



MANUAL

► SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE AGUA PARA LA REGIÓN ALTOANDINA

Agua

CIPAF

► IPAF Región NOA

Sistemas de conducción de Agua para la REGIÓN ALTOANDINA

Primera Edición

COLECCIÓN AGRICULTURA FAMILIAR - 12

Manual. Sistemas de conducción de agua para la región altoandina

UNIDADES PARTICIPANTES:

CIPAF

Ipaf Región NOA

CIPAF - Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar

TE: +54 11 4339 0600 interno 5184

cipaf@correo.inta.gov.ar

www.inta.gov.ar

 /cipafINTA Agricultura Familiar CIPAF

Chile 460 (C1098AAJ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires –República Argentina

INTA

Ediciones INTA

República Argentina – Septiembre de 2013

2000 ejemplares

Se autoriza su reproducción total o parcial citando la fuente.

1a ed. - Buenos Aires: Ediciones INTA, 2013. 20X28 cm.

García, Jose

Sistemas de conducción de agua para la región altoandina / Jose García ; con prólogo de Diego Nicolás Ramilo y Damián Alcoba. - editor literario, Claudia Palioff - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ediciones INTA, 2013.

224 p. : il. ; 20x28 cm. (Agricultura Familiar, 12 / editoras Claudia Palioff y Cora Gornitzky)

E-Book.- (Agricultura familiar)

ISBN 978-987-521-430-9

1. Agua. 2. Agricultura Familiar. 3. Altamontaña. I. Ramilo, Diego Nicolás, prolog. II. Damián Alcoba, prolog. III.

Claudia Palioff, editor literario IV Título

CDD 630

Fecha de catalogación: 04/09/2013

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

Presidente

Ing. Agr. Carlos Casamiquela

Vicepresidente

Ing. Agr. Francisco Anglesio

Director Nacional

Ing. Agr. Eliseo Monti

Director CIPAF

Ing. Agr. (MsC) José Catalano

Director (Int.) IPAF Región PATAGONIA

Dr. Marcelo Pérez Centeno

Director (Int.) IPAF Región CUYO

Ing. Agr. Alfredo Romano

Director (Int.) IPAF Región NEA

Dra. Gladis Contreras

Director IPAF Región NOA

Med. Vet. Damián Alcoba

Director IPAF Región PAMPEANA

Dr. Gustavo Tito

Coordinación Editorial

Magister Claudia Paliuff - CIPAF

Lic. Cora Gornitzky - IPAF Región Pampeana

PRÓLOGO

Durante el transcurso de los últimos años asistimos a un proceso de importante visibilización de la agricultura familiar, tanto a nivel mundial, regional como nacional. La necesidad de reconocer y valorar las contribuciones que este sector realiza en términos de desarrollo en el ámbito rural, periurbano, urbano y su impacto en la economía, ha quedado demostrada de manera contundente y permitió identificar además sus principales condicionantes.

La implementación de diferentes instrumentos de política pública, desde un Estado presente y activo frente a los problemas sociales más trascendentes y propios de la época, como el desempleo y la producción de alimentos para garantizar la seguridad y la soberanía alimentaria, propiciaron la implementación de estrategias complementarias orientadas a posicionar al sector de la *agricultura familiar* en Argentina, como un actor trascendental del sector agroalimentario nacional.

La necesidad de atender aspectos importantes en cuanto al desafío planteado, compromete a las instituciones del Estado en la responsabilidad de abordar y dar solución a problemáticas históricas sumamente sensibles y estructurales tales como: *el acceso al agua, el acceso y tenencia de la tierra, el desarrollo y acceso a tecnologías apropiadas* para la producción y el mejoramiento de las condiciones del hábitat rural y las dificultades para la comercialización de la producción, entre otros.

Con esta visión se desarrollan acciones y procesos de innovación orientados a superar las problemáticas planteadas y contribuir al desarrollo sustentable de un sector que a partir de su fortalecimiento dinamiza territorios, produce en armonía con el ambiente, acerca alimentos de calidad, y otorga sustentabilidad e inclusión a las tramas productivas y comerciales, propiciando el tan necesario arraigo rural.

En el caso particular del *agua* y la AF, se destaca la relevancia de este recurso no solo para las actividades agrícolas, sino ya desde un enfoque integral y con el mismo énfasis, en sus implicancias sociales, ambientales y su impacto en el desarrollo rural.

Este segundo manual cuya obra se completa en una serie de 4 trabajos relacionados y complementarios, da cuenta de

la intencionalidad clara y manifiesta de contribuir al abordaje y solución de una problemática que requiere del esfuerzo conjunto de diferentes actores sociales e institucionales para hacer realidad la tan ansiada accesibilidad al recurso.

El INTA a través del Instituto de Investigación y Desarrollo tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar región NOA, pone al alcance de los diferentes agentes del desarrollo rural, esta herramienta, que de manera práctica y accesible se propone acercar diferentes alternativas tecnológicas de conducción para sistemas de abastecimiento de agua de la región andina del Noroeste Argentino. Este trabajo está basado en años de experiencias de investigación y extensión desarrolladas por el INTA y otras instituciones de desarrollo, que rescata e integra de manera particular la singular mirada de productores familiares que construyen de manera ancestral un conocimiento de gran valor y significado para gestionar la innovación en los territorios. Esta mirada compartida por la Gerencia de Gestión de Programas de Desarrollo Rural –PROFEDER- del INTA, reaviva el desafío de orientar las actividades de I&D institucionales en la profundización de acciones que propicien la inclusión y mejoramiento de las condiciones de vida y producción de los agricultores.

Se trata, finalmente, de un aporte sobre una temática de especial interés, urgencia y sensibilidad, pensado desde su génesis como un tema que exige los mayores esfuerzos de integración y articulación de los actores de la región, pero fundamentalmente de un renovado compromiso institucional que realiza el INTA en virtud de responder a una demanda históricamente sentida, asumiendo una responsabilidad ineludible del Estado para garantizar el ejercicio pleno de un derecho fundamental como lo es, el acceso al agua en sentido amplio.

