La cubierta de polietileno ha sido utilizada en algunas instalaciones de tuberías para proveer una barrera entre el tubo y las condiciones de suelo corrosivo. Aunque sean efectivos, el uso de cubiertas puede impedir los trabajos de reparación si la integridad de la cubierta tiene que conservarse. El uso de cubiertas epóxicas y de plásticos es una técnica reciente que promete disminuir severamente los rangos de corrosión externa. Estas cubiertas

Cuadro 6.3. Especificaciones, ventajas y desventajas de las técnicas de limpieza de tuberías

Método	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
Con presión hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> - Permite limpiar secciones largas suavemente. - La herramienta de propulsión forma chorros con una velocidad de 20 m/s. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden acoplarse diferentes herramientas de limpieza en el dispositivo de propulsión por medio de una junta universal. 	<ul style="list-style-type: none"> - No es efectivo en materiales fuertemente adheridos a la tubería.
Cepillado	<ul style="list-style-type: none"> - Normalmente, se usa para limpiar tuberías recién instaladas. - No es ampliamente usado dentro del sistema de distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es útil en materiales fuertemente adheridos a la pared de la tubería. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se recomienda en tuberías tuberculadas. - Probable atascamiento del escobillón. - El costo varía dependiendo de las dificultades encontradas.
Aire presurizado	<ul style="list-style-type: none"> - El éxito de la operación depende de la habilidad del operador para obtener el balance aire/agua ideal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se aplica exitosamente en tuberías de más de 250 mm de diámetro. 	<ul style="list-style-type: none"> - No remueve incrustaciones ni tubérculos.
Raspado	<ul style="list-style-type: none"> - Su aplicación es preliminar, antes del revestimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite un mayor flujo en la tubería 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede exponer el betún del revestimiento original.

Fuente: Balcázar, S. V. y Castro, V. M. C. (1994)

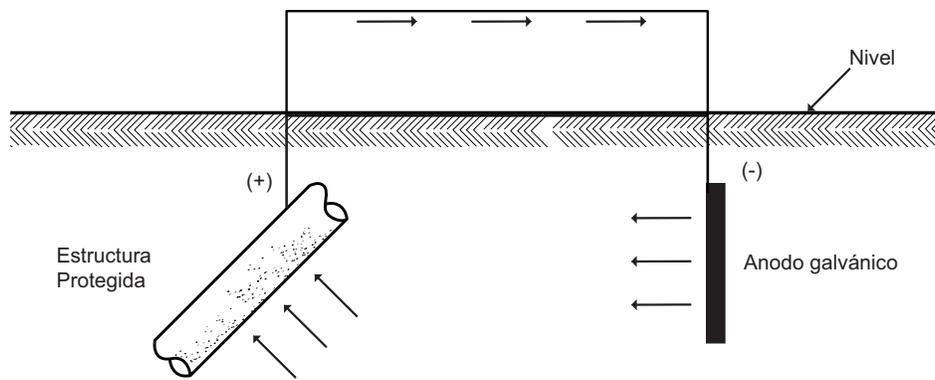


Figura 6.15 Protección catódica del tipo ánodo galvánico

actúan como una barrera física y eléctrica entre el electrolito y la superficie del metal. Los problemas de picaduras pueden surgir si ocurren aberturas en la superficie de la cubierta, sometiendo el metal a corrosión severa localizada en estos sitios de pequeñas áreas superficiales anódicas.

6.6 Mantenimiento de tuberías, estructuras y dispositivos de redes entubadas en zonas de riego en México

En el cuadro 6.4 se muestra un resumen de la problemática de mantenimiento de algunas redes entubadas de unidades y distritos de riego de México.

6.6.1 Mantenimiento y rehabilitación de tuberías

6.6.1.1 Reparación de fugas

Causas

- Deficiencias en la unión de la tubería (foto 6.2).
- Deterioro natural por vida útil.



Foto 6.2 Fugas en la tubería

Materiales y equipo

- Herramienta básica.
- Cinturón de sellado.
- Pegamento epóxico.
- Revolvedora, carretilla, palas, etc.
- Madera para cimbrar.
- Cuadrilla de trabajadores.

Procedimiento

- Supervisión de campo para detectar la disminución del gasto o presión en la tubería.
- Descubrir la zona de la fuga con suficiente espacio para realizar las maniobras de rehabilitación.
- Limpiar la tubería.

- d) Aplicar el cemento epóxico en ambos tubos.
- e) Colocar el cinturón de sellado (foto 6.3a).
- f) Cimbrar el cajón para el colado del atraque de concreto (foto 6.3b).
- g) Colar el atraque con concreto y rocas (fotos 6.3c y 6.3d).

- h) Afinar el atraque para el acabado final (fotos 6.3e y 6.3f).
- i) Dejar fraguar el concreto.
- j) Finalmente cubrir el atraque con tierra.



a) Colocación de cinturón de sellado.



b) Cimbrado para el atraque.



c) Colado del atraque.



d) Colocación de rocas.



e) Afinado del atraque.



f) Fraguado y acabado final del atraque.

Foto 6.3 Reparación de fugas en la tubería

Cuadro 6.4 Problemática de mantenimiento de las redes entubadas y estructuras

Concepto de trabajo	Causa	Frecuencia promedio	Ejecución	Personal que se ocupa	Equipo o maquinaria
Tuberías					
Reparación de fugas	Deficiente instalación	Variable	Asociación de usuarios	Dos peones	Herramienta básica, revolvedora.
Cambio de tubería por rotura o colapso	Daño por maquinaria	Variable	Por la empresa	Seis peones	Retroexcavadora
Desazolve	Calidad del agua	Cada 6 meses	Asociación de usuarios	Un canalero	Se realizar con la operación de la estructura de regulación
		Cada 4 meses	Asociación de usuarios	50 Peones	Retroexcavadora Camión Vector
Taponamiento	Basura	Cada 6 meses	Asociación de usuarios	Cuadrilla de peones	Varillas de 3/4"
Aplicación de pinturas o resinas	Desgaste natural	Variable	Asociación de usuarios	Cuadrilla de peones	Herramienta básica
Estructuras y dispositivos					
Cambio de empaques	Desgaste natural	Variable	Asociación de usuarios	Dos peones	Herramienta básica
Cambio de componentes	Deterioro ambiental	Anual	Asociación de usuarios	Dos peones	Ninguna
Sustitución de dispositivos	Calidad del agua y ambiente	Anual	Asociación de usuarios	Dos peones	Retroexcavadora
Desazolve	Calidad del agua	Cada 4 meses	Asociación de usuarios	Dos peones	Palas, cubetas, retroexcavadora
				Se realiza al mismo tiempo que el desazolve de la tubería	
Extracción de basura y/o maleza	Falta de mantenimiento de los canales	Cada 4 meses	Asociación de usuarios	Dos cuadrillas	Retroexcavadora Camión de volteo
Aplicación de pintura, resinas y engrasado	Calidad del agua y ambiente	Anual	Asociación de usuarios	Dos peones	Ninguna
Rehabilitación de la obra civil	Deficiencias en la construcción	Variable	Asociación de usuarios	Una brigada	Retroexcavadora Herramientas básicas
	Impacto de maquinaria, vehículos o ganado.	Variable	Asociación de usuarios	Dos peones	Herramientas básicas

Fuente: Recorridos de campo y entrevistas con personal encargado de la operación y mantenimiento de las redes entubadas de UR y DR

6.6.1.2 Cambio de tubería por rotura

Causas

- Deficiencias en la instalación de la tubería, por ejemplo insuficiente profundidad de la zanja (foto 6.4a).
- Impactos por maquinaria y tránsitos de vehículos (foto 6.4b).
- Falta de señalamientos adecuados.
- Presencia de eventos extremos, como avenidas de los ríos (fotos 6.4 c y 6.4d)

Materiales y equipo

- Herramienta básica.
- Tubería de sustitución.

- Cinturón de sellado.
- Pegamento epóxico.
- Retroexcavadora (dependerá del tamaño de la tubería o volúmenes de excavación).
- Revolvedora, carretilla, palas, etc.
- Madera para cimbrar.
- Cuadrilla de trabajadores.