Damián Alcoba
Director IPAF Región NOA
CIPAF - INTA

Diego Ramilo
Gerente de Gestión de Programas de Desarrollo Rural
Coordinación Nacional de Transferencia y Extensión
INTA

Sistemas de conducción de Agua
para la REGIÓN ALTOANDINA

Autor

José García¹

Edición

Claudia Palióff²

Corrección técnica

Diego Ramilo³

Diseño Gráfico

Verónica Heredia

Corrección y estilo

Dolores Trillo

Fotografía

Banco de Imágenes de diversas unidades del INTA
Subsecretaría de Agricultura Familiar

Colaboradores

Carlos Yañez⁴

Ernesto Abdo⁵

José Caliva⁶

Juan Pablo Zamora⁷

Luis Franco⁸

Luis Narmona⁹

Ricardo Calizaya¹⁰

Verónica Ochoa¹¹

*Desarrollo del Software*¹²

Programador Fernando Arraya¹³

Idea original José García y Carlos Yañez

¹ IPAF Región NOA - INTA

² CIPAF - INTA

³ Gerente de Gestión de Programas de Desarrollo Rural - INTA

⁴ EEA Salta - INTA

⁵ Subsecretaría de Agricultura Familiar Delegación Salta - MAGyP

⁶ IPAF Región NOA - INTA

⁷ IPAF Región NOA - INTA

⁸ Ingeniero Civil. PERTT - I SRL. Tarija (Bolivia)

⁹ Subsecretaría de Agricultura Familiar Delegación Córdoba

¹⁰ IPAF Región NOA - INTA

¹¹ Subsecretaría de Agricultura Familiar Delegación Catamarca

¹² Copyright INTA

¹³ EEA Salta - INTA



Índice

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ALTOANDINOS DE CONDUCCIÓN DE AGUA | 14 |
| 2. ELEMENTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONDUCCIÓN | 20 |
| 3. TOMA DE DATOS EN TERRENO: CAUDALES, DESNIVELES Y DISTANCIAS | 24 |
| 3.1 Cálculo de caudales | 25 |
| 3.1.2 Medición de caudal a partir de la fuente (oferta de agua) | 26 |
| A. Método volumétrico | 27 |
| B. Método por medición de la velocidad del agua y la sección (método del flotador) | 28 |
| 3.1.3 Estimación de la demanda de agua | 32 |
| A. Demanda de agua para consumo del hogar | 35 |
| B. Demanda de agua para la agricultura (huertas, frutales, almacigos) | 35 |
| C. Demanda de agua de consumo para animales | 37 |
| D. Estimación de la demanda total de agua | 40 |
| E. Caudal de diseño en canales para riego | 42 |
| 3.2 Relevamiento de datos de desniveles y distancias en el terreno | 45 |
| A. Nivel de Manguera | 46 |

Índice

| | |
|---|-----------|
| B. Nivel "A" | 53 |
| C. Nivel Óptico | 60 |
| D. Uso del navegador GPS y Google Earth | 66 |
| 4. SISTEMA DE CONDUCCIÓN MEDIANTE TUBERÍAS | 68 |
| 4.1 Dimensionamiento del sistema de conducción mediante tuberías | 69 |
| 4.1.1 Determinación del diámetro de la tubería | 72 |
| A. Cálculo de las pérdidas de carga en el sistema | 72 |
| B. Cálculo del diámetro de la tubería con el uso de tablas | 79 |
| C. Cálculo del diámetro de la tubería mediante el Programa DISCAN | 80 |
| 4.1.2 Selección de la tubería de acuerdo a su resistencia | 83 |
| 4.2 Tipos de materiales utilizados para la conducción en tuberías | 84 |
| A. Características de las tuberías de PVC | 84 |
| B. Características de las tuberías de polietileno | 86 |
| C. Caños de polipropileno | 89 |
| 4.3 Accesorios para la conducción por tuberías | 91 |
| 4.4 Instalación de la tubería | 101 |
| A. Excavación de la zanja | 101 |
| B. Colocación de la tubería | 103 |
| C. Tapado de la tubería | 106 |
| D. Situaciones particulares | 107 |
| 4.5 Flujo en tuberías | 110 |
| 4.5.1 Sistemas con flujo libre | 110 |
| 4.5.2 Sistemas con flujo a presión | 117 |
| 4.6 Obras complementarias en pasos de quebradas | 125 |
| 4.6.1 Puentes simples | 126 |
| 4.6.2 Puentes colgantes | 131 |

Índice

| | |
|---|-----|
| 5. SISTEMA DE CONDUCCIÓN MEDIANTE CANALES | 140 |
| 5.1 Definición y clasificación de canales | 141 |
| 5.2 Diseño de la infraestructura de conducción por gravedad mediante canales | 143 |
| A. Caudal de diseño | 143 |
| B. Pendiente | 144 |
| C. Rugosidad de las paredes | 145 |
| D. Velocidad del agua en los canales | 146 |
| 5.3 Elementos en el diseño de canales | 147 |
| 5.4 Dimensionamiento de los canales | 153 |
| A. Diseño mediante cálculos manuales | 153 |
| B. Diseño mediante el uso del programa DISCAN | 156 |
| 5.5 Construcción de canales | 159 |
| 5.5.1 Recorrido y marcación de la traza del canal | 159 |
| 5.5.2 Excavación | 162 |
| 5.5.3 Revestimiento de los canales | 163 |
| A. Revestimiento de hormigón | 164 |
| B. Revestimiento de piedra calzada con junta de cemento o piedra emboquillada | 175 |
| C. Juntas de dilatación en canales | 184 |
| 5.6 Obras complementarias para la conducción de agua por canales | 185 |
| A. Obras para sortear un desnivel en el terreno | 185 |
| B. Obras para derivación del agua | 190 |
| C. Puentes | 194 |
| D. Sifones invertidos | 195 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 196 |

Índice

| | |
|--|-----|
| 7. ANEXOS | 198 |
| Anexo 1: Período de diseño: estimación de la demanda de agua a futuro de la población, ejemplo de caso..... | 199 |
| Anexo 2: Caudales máximos y mínimos, por diámetro de tubería, para distintas velocidades | 201 |
| Anexo 3: Ejemplos de formulas para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías..... | 202 |
| Anexo 4: Pérdidas de carga por metro lineal en tuberías | 203 |
| Anexo 5: Longitudes equivalentes. Valores de pérdida de carga (en metros) según los accesorios del sistema por tuberías..... | 204 |
| Anexo 6: Cálculo de diámetro de tubería a partir de las pérdidas de carga | 205 |
| Anexo 7: Cálculo del diámetro en la tuberías con el uso de tablas | 211 |
| Anexo 8: Cálculo de Z en taludes | 219 |
| Anexo 9: Cálculo manual de la sección en un canal rectangular | 220 |
| Anexo 10: Cálculo manual de la sección en canal trapecial | 224 |

INTRODUCCIÓN

Para la agricultura familiar, un sistema de abastecimiento de agua es tanto la infraestructura, como los acuerdos de gestión, operación y mantenimiento que establecen los usuarios del sistema y que permiten el acceso equitativo al agua.

Al momento de diseñar el sistema nos encontraremos con tareas vinculadas a la gestión (planificación, acuerdos, búsqueda de financiamiento) y con actividades técnicas necesarias para dimensionar, diseñar y construir la infraestructura.

Los componentes de la infraestructura de un sistema de abastecimiento de agua son:

- » Captación.
- » **Conducción.**
- » Almacenamiento.
- » Distribución.

Este manual, dirigido principalmente a técnicos y productores de la región altoandina del NOA, aporta elementos para orientar la discusión y el diseño de la conducción por gravedad de un sistema de abastecimiento de agua.

La infraestructura de conducción es la encargada de transportar el agua desde la captación hasta su almacenamiento y/o distribución. Mediante la conducción el agua se distribuye a los sitios donde será almacenada y utilizada, ya sea en viviendas, cultivos o bebederos para animales.

Pero además, es en la conducción donde normalmente se plasman los acuerdos comunitarios en cuanto al uso, regulación y distribución del agua. Estos acuerdos luego se materializan en válvulas, compuertas, reservorios, entre otros componentes del sistema.

Los sistemas de conducción están constituidos por canales y/o tuberías, como así también por obras complementarias (partidores, cámaras rompecarga, puentes) y accesorios (válvulas de regulación, válvulas de purga, etc.) que aseguran el funcionamiento y operación del sistema.

En los capítulos siguientes abordaremos los elementos generales de un sistema de conducción, distintas metodologías para la obtención de datos en terreno, aspectos de diseño y diversas herramientas prácticas que faciliten el trabajo en la comunidad.



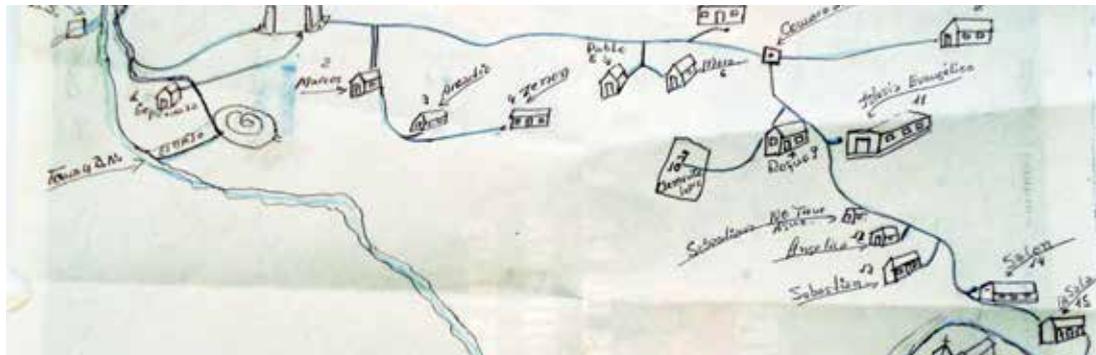
*Caracterización de los sistemas
altoandinos **de conducción de agua***

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ALTOANDINOS DE CONDUCCIÓN DE AGUA

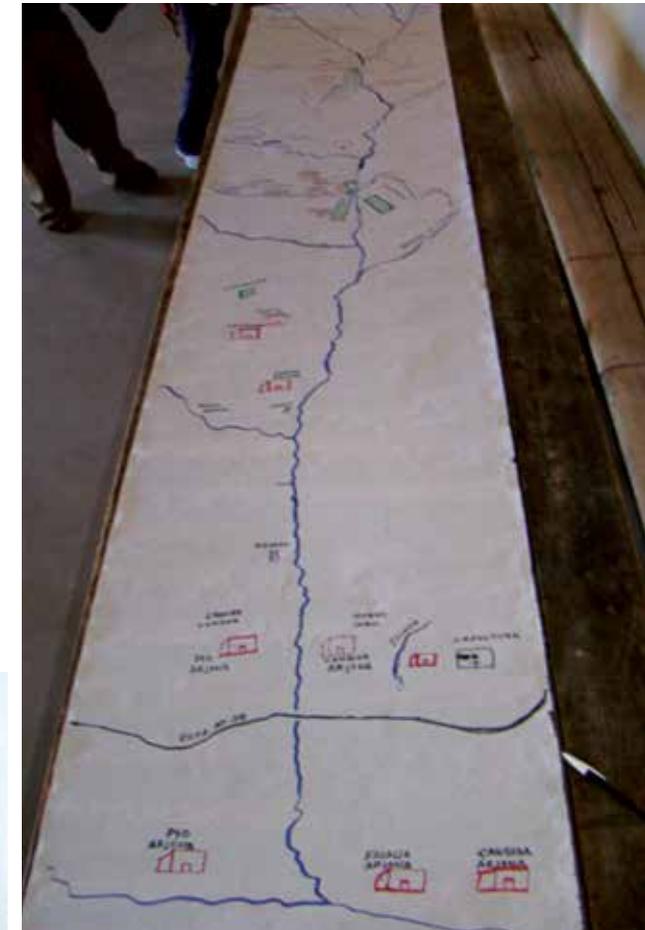
Podemos encontrar gran diversidad de sistemas de abastecimiento de agua en el NOA. Los sistemas que se describen en este manual están relacionados con experiencias de trabajo en comunidades rurales de las regiones de Quebrada de Humahuaca y Valles de Altura de Jujuy, Puna de Salta, Jujuy y Catamarca y Valles Áridos de Salta.