Procedimiento

- a) Supervisión de campo para detectar la disminución del gasto o presión en la tubería.
- b) Descubrir la zona de la rotura con suficiente espacio para realizar las maniobras de rehabilitación.



a) Rotura por mala instalación



b) Rotura por impacto de maquinaria



c) Rotura por avenida de río



d) Descubrimiento de tubería por avenida

Foto 6.4 Rotura de tubería

- c) Cortar la longitud de la tubería dañada y pulir los extremos (foto 6.5a).
- d) Cortar el tramo de tubería necesario para la sustitución (foto 6.5b).
- e) Limpiar la tubería (foto 6.5c).
- f) Aplicar el cemento epóxido en los extremos de los tubos.
- g) Colocar el tramo de tubería nuevo y los cinturones de sellado (foto 6.5d).

- h) Cimbrar el cajón para el colado del atraque de concreto (foto 6.5d).
- i) Colar el atraque con concreto y rocas (foto 6.5e).
- j) Afinar el atraque para el acabado final (fotos 6.5f).
- k) Dejar fraguar el concreto (fotos 6.5f).
- l) Finalmente cubrir el atraque con tierra.



a) Cortar los extremos de la tubería dañada



b) Materiales para la sustitución de tramo



c) Limpieza del interior de la tubería



d) Colocación de tubería y cinturones de sellado



e) Colado del atraque



f) Fraguado y acabado final del atraque

Foto 6.5 Cambio de tubería por rotura

6.6.1.3 Desazolve

Causas

- Deficiente proyecto ejecutivo y/o construcción, en donde las bajas pendientes provocan velocidades del flujo que promueven la acumulación de azolve (foto 6.6).
- Calidad del agua.



Foto 6.6 Azolve en la tubería

Materiales y equipo

- “Disco de mantenimiento” que consiste en un disco de arado con cinco puntos de unión a una soga con suficiente longitud para desazolvar la tubería por tramos, de acuerdo a la distancia de los registros de mantenimiento.
- Cubetas y palas.
- Cuadrilla de trabajadores.
- Camión especial de limpieza de agua a presión (VACTOR).

- Retroexcavadora.
- Retroexcavadora (depende del tamaño de la tubería o volúmenes de excavación).
- Camión de volteo.

Procedimiento

El siguiente procedimiento es para el desazolve de una tubería que recibe directamente agua de una represa derivadora en un canal principal, en donde por las condiciones de operación se presentan bajas velocidades de flujo y en consecuencia el azolvamiento de la tubería.

- a) Recorrido de campo para cuantificar los volúmenes de obra.
- b) Dividir la cuadrilla de personal, una parte al inicio de la tubería y la otra en el registro de mantenimiento (figura 6.16).
- c) En el registro de mantenimiento, se deberá abrir la compuerta de la tubería y cerrar la compuerta de desfogue.
- d) Amarrar un extremo de la soga del disco de mantenimiento a una botella de plástico.
- e) Arrojar la botella en el inicio de la tubería para que el flujo la conduzca al registro de mantenimiento en donde la recibe la cuadrilla de personal.
- f) La cuadrilla coloca en la posición de arrastre al disco de mantenimiento en la entrada de la tubería, en donde manda una señal a la cuadrilla que se encuentra en el registro de mantenimiento para jalar el disco y así arrastrar el sedimento (figura 6.16).

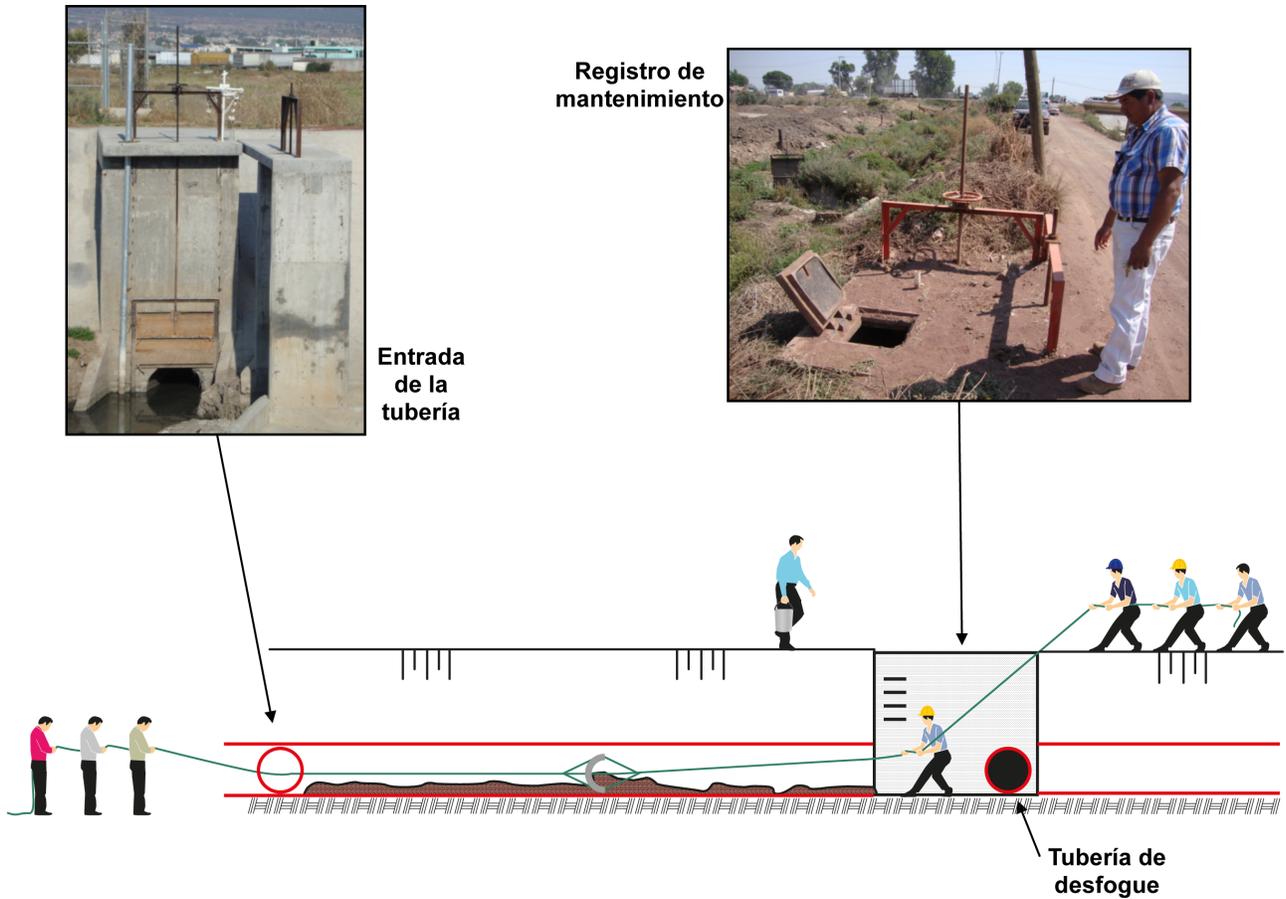


Figura 6.16 Arrastre de sedimento con el disco de mantenimiento

g) En el registro de mantenimiento, llenar las cubetas del azolve para retirarlo a la orilla del bordo del canal (figura 6.17).

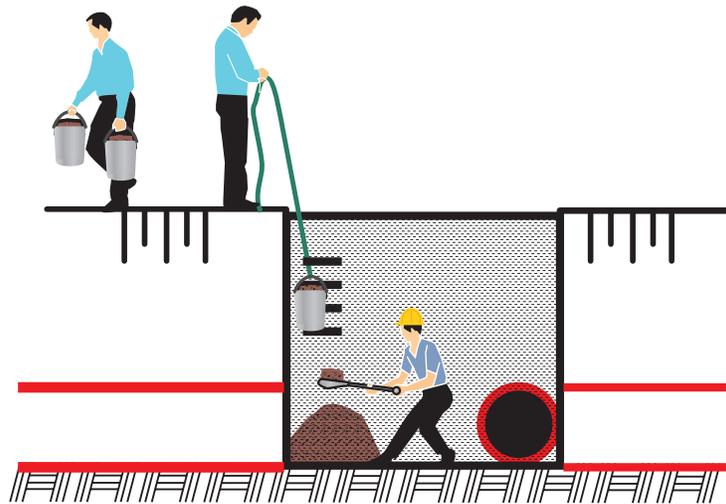


Figura 6.17 Retiro del azolve del registro de mantenimiento

- h) La cuadrilla jala el disco nuevamente a la entrada de la tubería y se repite el procedimiento las veces que sean necesarias para arrastrar la mayor cantidad de azolve al registro de mantenimiento.
- i) Con el camión "VACTOR" se aplica agua a presión para lavar los restos de sedimento en la tubería, en donde la compuerta de la tubería de conducción en el registro de mantenimiento deberá estar cerrada y la

compuerta de desfogue deberá estar abierta para que salga el agua con sedimento al canal (figura 6.18).