En general, las poblaciones altoandinas asentadas en montaña se caracterizan por estar distribuidas en forma dispersa en el territorio. Los núcleos familiares están muy distanciados entre sí y siempre se vinculan a una fuente de agua, sea ésta superficial o subterránea. En estas situaciones es común encontrar conducciones de agua de 5 a 15 kilómetros de extensión que involucran pocas viviendas distanciadas entre sí. En situaciones de fuerte aislamiento geográfico también existen sistemas de abastecimiento de agua unifamiliares.

En algunos casos, los hogares y parcelas de cultivos se encuentran relativamente agrupados, lo que permite desarrollar sistemas de conducción más sencillos con un único tramo desde la captación, sin distribuciones intermedias, que lleva el agua en forma directa a un almacenamiento establecido estratégicamente, para luego ser distribuida en cortas distancias a los distintos usuarios.



Mapa realizado por la Comunidad donde los núcleos familiares se encuentran medianamente agrupados. Refugio, Salta.



Mapa realizado por la Comunidad para el diseño del sistema de abastecimiento de agua donde las viviendas se encuentran distribuidas en forma dispersa. Urcuro, Salta.

En la mayoría de los sistemas andinos, el agua se traslada aprovechando la fuerza de gravedad. Esto ocurre por las características del relieve de marcadas pendientes, donde la fuente de agua o captación se encuentra a mayor altura respecto a los sitios de uso, aprovechando los desniveles naturales del terreno para conducir el agua. A éstos se los llama sistemas de conducción de agua gravitatorios, ya que no requieren el aporte de energía externa para su funcionamiento (bombeo).

Muchos de los proyectos de abastecimiento de agua de la región altoandina tienen como objetivo garantizar el uso múltiple del agua. Como esta situación incluye el uso doméstico es necesario asegurar la inocuidad del agua para consumo humano.

En este tipo de sistemas, los caudales en general son bajos y los terrenos tienen pendientes importantes, por lo que la conducción se resuelve con diámetros de **tubería** de no más de 75mm (3 pulgadas).

Otra forma de conducir el agua es a través de **canales** y **acequias**¹. En las comunidades rurales los canales se destinan principalmente al transporte de agua para riego.

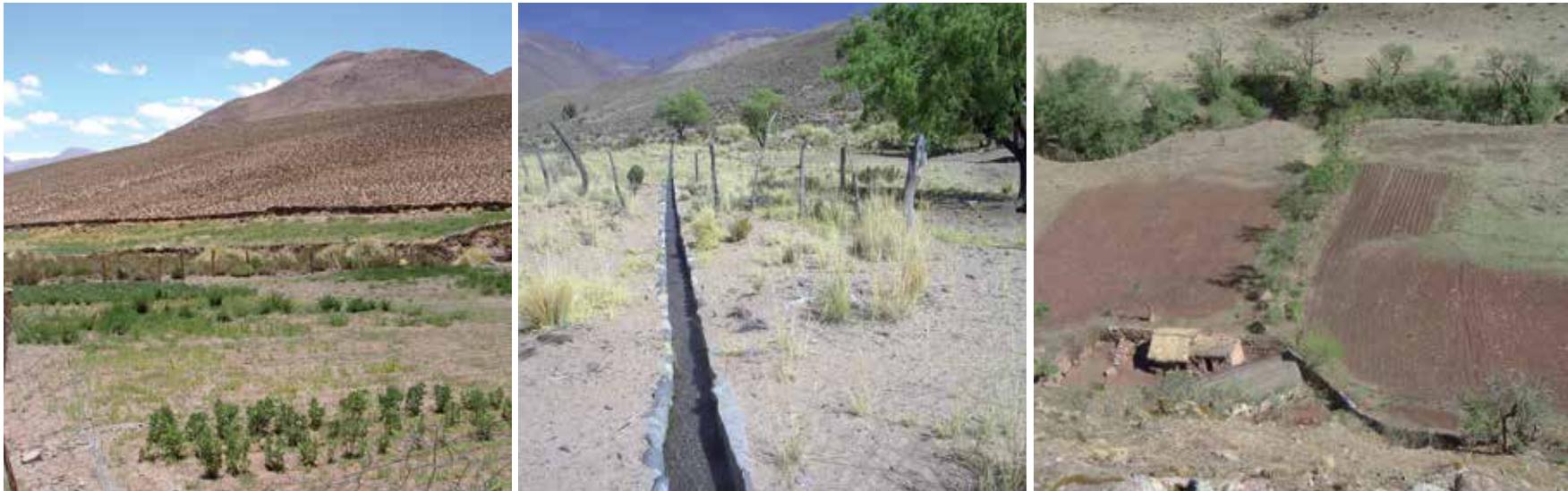


Transporte de materiales para Proyectos de Abastecimiento de Agua en Comunidades de los Valles Orientales de Tilcara, Jujuy.

¹ Si bien el término acequia suele utilizarse para hacer referencia a canales internos o parcelarios, en este caso también referimos a pequeños canales no revestidos (o de tierra) aunque sean externos a la parcela.