- j) Con retroexcavadora o con las cuadrillas de personal cargar el azolve en camiones de volteo para retirar el azolve fuera de la sección del canal (figura 6.19).
- k) Repetir el procedimiento en el siguiente tramo de canal

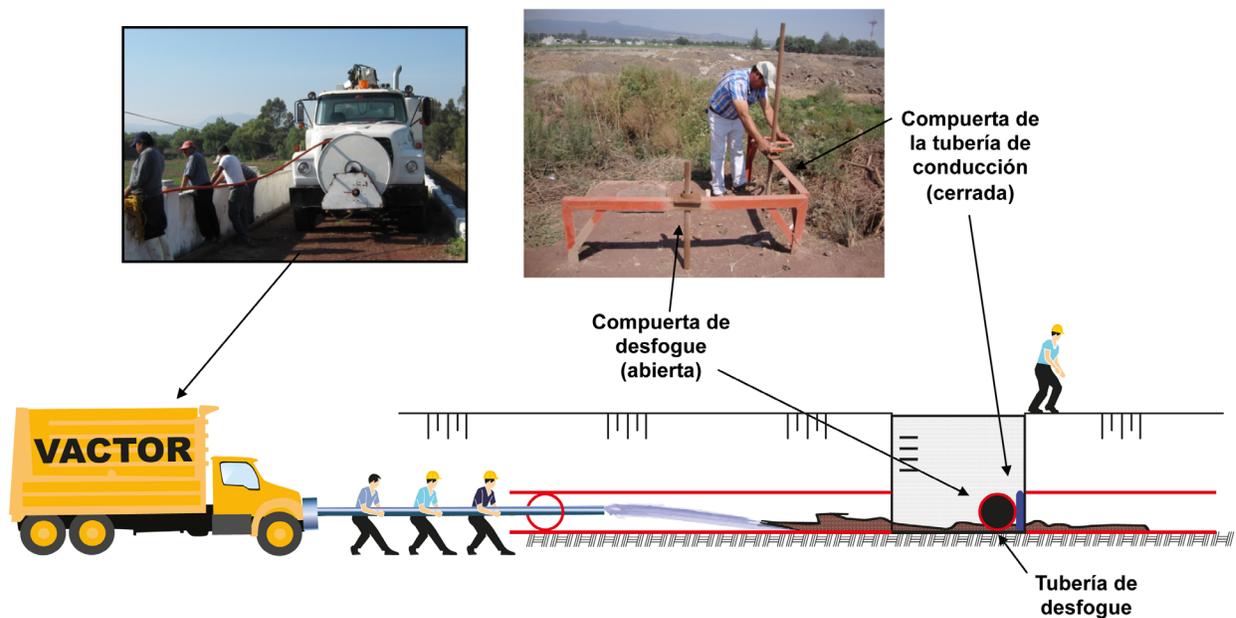


Figura 6.18 Inyección de agua a presión para lavar la tubería

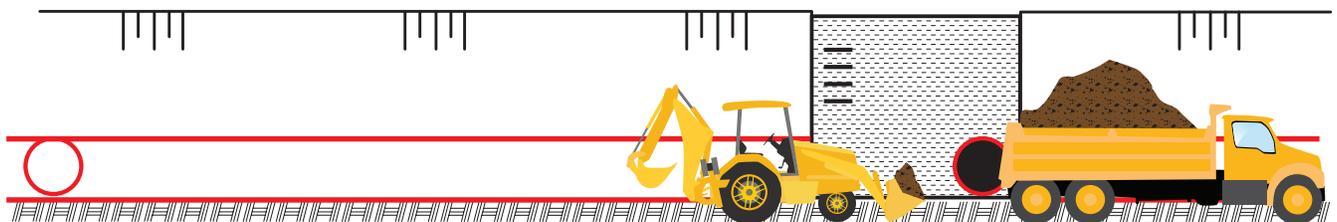


Figura 6.19 Retiro de azolve de la sección de canal

Nota: Se recomienda realizar un diagnóstico de la problemática de la obra, en donde se promueva la construcción de obras de sedimentación aguas arriba de la entrada de la tubería, con la finalidad de disminuir el volumen de azolve en la infraestructura y en consecuencia la disminución de los costos de mantenimiento.

Para el desazolve de las tuberías que derivan a canales laterales o sublaterales (figura 6.20a), con la operación de las compuertas de mantenimiento de las “cajas de control” (foto 6.7) es suficiente y efectivo.



Foto 6.7 Compuerta de mantenimiento en una caja de control

El procedimiento es el siguiente:

- a) Se abre la compuerta de mantenimiento de la primer “caja de control” (figura 6.20b).
- b) Sucesivamente hacia aguas abajo se abren las demás compuertas de mantenimiento de las “cajas de control” (figura 6.20c).

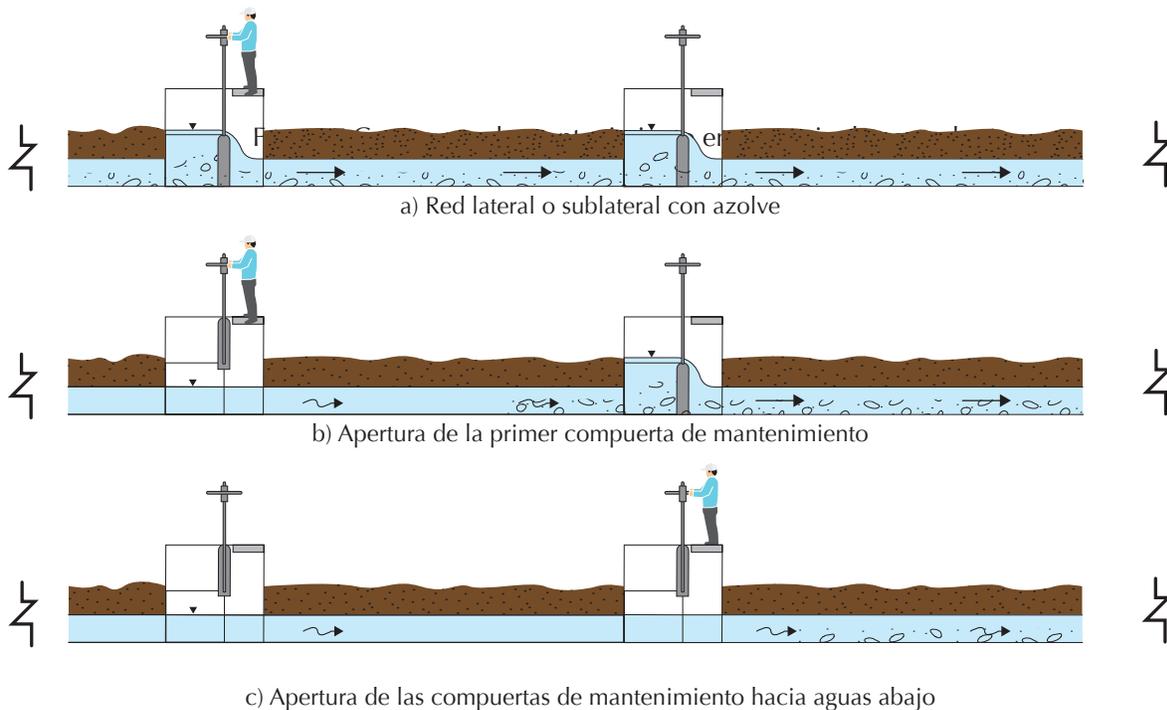


Figura 6.20 Desazolve de tuberías laterales y sublaterales

Las velocidades del flujo que se generan, remueven y transportan el sedimento hasta el desfogue final de la red entubada.

con terminaciones "macho" y "hembra" en sus extremos (figura 6.21b)

- Cuadrilla de personal.

6.6.1.4 Taponamiento

Causas

- Falta de rejillas en la entrada de la tubería.
- Infestación de maleza y presencia de basura en el canal de aportación.

Materiales y equipo

- "Varilla de mantenimiento" que consiste en una varilla de $\frac{3}{4}$ " de diámetro dotada con una punta en forma de gancho y en el otro extremo una escuadra, a la cual se le soldan otras varillas para obtener la longitud suficiente (figura 6.21a). En lugar de la soldadura, existen extensiones de varillas

Procedimiento

- Introducir la punta en forma de gancho en la tubería (figura 6.22a).
- Empujar la varilla hasta localizar el tapón (figura 6.22b), en ese momento comenzar a girar con la escuadra la varilla para que el gancho de la punta penetre el tapón (figura 6.22c).
- Jalar la varilla hasta sacar la punta en donde se deberá retirar el material de taponamiento (figura 6.22d).
- Introducir la varilla cuantas veces sea necesario hasta lograr restablecer el flujo en la tubería.

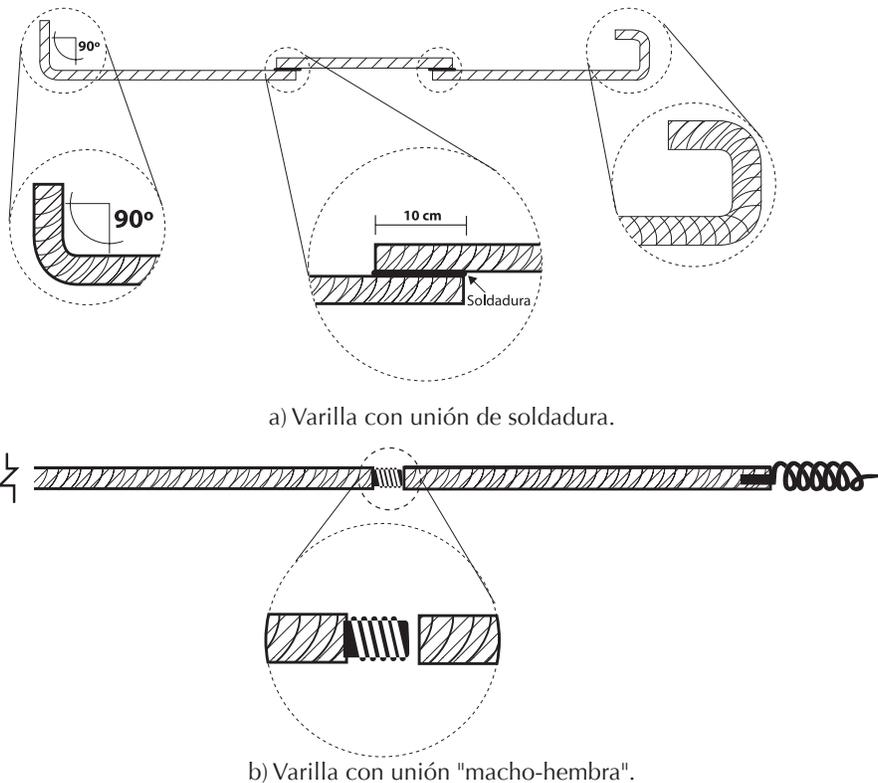


Figura 6.21 Varilla de mantenimiento

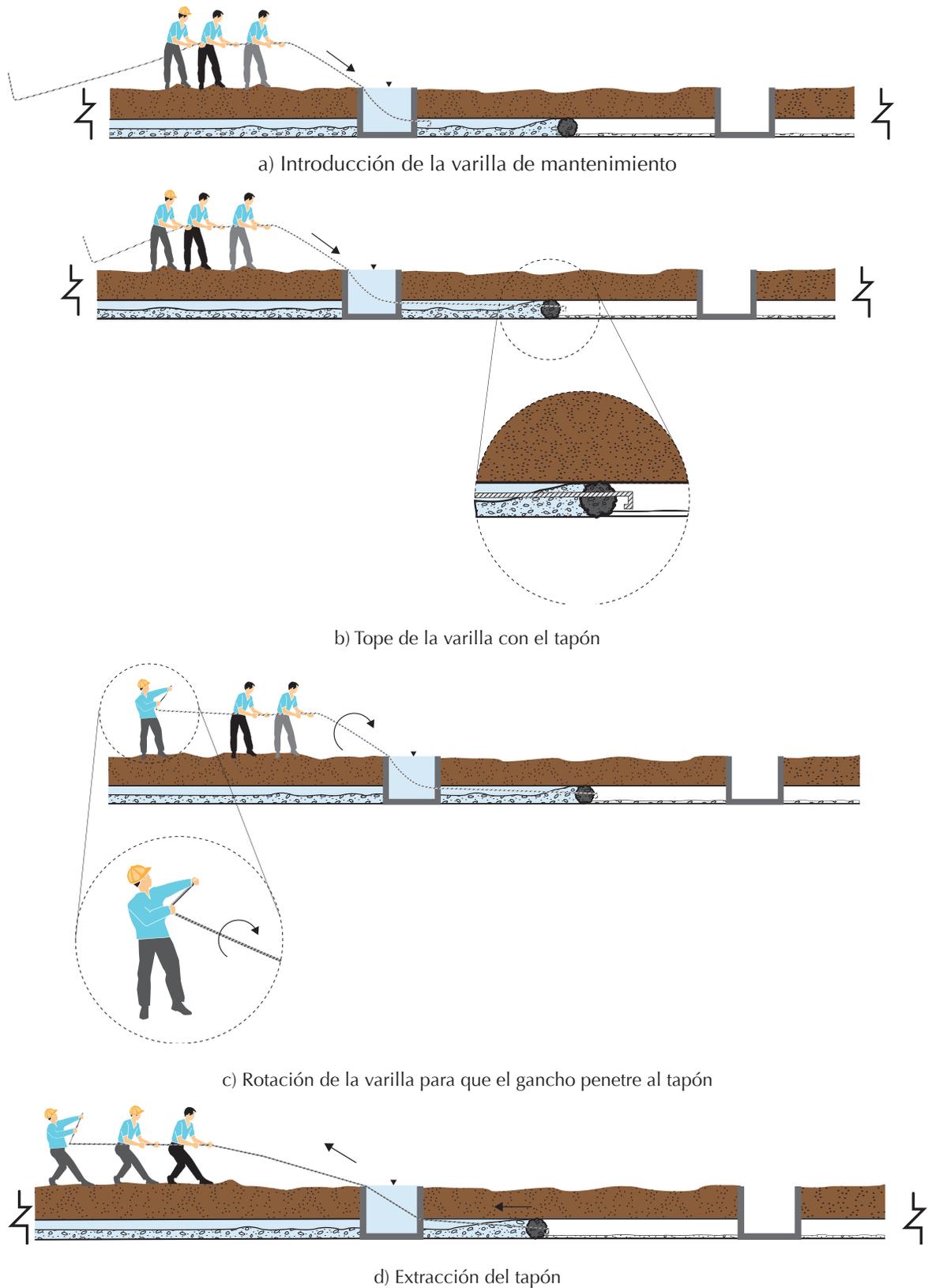


Figura 6.22 Procedimiento de extracción de tapón en una tubería

6.6.1.5 Aplicación de pinturas y resinas

Causas

- Desgaste natural por vida útil.
- Calidad del agua.

Materiales y equipo

- Resina epóxica.
- Sello de mantenimiento.
- Cuadrilla de personal.

Procedimiento

- a) Identificar las tuberías que requieren mantenimiento de pintura y aplicación de resinas.
- b) Limpiar el área de aplicación de la pintura o resinas.
- c) Aplicar la pintura o resina.

6.6.2 Mantenimiento y rehabilitación de estructuras y dispositivos

6.6.2.1 Cambio de empaques, componentes o dispositivos

Causas

- Desgaste natural por vida útil.
- Deterioro ambiental.
- Calidad del agua.
- Vandalismo.

La problemática más común de deterioro es la rotura o desgaste de los empaques de las compuertas (presencia de fugas), el robo de los volantes, pérdida de verticalidad de los vástagos por accidentes en la operación, daños por golpes de la maquinaria o ganado en las estructuras,

sustitución de dispositivos (medidores, válvulas, etc.), entre otros (foto 6.8).

Materiales y equipo

- Empaques, componentes o dispositivos.
- Cuadrilla de personal.
- Retroexcavadora.
- Herramienta básica.

Procedimiento

- a) Identificar los componentes dañados para su reparación o sustitución.
- b) Desinstalar el componente para el cambio de los empaques o en su caso retirar el dispositivo completo.
- c) En caso de rehabilitación de compuertas se requerirá el uso de la retroexcavadora o una grúa para las maniobras, dependiendo de las dimensiones de la obra.