En la región altoandina del NOA, podemos encontrar sistemas de riego utilizados por pocas familias, con caudales de 10 a 50 l/s (litros por segundo), con parcelas de superficie reducida, de un cuarto a 4 hectáreas por productor. Muchos de estos sistemas están conformados por acequias o canales simples de tierra. Suelen recorrer amplias distancias debido a que las parcelas de producción muchas veces no son consecutivas o están alejadas unas de otras, existiendo varios kilómetros de distancia entre parcelas de un mismo sistema.

Este tipo de acequias presenta el inconveniente de generar grandes pérdidas de agua por infiltración (pierden hasta el 60% del agua conducida), dependiendo de la longitud de la conducción y de la estructura y composición del suelo.



Muchos de los proyectos que han involucrado el revestimiento de canales tienen como característica el recorrido de largas distancias para regar parcelas dispersas y de poca superficie.

En muchos sistemas comunitarios aún se mantienen derechos de riego regidos por usos y costumbres ancestrales, cuya asignación de agua a veces no se condice con la necesidad actual de riego de acuerdo a la superficie cultivada por cada productor.

A modo de ejemplo, podemos encontrar productores que de acuerdo a sus derechos ancestrales cuentan con riego

durante todo un día, y otros que sólo disponen de algunas horas o de unos pocos minutos para regar, aunque compartan el mismo sistema y cultiven una superficie similar.

En otros casos, encontraremos sistemas de riego comunitarios con un número importante de productores que manejan mayores caudales, y que organizados bajo alguna figura como Consorcios o Juntas de Regantes, administran el agua mediante acuerdos, derechos y obligaciones.



Organización de los turnos de riego. Comunidad Cabrería, Salta.



Canales de tierra o acequias para el riego parcelario.



En estas comunidades, la mayoría de los proyectos ejecutados para mejorar los sistemas de riego se centran en la impermeabilización de acequias preexistentes y en la construcción o reparación de obras complementarias (puentes, desarenadores, partidores, etc.).

Por lo general, la impermeabilización se realiza con piedra (material muy común en la región) calzada y rellenadas sus juntas o uniones con mortero de cemento, o mediante la instalación de tuberías, cuando los caudales y los costos lo permiten.

Obviamente, entre ambas situaciones (piedra con junta calzada o tubería) hay diferencias fundamentales en cuanto a costos y tiempos de ejecución. Igualmente, pueden encontrarse sistemas mixtos de conducción, donde se utiliza tuberías y canales de forma combinada.

Los sistemas de abastecimiento de agua en comunidades altoandinas se caracterizan por:

» Cuestiones topográficas o de relieve que permiten diseñar sistemas gravitatorios.

» Poseer bajos caudales, estar formados por pocas familias, pocos animales y pequeñas superficies de riego.

» El uso múltiple del agua: un mismo sistema abastece de agua para consumo doméstico, bebida para animales menores, riego parcelario y de pequeños huertos.

» Distribuciones dispersas, que implican sistemas de conducción de amplias longitudes para pocas familias.



Impermeabilización de acequias mediante piedra calzada y junta de cemento.

*Elementos generales
para el diseño de los
sistemas de conducción*



2. ELEMENTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONDUCCIÓN

En los sistemas de abastecimiento de agua por gravedad, la conducción se clasifica de acuerdo a dos tipos:

- » Sistemas de flujo libre
- » Sistemas a presión

Tabla 1: Tipos de sistemas de abastecimiento de agua gravitatorios.

FLUJO LIBRE

La presión del sistema es la del aire o atmosférica. Es el caso de sistemas con canales abiertos y también tuberías que trabajan sin estar completamente llenas. El agua conducida por el sistema está en contacto con el aire, por lo tanto la conducción es de "flujo libre".



Conducción a 'flujo libre' mediante canales.

SISTEMAS A PRESIÓN

La conducción es mediante tuberías que trabajan a sección completamente llena, generándose por ende una presión igual o superior a la atmosférica².



Sistema a presión mediante tuberías.

Para diseñar la infraestructura de conducción, necesitamos conocer una serie de elementos o datos de campo que nos permitan dimensionar y asegurar el transporte del agua en las cantidades requeridas.

² La **presión atmosférica** es la presión que ejerce el aire sobre la tierra y equivale a 1 atmósfera, que es igual a 101.325 Pascales. De modo tal que $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$. A los fines de nuestro interés, $1 \text{ atm} = 10 \text{ metros de columna de agua} = 1 \text{ kg/cm}^2$, lo que representa en el terreno 10 metros de desnivel.

Estos elementos son:

- » El **caudal** a transportar.
- » Los **desniveles**, pendientes o diferencias de altura entre distintos puntos del sistema (entre captación y almacenamiento, entre almacenamiento y distribución).
- » **Distancias** o longitudes entre los distintos puntos del sistema.
- » Traza prevista de la conducción, características topográficas del lugar y pasos por quebradas para ubicar y contabilizar las **obras complementarias** y los **accesorios**.

Es fundamental la participación de toda la comunidad y en todas las actividades, encontrando un espacio que permita la discusión y valorando el conocimiento del territorio, donde todos podamos expresar nuestras opiniones y ser escuchados. De este modo nos aseguraremos la construcción de un sistema sustentable en el tiempo, desde el punto de vista tecnológico y organizativo.



Medición de desniveles mediante nivel de manguera. Comunidad Carrizal, Jujuy.



Medición de distancias en la traza del sistema. Comunidad Urcuro, Salta.

Tabla 2: Primeros pasos para diseñar un sistema de conducción.

| 1 Calcular el caudal a conducir | 2 Recorrer la traza del sistema e identificar obras complementarias | 3 Medir las distancias | 4 Identificar los desniveles a lo largo de la traza del sistema |
|---|---|--|--|
| <p>La estimación del caudal nos asegura la provisión de agua en las cantidades adecuadas a los requerimientos planteados. Es por esto que el tamaño final de la conducción estará íntimamente relacionado con el caudal a conducir y por eso necesitamos calcular previamente el caudal de diseño.</p> | <p>El recorrido debe ser viable desde el punto de vista técnico y económico. Debe facilitar la operación y mantenimiento posterior del sistema. También debemos identificar la manera en que se distribuirá el agua y cómo sortearemos los pasos difíciles (peñas y quebradas) para resolver mediante las obras complementarias y/o accesorios.</p> | <p>Definida la traza, medimos la distancia de la conducción entre los distintos puntos del sistema (entre captación y almacenamiento y entre el almacenamiento y la distribución). Estos datos nos permitirán conocer los metros de tubería o de canales que serán necesarios instalar o construir, asegurando que a todos los productores les "llegue el agua" acordada. Para el caso de tuberías, estas mediciones permiten conocer las posibles pérdidas de carga³ producidas por el rozamiento o fricción del agua con las paredes internas de la tubería durante el recorrido.</p> | <p>Estos datos se obtienen a través de la medición de desniveles en el terreno, siguiendo la posible traza de la conducción. La velocidad del agua durante el recorrido dependerá del desnivel (diferencia de altura) existente entre la captación y los sitios de entrega o almacenamiento. Según esta información diseñaremos el tamaño de la conducción. También nos servirá para definir los materiales a utilizar, de acuerdo a la resistencia a presiones de las tuberías disponibles en el mercado.</p> |

En síntesis, para diseñar el sistema de conducción necesitamos conocer datos que debemos relevar en el terreno. La obtención de la información se realiza durante el trabajo de campo y mediante el uso de metodologías y herramientas que serán consideradas en el capítulo 3.

³ Las pérdidas de carga dependen de la longitud y del tamaño de la tubería a utilizar. Este punto se desarrollará en profundidad en el capítulo 4.1.1.

*Toma de datos en terreno:
caudales, desniveles y distancias*



3. TOMA DE DATOS EN TERRENO: CAUDALES, DESNIVELES Y DISTANCIAS

En este capítulo veremos aspectos vinculados a la obtención de datos en el campo, necesarios para dimensionar nuestro sistema de conducción.

Haremos referencia a la estimación de caudales y a la cuantificación de la demanda de agua en función de su uso planificado. Luego abordaremos aspectos relativos a la medición de desniveles y distancias mediante instrumentos de fácil manejo.

3.1 Cálculo de caudales

El **caudal de diseño** es el nombre que recibe la cantidad de agua (volumen) por unidad de tiempo que entrega la fuente o la captación. También es el caudal requerido para cubrir la demanda calculada a partir de las necesidades de la comunidad.

Unidades para expresar el caudal

- » Metros cúbicos por día (**m³/d**)
- » Metros cúbicos por hora (**m³/h**)
- » Metros cúbicos por segundo (**m³/s**)
- » Litros por día (**l/d**)
- » Litros por hora (**l/h**)
- » Litros por segundo (**l/s**)

Algunas equivalencias

- » $1\text{ m}^3 = 1000$ litros
- » 1 litro = $1000\text{cc} = 1000\text{ml}$
- » 1 día = 24 horas
- » 1 hora = 60 minutos = 3600 segundos

El caudal está condicionado por las fuentes de agua disponibles en el territorio. Puede ser pequeño o escaso, lo cual obligará a planificar muy bien su uso, o por el contrario puede ser lo suficientemente alto como para superar las necesidades de abastecimiento de agua calculadas.

En función de estas dos situaciones, tenemos las siguientes alternativas para determinar el caudal de diseño:

A - Cuando disponemos de un caudal pequeño o escaso, no tendremos más alternativa que diseñar de acuerdo a la oferta de agua⁴.

B - Si el caudal de agua disponible es mayor al que necesitamos, diseñaremos a partir de la demanda de agua calculada de acuerdo a los usos proyectados.

De todas maneras, el contar con un caudal limitado no quita que también calculemos la demanda porque nos permitirá priorizar los usos y organizar mejor el manejo del agua.

En el diseño de la conducción necesitamos medir el caudal que dispondremos (oferta de agua) y estimar la demanda de agua necesaria en función de los usos proyectados.

3.1.2 Medición de caudal a partir de la fuente (oferta de agua)

La acción de medir el caudal de agua se denomina aforar. Existen diversos métodos pero por su sencilla aplicación en campo, nosotros tomaremos dos:

- » **Método directo o volumétrico (método del balde).**
- » **Medición de la velocidad del agua y la sección (método del flotador).**

Es importante medir el caudal en distintos momentos del año, debido a las fuertes variaciones estacionales que puede tener la fuente de agua.

⁴ Diseñar la conducción de agua con una oferta limitada de agua es muy frecuente. En el territorio muchas veces se dispone de manantiales y quebradas de escaso caudal.

A. MÉTODO VOLUMÉTRICO

Se utiliza en aquellos lugares donde podemos encauzar el agua con algún dispositivo, como una tubería o canaleta, de modo de desviar todo el flujo hacia un recipiente de volumen conocido, por ejemplo un balde de 20 litros. El uso de este método es frecuente para medir el caudal en manantiales.

Debemos tomar el tiempo desde el momento que comienza a cargarse el recipiente (balde) hasta que se llena por completo. De este modo conoceremos el caudal que estamos midiendo.

$$\text{CAUDAL} = \frac{\text{Capacidad del balde lleno}}{\text{Tiempo que demora en llenarse el balde}} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$



Mediciones de caudal mediante método volumétrico.

» **Ejemplo:**

Un balde de 20 litros de capacidad demora en llenarse 10 segundos. ¿Cuál es el caudal?

Respuesta: Podemos expresar el caudal de distintas maneras

20 litros / 10 segundos = **2 l/s** = 7200 l/h = 7,2 m³/h = 172,8 m³/d

Para minimizar errores podemos hacer varias mediciones (5 ó 6 por ejemplo) y luego calculamos el promedio.