6.6.2.2 Desazolve

Causas

- Calidad del agua.
- Deficiente operación de las estructuras.
- Falta de dispositivos de mantenimiento.

Aguas arriba de la entrada de las tuberías se construyen estructuras para la acumulación de azolves denominadas “trampa de azolve” (fotos 6.9a), en la red de distribución se tienen registros de regulación donde también se presenta la acumulación de sedimentos (foto 6.9b). En las estructuras de regulación por falta de compuertas de mantenimiento se presentan fuertes problemas de operación por la acumulación de azolve, hierba y basura (fotos 6.9 y 6.9d).



a) Robo del volante de la compuerta



b) Desviación de vástago



c) Compuertas y mecanismos inexistentes



d) Dispositivo dañado

Foto 6.8 Problemática de componentes, estructuras y dispositivos

Materiales y equipo

- Herramienta básica (pala, pico, etc.).
- Cuadrilla de personal.
- Retroexcavadora.
- Camión de volteo.

Procedimiento

- a) Inspección de campo para determinar las estructuras que requieren desazolve y elaborar el programa de mantenimiento.
- b) Para el desazolve de las cajas de distribución, la cuadrilla de personal con palas y carretillas extraen el material directamente de la estructura y lo colocan en zonas de relleno cercanas.

- c) Para la extracción de azolve de las estructuras de regulación que no cuentan con compuertas de mantenimiento, la cuadrilla de personal realiza los trabajos con picos y palas, en donde directamente depositan el azolve en el cucharón de la retroexcavadora y ésta al camión de volteo (figura 6.23). El mismo procedimiento se aplica en las trampas de azolve a la entrada de las tuberías.
- d) Para el caso de las estructuras de regulación que cuentan con compuertas de mantenimiento, simplemente se abre la compuerta para que la velocidad del flujo transporte el azolve a los desarenadores y de éstos se realicen los trabajos de desazolve con mano de obra o con maquinaria.



a) Trampa de azolve aguas arriba de la tubería



b) Azolve en la caja de distribución



c) Azolve en la estructura de regulación



d) Inexistencia de la compuerta de mantenimiento

Foto 6.9 Azolve en estructuras



Figura 6.23 Desazolve manual en estructuras de regulación

6.6.2.3 Extracción de basura y maleza

Causas

- Deficiente mantenimiento de los canales de aportación del agua, en donde la acumulación de azolve promueve la infestación de maleza sumergida, flotante o marginal (foto 6.10a).
- Arrastre y acumulación de materiales a las rejillas de protección (foto 6.10b).
- Falta de rejillas que provocan introducción o atascamiento de maleza y basura en las estructuras (foto 6.10c).
- Presencia de comunidades en donde se presentan problemas de tiraderos de basura en la infraestructura (foto 6.10d).

Materiales y equipo

- Herramientas básicas (ganchos, pala, pico, carretilla, etc.).
- Cuadrilla de personal.
- Maquinaria con cucharón especial para extracción de maleza (foto 6.11a). El cucharón cuenta con dientes para el raspado del azolve y una rejilla para el drenado del agua (foto 6.11b).
- Camión de volteo.

Procedimiento

- a) Inspección de campo para determinar los canales que requieren mantenimiento de



a) Presencia de maleza en las estructuras



b) Arrastre y acumulación de materiales en las rejillas



c) Maleza atorada en la estructura



d) Basura en la entrada de la tubería

Foto 6.10 Problemas de maleza y basura en las estructuras



a) Excavadora para trabajos de mantenimiento



b) Cucharón especial para la extracción de maleza

Foto 6.11 Maquinaria para la extracción de maleza

desazolve y/o extracción de maleza, para elaborar el programa de mantenimiento (foto 6.12a).

- b) Con la maquinaria adecuada realizar los trabajos de extracción de maleza, en donde la retroexcavadora vaciará el mayor volumen de maleza en el camión para su retiro a bancos especiales.

- c) Extraer con ganchos y palas la maleza que se acumula en las rejillas colocadas en la entrada de la tubería (foto 6.12b). Con carretilla acarrear la maleza a montículos que después serán retirados con la maquinaria adecuada.
- d) Realizar los trabajos en las rejillas el tiempo que sea necesario, para evitar la obstrucción del flujo a las tuberías.



a) Canal de aportación con problemas de maleza



b) Extracción de maleza en las rejillas

Foto 6.12 Extracción de maleza en las estructuras

6.6.2.4 Mantenimiento de rejillas

Causas

- Deficiente mantenimiento de los canales de aportación del agua.
- Arrastre y acumulación de materiales a las rejillas de protección.

Materiales y equipo

- Cuadrilla de personal.
- Herramientas como bieldos, palas, garrochas, etc.
- Ocasionalmente maquinaria como retroexcavadora.

Procedimiento

- a) Inspección de campo para determinar las rejillas que requieren mantenimiento preventivo y correctivo.

- b) Elaborar un programa de mantenimiento con base en el presupuesto disponible.
- c) Ejecución manual o mecanizada de los trabajos de acuerdo con el programa (foto 6.13)

6.6.2.5 Aplicación de pinturas, resinas y grasas

Causas

- Calidad del agua.
- Deterioro por las condiciones ambientales (foto 6.14a)
- Tipo de materiales de las estructuras, en donde las metálicas son las que presentan mayor deterioro (6.14b).
- Falta de un programa de mantenimiento preventivo (foto 6.14c).

Materiales y equipo

- Herramientas básicas.



Foto 6.13 Mantenimiento manual de rejillas



a) Deterioro de la compuerta por calidad del agua



b) Oxidación de la estructura metálica



b) Mecanismos sin mantenimiento preventivo (engrasado y pintura)

Foto 6.14 Deterioro de las estructuras

- Materiales de mantenimiento (pintura, resinas, grasas, etc.)
- Cuadrilla de personal.

c) Ejecución de los trabajos de acuerdo con el programa.

Procedimiento

- a) Inspección de campo para determinar las estructuras que requieren mantenimiento preventivo y correctivo.
- b) Elaborar un programa de mantenimiento con base en el presupuesto disponible.

6.6.2.6 Rehabilitación de obra civil

Causas

Deficiencias en la construcción (foto 6.15a).

Mala calidad de los trabajos.

Deterioro por impacto de maquinaria, vehículos y ganado (6.15b).



a) Registro de mantenimiento enterrado



b) Daño de la obra civil por vehículos

Foto 6.15 Deterioro de la obra civil de las estructuras

Influencia de las condiciones ambientales. Este caso se presenta cuando no se realizan con la frecuencia adecuada los trabajos de mantenimiento, de tal manera que, la estructura se deteriora a tal grado que no cumple con su función satisfactoriamente.

Materiales y equipo

- Herramientas básicas.
- Materiales de construcción (tabique, cemento, varillas, etc.).
- Retroexcavadora.
- Cuadrilla de personal.

Procedimiento

- a) Inspección de campo para determinar las estructuras que requieren rehabilitación.
- b) Elaborar un programa de mantenimiento o de rehabilitación con base en el presupuesto disponible.
- c) En el caso de los registros de mantenimiento enterrados (foto 6.13a) se debe excavar hasta encontrar la estructura, posteriormente realizar la sobrelevación hasta el nivel del

camino, para permitir la entrada de personal de mantenimiento de las obras.

6.6.2.7 Limpieza de dispositivos (válvulas)

Causas

- Deficiencias en la instalación del dispositivo.
- Mala calidad del agua (presencia de sedimentos, basura y malezas en la red entubada).

Materiales y equipo

- Herramientas básicas (pala, pico, etc.).
- Cuadrilla de personal.