B. MÉTODO POR MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA Y LA SECCIÓN (MÉTODO DEL FLOTADOR)

Utilizamos este método cuando nos resulte difícil aplicar el volumétrico, por ejemplo en un curso de agua. Obtenemos el caudal con los valores de la velocidad de la corriente medida en un tramo y el área o sección del curso de agua.

Entonces tenemos que conocer dos medidas: **velocidad y sección.**

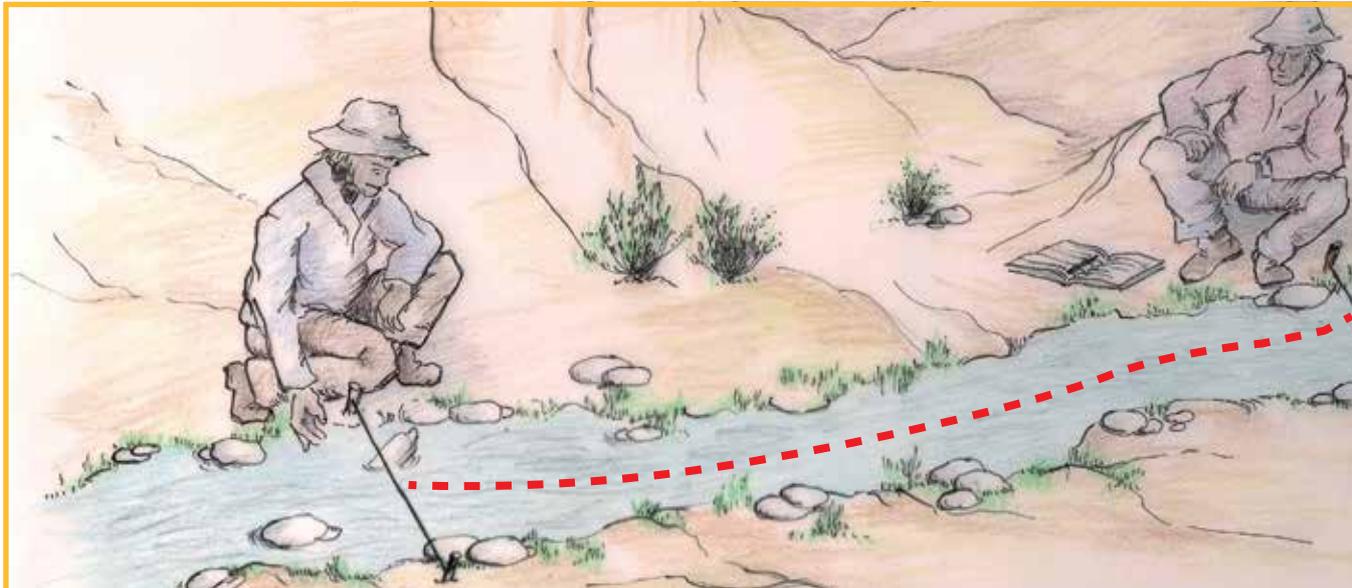
1. CALCULAMOS LA VELOCIDAD

Para medir la velocidad utilizamos un flotador, por ejemplo un envase vacío o parcialmente lleno, o bien una madera, o un corcho.

El tramo donde realizamos la medición en lo posible debe ser recto, de forma regular y de una longitud que le permita al flotador recorrer la distancia en algunos segundos.

La velocidad será la distancia recorrida por el flotador, dividido el tiempo que demora en recorrer el tramo. Comúnmente se expresa en **metros por segundo.**

Entonces, medimos el tiempo que transcurre desde que soltamos el flotador al inicio del tramo hasta que llega al final. Luego dividimos la distancia recorrida por el flotador por el tiempo que demoró en recorrerla.



Cálculo de la velocidad mediante el método del flotador. Las líneas indican el tramo del curso de agua que recorrerá el flotador.

VELOCIDAD

$$\frac{\text{DISTANCIA}}{\text{TIEMPO}} = \frac{\text{METROS}}{\text{SEGUNDOS}}$$

» Ejemplo:

Tenemos un tramo de una longitud de 10 metros y el flotador demora 8 segundos en recorrerlo. ¿Cuál es la velocidad del agua?

Respuesta: Velocidad = $10\text{m} / 8\text{s} = 1,25 \text{ m/s}$

2. CALCULAMOS LA SECCIÓN

Podemos definir la sección o área como en un corte transversal del curso de agua, el espacio por donde circula el agua. Para determinar la sección mediremos el ancho y el alto del sector del cauce ocupado por agua y multiplicamos los dos datos. La sección quedará expresada en metros cuadrados (m^2).