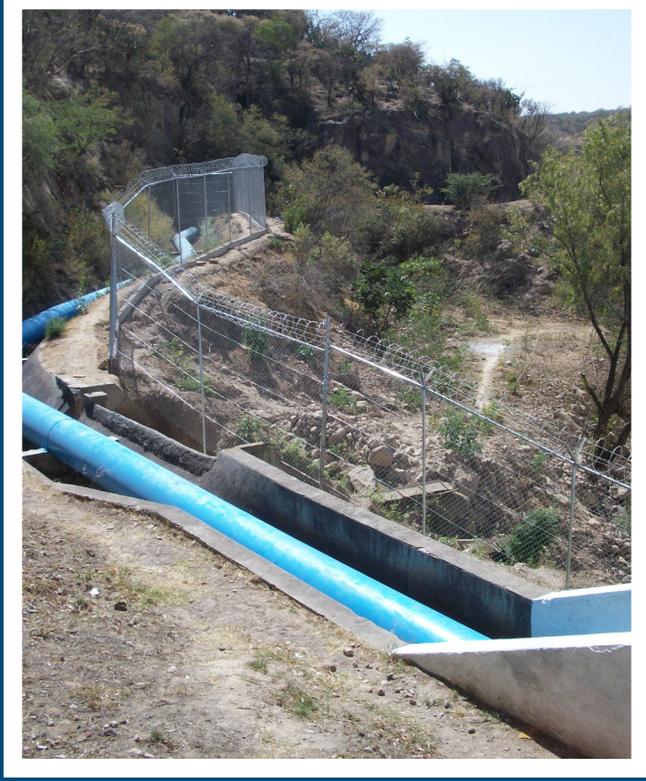
Procedimiento

- Inspección de campo para determinar las estructuras que requieren rehabilitación.
- Elaborar un programa de rehabilitación con base en el presupuesto disponible.
- Realizar los trabajos de limpieza necesarios (extracción de azolve, de maleza, etc.). Foto 6.16
- En caso de un alto deterioro, considerar el reemplazo.



Foto 6.16 Limpieza de azolve en una válvula de aire

Se considera necesario e importante que las decisiones para el cálculo de los costos de operación y mantenimiento tengan el suficiente sustento y calidad de la información.



7

Costos de operación y mantenimiento en redes Entubadas

Ing. José Ángel Guillén González

7.1 Generalidades

Es importante definir el concepto de costo de un servicio o producto para el caso de operación y mantenimiento de una red entubada de riego y diferenciarlo del precio de un servicio o producto en el mercado.

Las zonas de riego necesitan satisfacer el servicio de riego a los usuarios al mínimo costo. Se considera necesario e importante que las decisiones para el cálculo de los costos de operación y mantenimiento tengan el suficiente sustento y calidad de la información, para garantizar la optimización de los recursos económicos invertidos.

Para garantizar que las decisiones sean lo más acertadas y así poder integrar los costos unitarios de cada concepto de trabajo y/o actividad, se deben considerar tres aspectos importantes:

- Conocer cuáles son las consecuencias técnicas de la decisión.
- Evaluar las incidencias en los costos de la operación y mantenimiento.

Calcular el impacto en proporcionar o no el servicio de riego con oportunidad, suficiencia y la frecuencia requerida por la infraestructura que proporciona el servicio de riego a los cultivos.

El análisis de costos tiene las utilidades siguientes:
Sirve de base para calcular el cobro adecuado del servicio de riego.

- Conocer en qué acciones se gasta más para tener cuidado en su administración.
- Se utiliza para controlar los costos reales en comparación con los costos predeterminados (comparación entre el costo presupuestado con el costo realmente generado).
- Determina la parte de la zona de riego en la que más urgentemente se debe realizar medidas de racionalización de recursos humanos y materiales.
- Permite una acertada decisión en la adquisición de suministros (piezas para reparaciones o sustitución de la red de distribución) entre proveedores alternativos.

- Permite consensuar con los usuarios el pago por el servicio de riego y las condiciones en que se deberá proporcionar éste.
- Se puede auxiliar para la planeación de la operación y mantenimiento de la zona de riego.

De tal manera que el costo, es el requerimiento o esfuerzo económico que debe realizar el usuario para lograr un objetivo, en este caso, para la adecuada operación y mantenimiento de la red de distribución.

También es necesario precisar los siguientes conceptos aplicables para definir y caracterizar aspectos relacionados con el costo.

- **Desembolso:** Es un concepto de tipo financiero, que forma parte del manejo de dinero, está relacionado con los movimientos (ingresos y egresos) administrativos de caja de la zona de riego. Uno puede comprar una refacción o pagar un salario de personal mediante un pago en dinero (erogación), pero hasta que esa refacción o salario de personal sea incorporado al servicio de riego, no constituye un costo, es un desembolso.

Hay bienes que se compran y que se utilizan en la operación y mantenimiento de la red de distribución, pero que no se incorporan al servicio de riego, sino que se utilizan durante un tiempo para poder proporcionar el servicio de riego. Por ejemplo: la maquinaria, instrumentos de medición del agua y equipo, instalaciones, herramientas de campo, vehículos para el transporte del personal que hace el mantenimiento, etc.

En estos bienes es necesario considerar su amortización o depreciación, por su relación con su vida útil, el desgaste, la obsolescencia técnica, etc.; y se carga dicho importe en forma proporcional al servicio de riego. Esto constituye un costo, aunque el desembolso se hizo en el pasado.

La compra de una máquina o de una herramienta de trabajo generalmente demanda un fuerte desembolso inicial que, si fuera tenido en cuenta en ese momento para calcular los costos produciría una fuerte distorsión en los mismos.

- **La amortización:** Es el dinero que se debe reservar con el paso del tiempo, para renovar la maquinaria, equipo o infraestructura cuando se agote su vida útil. Generalmente este concepto no se toma mucho en cuenta en las zonas de riego de México, por lo que las cuotas por servicio de riego no son las reales y por lo tanto no son autosuficientes financieramente.

Se llaman activos a las propiedades, obras, construcciones, maquinaria, equipo, etc., que se destinan para hacer la operación y mantenimiento de la red entubada de distribución, es decir a las inversiones permanentes que no se destinan directamente para proporcionar el servicio de riego.

Los activos sufren una disminución de su valor con el tiempo, tanto por el uso a que están sujetos como la acción de los elementos naturales que los deterioran y aún por el hecho de quedar obsoletos cuando aparecen diseños o equipos más modernos y eficientes.

Es por eso que las zonas de riego necesitan considerar periódicamente una cantidad llamada amortización durante el tiempo que dure en buenas condiciones de servicio la maquinaria, equipo o las obras de entubamiento, a fin contar con el dinero suficiente para adquirir otro cuando el actual se haya deteriorado por su uso. Para calcular la amortización se toman en cuenta los siguientes elementos:

- Valor original del bien.
- Tiempo probable de uso (vida útil).
- Valor de rescate o deshecho.

La amortización, en términos generales se efectúa en los siguientes plazos:

- Edificios y construcciones: 20 años
- Maquinaria y equipo: 10 años
- Vehículos de transporte: 5 años
- Tuberías: De 30 a 50 años (depende del material).
- Piezas especiales: De 20 a 40 años (depende del material).
- Dispositivos: De 10 a 20 años (depende del material).

Para el cálculo de la amortización se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \frac{(Va - Vr)}{(H)(Ve)} \quad 7.1$$

Donde:

Va = Valor de Adquisición

Vr = Valor de Rescate (15% del valor de adquisición)

H = Horas de servicio por año (9 meses)

Ve = Vida económica*

- **La inversión:** Es el costo que se encuentra a la espera en el desarrollo de las actividades empresariales que permitirá con el transcurso del tiempo, conseguir lo que pretende la zona de riego.

• Tipos de costos

Es necesario clasificar los costos de acuerdo a las actividades de operación y mantenimiento en una zona de riego, de manera tal que posean ciertas características comunes para poder realizar los cálculos, el análisis y presentar la información que puede ser utilizada para la toma de decisiones.

Clasificación de los conceptos que generan los costos

- **Costos de operación y mantenimiento:** Son los que permiten que se realicen determinadas actividades.
- **Servicios personales:** Incluyen sueldos, honorarios, vacaciones, gratificación de fin de año, comisiones, pagos por conceptos de seguridad social del personal, etc.
- **Materiales y suministros:** Incluye material didáctico, material de impresión, alimentación de personas, refacciones, accesorios y herramientas menores, materiales de construcción, estructuras y manufacturas, material eléctrico, combustibles, lubricantes y adictivos, prendas de protección del personal, etc.
- **Servicios generales:** Incluye servicios telefónico, de energía eléctrica y de

agua potable; arrendamiento de locales, arrendamiento de maquinaria y equipo, arrendamiento de vehículos, servicios de informática, asesoría y capacitación, fletes y maniobras, intereses y otros servicios bancarios, seguros y otros impuestos, y derechos, mantenimiento y conservación de mobiliario y equipo, mantenimiento y conservación de bienes informáticos, mantenimiento y conservación de maquinaria y equipo, y mantenimiento y conservación de inmuebles, pasajes, viáticos, etc.

- **Bienes muebles e inmuebles:** Incluye equipo de administración, maquinaria y equipo, equipos de comunicación y telecomunicación, bienes informáticos, vehículos y equipo terrestre.

Clasificación de los costos según su grado de variabilidad

Esta clasificación es importante para la realización de estudios de los costos de operación y mantenimiento, así como para el control del ejercicio de los recursos financieros. Esta clasificación está vinculada con las variaciones o no de los costos, según los niveles de cada actividad en la operación y mantenimiento.

Costos fijos: Son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente de los servicios de riego proporcionados a los usuarios por la organización de usuarios. Se pueden identificar y llamar como costos de “mantener la zona de riego activa”, de manera tal que se realice o no la producción, se proporcione el servicio de riego o no se proporcione, dichos costos igual deben

ser solventados por la zona de riego. Por ejemplo: renta de local, amortizaciones o depreciaciones, seguros, impuestos fijos, servicios públicos de energía eléctrica, teléfono, agua potable y otros, sueldo y prestaciones sociales de los empleados, gerente técnico y otros.

En resumen los costos fijos son aquellos gastos que no aumentan o disminuyen, aun cuando haya cambios en los costos de operación y mantenimiento, es decir, aún cuando haya cambio en los servicios de riego establecidos por la organización de usuarios.

Costos variables: Son aquellos costos que varían en forma proporcional, de acuerdo al nivel de los servicios de riego establecidos por la organización de usuarios. Son los costos por proporcionar los servicios de riego. Por ejemplo: mano de obra directa adicional por tareas por turno, más materias primas directas, materiales e insumos directos, impuestos específicos, más papelería y servicios de comunicación y compensaciones al personal como tiempo extra y otros.

En resumen los costos fijos son aquellos gastos que ocurren como ya indicamos, aumentan o disminuyen de forma proporcional al número de servicios de riego por establecer.

Clasificación de costos según su asignación

Costos directos: Son aquellos costos que se asigna directamente a una unidad de producción, en este caso a un servicio de riego. Por lo general se asimilan a los costos variables.

Costos indirectos: Son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas áreas de trabajo de la organización de riego mediante algún criterio de reparto. En la mayoría de los casos los costos indirectos son costos fijos.

7.2 Estimación de costos (presupuestos) de operación y mantenimiento

El costo de operación son los gastos que se requieren para hacer la programación del riego y el manejo de la red de distribución y sus estructuras para proporcionar el servicio de riego a los usuarios a nivel de toma granja en una zona de riego.

Así mismo el costo de mantenimiento es para cubrir los gastos de las actividades preventivas o correctivas que se presentan en la red entubada de distribución, sus estructuras y/o dispositivos, así como de la maquinaria y equipo que se utiliza para estas acciones.

Para elaborar los presupuestos de los trabajos de conservación de las líneas de conducción, se definen primeramente los conceptos de trabajo y se determinan los correspondientes precios unitarios de acuerdo a las especificaciones y características de los trabajos, la disponibilidad de mano de obra, de maquinaria y de materiales, así como de los rendimientos.

De la misma manera se tiene que realizar para cada componente de la infraestructura hidroagrícola

de la zona de riego: Obra de cabeza, red de conducción, redes de distribución, etc. En el cuadro 7.1 se muestra un ejemplo del presupuesto o costos de la Unidad de Riego Catalán Berbera en Tixtla, Gro.

7.3 Precios unitarios

En el anexo 3 “Precios Unitarios” se muestran los conceptos de tuberías, piezas especiales, estructuras, dispositivos, obra civil, etc. relacionados con el entubamiento de redes en zonas de riego. Específicamente en el cuadro 7.2 se presentan los costos puntuales de los principales conceptos de trabajo detectados en algunas unidades y distritos de riego de México.

7.4 Estimación de la cuota de operación y mantenimiento

7.4.1 En función de la superficie

Se obtiene dividiendo los gastos de la zona de riego, sean anuales o semestrales, entre el área beneficiada, es decir:

$$C = \frac{P}{A} \quad 7.2$$

Donde:

C = Costo de operación y mantenimiento, \$/ha

P = Presupuesto del sistema, \$

A = Superficie beneficiada, ha

Por ejemplo, considérese una zona de riego con

Cuadro 7.1 Ejemplo de presupuesto

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U. (\$)	Costo (\$)
I. Obra de cabeza				
1.1 Pintura de compuerta y de mecanismo elevador	Lote	1	2,000.00	2,000.00
1.2 Engrase de vástago y mecanismo elevador	Lote	1	500.00	500.00
1.3 Reparación de compuerta y rejilla	Lote	1	4,000.00	4,000.00
:	:	:	:	:
Subtotal:				6,500.00
II. Tubería de conducción de acero				
2.1 Aplicación de pintura epóxica	Lote	1	15,120.00	15,120.00
2.2 Mantenimiento de válvulas de aire	Lote	1	2,000.00	2,000.00
:	:	:	:	:
Subtotal:				17,120.00
III. Red interparcelaria				
3.1 Mantenimiento o reposición de hidrantes	Lote	1	2,500.00	2,500.00
3.2 Mantenimiento o reposición de válvulas de aire	Lote	1	1,500.00	1,500.00
:	:	:	:	:
Subtotal:				4,000.00
IV. Personal de operación				
4.1 Canalero	Día	365	200.00	73,000.00
4.2 Ayudante general	Día	100	100.00	10,000.00
:	:	:	:	:
Subtotal:				83,000.00
V. Administración				
5.1 Apoyo secretarial	Mes	12	3,000.00	36,000.00
5.2 Escritorio	Pza	1	3,000.00	3,000.00
:	:	:	:	:
Subtotal:				39,000.00
VI. Gastos de representación				
6.1 Directiva	Mes	12	6,000.00	72,000.00
6.2 Pasajes	Mes	12	1,200.00	14,400.00
:	:	:	:	:
Subtotal:				86,400.00
Total:				236,020.00

Fuente: Directiva de la Unidad de Riego Catalán Berbera en Tixtla, Gro.

Cuadro 7.2 Costos de mantenimiento

Concepto de trabajo	Frecuencia promedio	Personal que se ocupa	Equipo o maquinaria	Costos (miles \$)
Tuberías				
Reparación de fugas	Variable	Dos peones	Herramienta básica, revolvedora.	5,000.00
Cambio de tubería por rotura o colapso	Variable	Seis peones	Retroexcavadora	3,000.00
Desazolve	Cada 6 meses	Un canalero	Se realizar con la operación de la estructura de regulación	0.00
	Cada 4 meses	50 Peones	Retroexcavadora Camión Vactor	13,000.00
Taponamiento	Cada 6 meses	Cuadrilla de peones	Varillas de 3/4"	1,000.00
Aplicación de pinturas o resinas	Variable	Cuadrilla de peones	Herramienta básica	1,000.00
Estructuras y dispositivos				
Cambio de empaques	Variable	Dos peones	Herramienta básica	1,000.00
Cambio de componentes	Anual	Dos peones	Ninguna	1,000.00
Sustitución de dispositivos	Anual	Dos peones	Retroexcavadora	5,200.00
Desazolve	Cada 4 meses	Dos peones	Palas, cubetas, retroexcavadora	2,000.00
Extracción de basura y/o maleza	Cada 4 meses	Dos cuadrillas	Retroexcavadora Camión de volteo	6,000.00
Aplicación de pintura, resinas y engrasado	Anual	Dos peones	Ninguna	10,000.00
Rehabilitación de la obra civil	Variable	Una brigada	Retroexcavadora Herramientas básicas	2,000.00
	Variable	Dos peones	Herramientas básicas	1,000.00

Fuente: Recorridos de campo y entrevistas con personal encargado de la operación y mantenimiento de las redes entubadas de UR y DR

una superficie total 5,000 hectáreas, en donde se estima que el costo de operación y mantenimiento del orden de \$1'480,000.00, entonces el costo por hectárea será:

$$C = \frac{P}{A} = \frac{1'480,000}{5,000} = \$296/ha \quad 7.3$$

Por tanto, el usuario que recibe el servicio de riego deberá pagar \$296.00/ha, para cubrir los costos de operación y mantenimiento de la zona de riego.

7.4.2 En función del volumen de agua utilizado

Se obtiene al dividir los costos de la zona de riego entre el volumen neto total que pretende utilizarse. La ecuación es la siguiente:

$$C = \frac{P}{V} \quad 7.3$$

Donde:

C = Costo de operación y mantenimiento, \$/m³

P = Presupuesto del sistema, \$

V = Volumen neto total, m³

Por ejemplo, considérese una zona de riego con una superficie total 80,000 hectáreas en donde se dispone de un volumen neto de 50,400,000.00 m³. Se estima que el costo de operación y mantenimiento es del orden de \$1'250,000.00, entonces el costo por m³ será:

$$C = \frac{P}{V} = \frac{1'250,000}{50,400,000} = \$0.025/m^3$$

Por tanto, el usuario que recibe el servicio de riego deberá pagar \$0.025/m³, para cubrir los costos de operación y mantenimiento de la zona de riego. También puede expresarse en función del millar de metros cúbicos, es decir, \$ 25.00 por millar de m³ de agua.

Otra forma de cobrar los costos es por tiempo, tarifa que se utiliza principalmente cuando se dispone de equipos de bombeo en la fuente de abastecimiento del área de riego. Por ejemplo, si se considera que se tiene una bomba de pozo profundo que extrae 120 l/s, opera 4,000 horas al año y cuyos costos son:

Salarios:	\$12,000.00
Energía eléctrica:	\$54,000.00
Amortización:	\$56,000.00
Intereses y seguro:	\$22,400.00
Mantenimiento:	\$28,000.00
Total:	\$172,400.00

Se tiene que el costo por hora efectiva de bombeo es:

$$C = \frac{P}{T} = \frac{172,400}{4,000} = \$43.1/he$$

Si el costo anterior se divide entre el gasto con sus respectivas conversiones de unidades, se tendría que el costo volumétrico sería de \$ 100.00 por millar de m³.

Anexo 1. GLOSARIO

Acoplamiento: Es la unión de dos piezas, que puede lograrse por varios medios, cuya característica principal es la hermeticidad.

Aislamiento: Es una reacción química en la cual ciertas sustancias químicas (agentes aislantes) limitan a otras sustancias químicas, particularmente iones metálicos de manera que dichas sustancias químicas no reaccionan más tiempo. Los agentes aislantes son usados para prevenir la formación de precipitados o de otros componentes.

Ambiente: Son las condiciones que rodean los materiales y que influyen en el sistema de distribución de agua.

Anillo de hule: Elemento de sello en la unión espiga-campana.

Averías: En el sentido de mantenimiento, una avería es un estado que afecta la forma inadmisiblemente la capacidad de funcionamiento, o que puede conducir a que eso ocurra.

Campana: Es la parte de unión cementada o integral al tubo o a la conexión, la cual recibe la espiga y aloja al anillo que sirve como elemento de sello.

Casquillo: Es la parte de unión integrada en la conexión que

Mantenimiento: Es el conjunto de medidas para preservar o restablecer el estado ideal de la obra o estructura.

Cavitación: Formación en el interior de un líquido, de cavidades llenas de vapor que se producen cuando la presión del líquido se hace inferior a la tensión de vapor.

Compactar: Es la acción de consolidar un terreno por medio de golpes, generalmente humedeciéndolo.

Conexiones: Partes componentes de una línea de abastecimiento, cuya función es unir y en algunos casos cambiar de dirección, por ejemplo: coples, codos, tes, entre otras.

Corrosión cavitación: Áreas de baja presión debido a la cavitación puede conducir a la formación de burbujas de nitrógeno, oxígeno o vapor de agua. El colapso de estas burbujas cerca o sobre la superficie del material producirá presiones locales muy altas, de manera que química y mecánicamente atacará al material y tenderá a formar incrustaciones.

Corrosión erosión: Es causada por la presión de sólidos y gases arrastrados a alta velocidad.

Corrosión esfuerzo: Ocurre en áreas de esfuerzos similares, tales como conexiones de tubería roscada.

Corrosión picadura: Es la formación de picaduras debido al ataque ácido y/o el reemplazo del ion cloro de las capas de oxígeno protectoras en superficies metálicas.

Corrosión (general): Deterioración de un material por reacción con su ambiente.

Corrosión de suelo: Corrosión de materiales en el subsuelo resultado de las condiciones del suelo.

Cubrir: Aplicación de un adherente o material mecánicamente garantizado entre estructuras metálicas y su ambiente electrolítico.

Curado: Es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto u otro material en edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las que fue diseñada la mezcla. El curado empieza inmediatamente después del vaciado (colado) y el acabado, de manera que el material pueda desarrollar la resistencia y durabilidad deseada.

Diámetro Nominal (Dn): Es una medida de la clasificación de la abrazadera y corresponde al diámetro nominal del tubo de la red de distribución de agua sobre el cual se va a instalar.

Diámetro nominal de la conexión: Es una medida de clasificación de la conexión correspondiente al diámetro nominal del tubo y/o conexión a los cuales va a unir.

Diámetro nominal de un tubo de PVC (sistema métrico): Es una medida de clasificación correspondiente al diámetro exterior, sobre cuyo valor se aplica las tolerancias.

Diámetro nominal de un tubo de PVC (sistema inglés): Llamado también medida nominal, es la característica que sirve para nombrar a los tubos.

Encamisado: Protección especial que se le hace a la tubería de PVC, introduciéndola dentro de otra, que presenta características de resistencia mecánica diferentes.

Encamisado en polietileno: 8 mil (0.008 in) de película, colocada alrededor de la tubería de acero dúctil para prevenir la corrosión.

Espiga: Parte extrema de un tubo o conexión con chaflán, la cual se introduce a la campana.

Estanqueidad: Es el grado de resistencia a la filtración del agua que presenta la tubería, tanto de afuera hacia adentro como a la inversa.

Falla: Es cualquier desperfecto que le ocurra a la probeta durante las pruebas de presión y se consideran como fallas las siguientes:

Reventamiento.- Es una rotura en la abrazadera con la disminución inmediata de presión y pérdida continua de agua.

Fuga.- Es la salida de agua en la unión abrazadera-tubo, válvula y/o conexiones.

Factor de servicio: Es la relación que existe entre la presión de reventamiento y la presión de trabajo de una tubería.

Golpe de ariete: Sobrepresión producida por cambio de velocidad de fluido, que se presenta generalmente cuando se acciona una válvula, se arranca o se para una bomba.

Inspección: Medidas para determinar y evaluar el estado real.

Llave: Dispositivo que sirve para abrir, cerrar o regular el paso de un fluido.

Mantenimiento preventivo: Conjunto de medidas para preservar el estado ideal de una obra, maquinaria o dispositivo.

pH: El ión de hidrógeno activado de un medio. Los rangos de pH son de 0 a 14. Un pH menor de 7 es ácido, 7 es neutral, y mayores de 7 es alcalino.

Partes por millón (ppm): Es el número de unidades de peso o de volumen de un constituyente presente con cada una de las unidades por millón de la solución o mezcla. Formalmente usado para expresar los resultados de la mayoría de análisis de agua y aguas residuales, pero recientemente reemplazado por la razón miligramos por litro. Para los análisis de agua potable, las concentraciones en ppm y mg/L son equivalentes.

Polimerización: Es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Presión: Acción y efecto de apretar o comprimir. Fuerza que ejerce un cuerpo sobre cada unidad de la superficie. La presión de los gases y de los líquidos (debido a los choques de las partículas componentes contra las paredes) se mide por medio de manómetros.

Presión máxima de trabajo: Es la presión interna máxima que el fluido debe ejercer continuamente sobre las paredes del tubo sin que éste presente fallas.

Presión de prueba de campo: Es la presión interna a la que se somete una tubería instalada, para probar su estanqueidad, y que generalmente es mayor que la presión de trabajo del sistema.

Presurizar: Mantener a una presión normal en el interior de una tubería.

Relleno apisonado: Es aquel que constituye la primera parte del relleno de una zanja, como mínimo 30 cm, encima del lomo del tubo, hecho en capas compactadas de tierra cernida o libre de piedras.

Relleno por volteo: Es aquel que constituye la última capa de relleno de una zanja.

Reparación: Es el conjunto de medidas para restablecer el estado ideal en caso de averías localmente limitadas.

Saneamiento: Procedimiento para restablecer el estado óptimo de las obras o sus dispositivos por medio de reparaciones, manteniendo los materiales básicos existentes.

Renovación: Procedimientos para construir nuevas obras, las cuales van a cumplir las funciones de las obras antiguas que han quedado fuera de uso. Esto puede realizarse in situ (sustitución del material existente), o en otro lugar (el material existente queda fuera de uso).