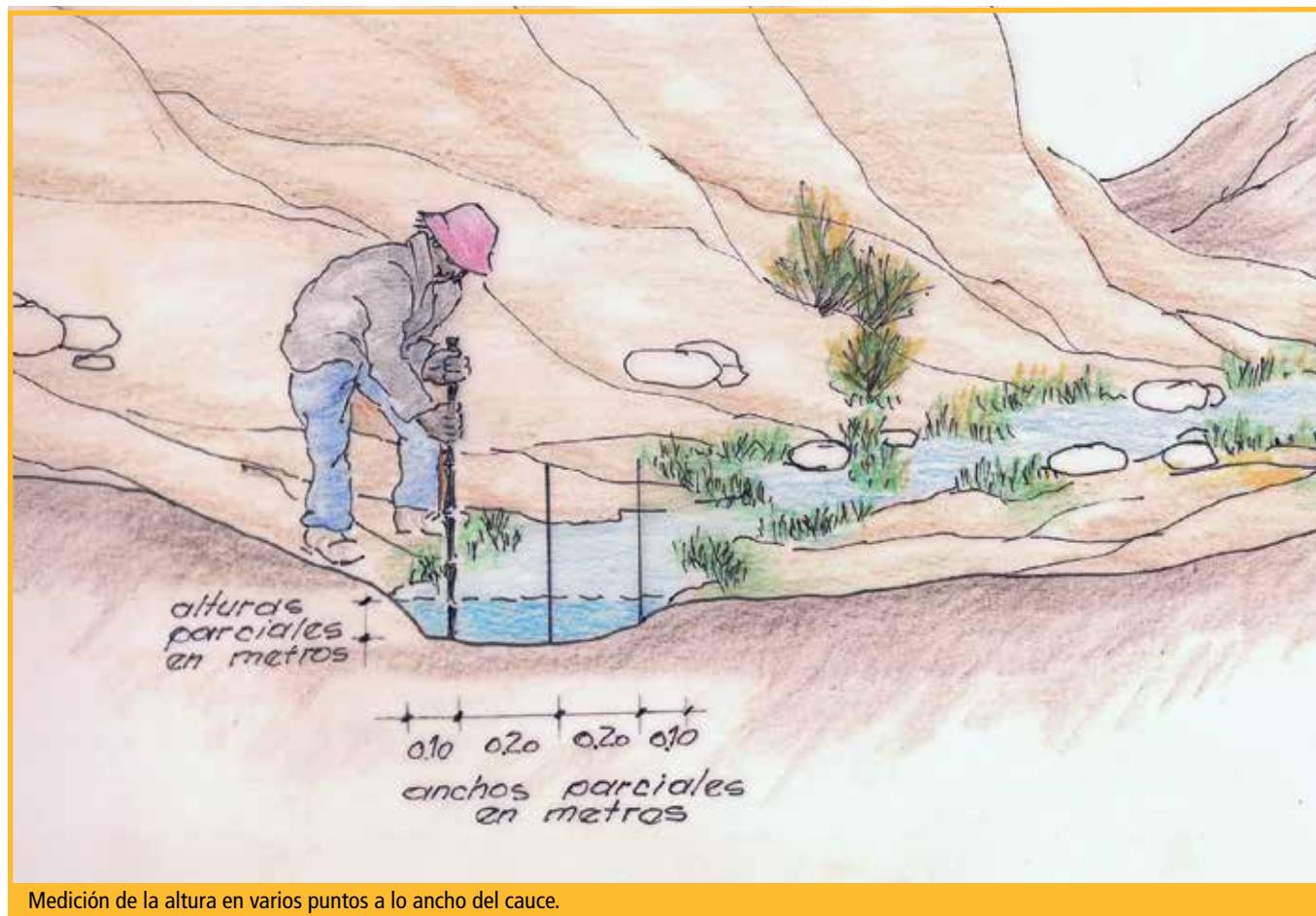
Representación de la sección o área del curso de agua. Sección = ancho (m) x alto (m).

» Ejemplo:

Si el curso de agua tiene una profundidad media de 0,2m (20cm) y un ancho de 0,5m (50cm). ¿Cuánto medirá la sección?

Respuesta: Sección = $0,2m * 0,5m = 0,1m^2$

Cuando el cauce es irregular, tomamos los datos parciales de áreas más pequeñas y luego las sumamos para conocer la sección total.



Medición de la altura en varios puntos a lo ancho del cauce.

Ya contamos con la velocidad y la sección, entonces estamos en condiciones de calcular el caudal, multiplicando ambos datos.

» **Ejemplo:**

Si la velocidad es igual a 1,25 m/s y la sección mide 0,1m². ¿Cuál es el caudal?

$$\text{Caudal} = 1,25 \text{ m/s} * 0,1 \text{ m}^2 = 0,125 \text{ m}^3/\text{s} = 125 \text{ l/s (ver tabla de equivalencias)}$$

El caudal también se expresa con la letra Q. Entonces $Q = 125 \text{ l/s}$

» **Recordemos**

$$\text{CAUDAL} = \text{velocidad} * \text{sección}$$

$$\text{VELOCIDAD} = \text{distancia/tiempo} = \text{metros/segundos}$$

$$\text{SECCIÓN} = \text{ancho} * \text{alto} = \text{metros por metros} = \text{m}^2$$

3.1.3 Estimación de la demanda de agua

Cuando disponemos en el territorio de fuentes de agua cuyo caudal supera ampliamente las necesidades de las familias, tenemos la oportunidad de diseñar la infraestructura de acuerdo a la demanda de agua calculada según los usos proyectados (consumo humano, riego y abrevado animal).

Para esto, necesitamos hacer un trabajo previo de diagnóstico comunitario donde estimaremos las necesidades de agua para el uso hogareño (higiene personal y de la casa, lavado de ropa, bebida, preparación de alimentos, etc.). Además, debemos cuantificar el agua para riego de los huertos aledaños a los hogares y el consumo de los animales de granja. También es importante identificar si el número de habitantes de la comunidad se incrementa en alguna época del año. Por último, proyectamos el crecimiento de la población de la comunidad (a partir de datos censales, centros de salud, cálculos de estimación a futuro⁵), para evitar que el sistema diseñado para la población actual ponga en riesgo la satisfacción de las necesidades de agua de la población futura.

⁵ En Anexo 1 se detalla una estimación de la demanda de agua a futuro de la población, si bien existen diversos métodos, tomaremos el de Crecimiento Aritmético (Agüero Pitman, 1997).



Diagnóstico comunitario para la identificación de la demanda de agua. Comunidad Urcuro, Salta.



Muchos de los sistemas a diseñar contemplan el uso doméstico del agua, con lo cual es importante asegurar la inocuidad de la misma para consumo humano.

Tabla 3: Pasos para calcular el caudal de diseño en un sistema de usos múltiples.

| 1 Conocer el caudal de las fuentes de agua que utilizará la comunidad | 2 Determinar la demanda de agua para consumo humano de la comunidad | 3 Calcular la demanda comunitaria de agua para uso en la agricultura a lo largo del año agrícola | 4 Estimar la demanda para bebida de animales de cría | 5 Determinar la demanda total del sistema |
|---|---|--|--|---|
| <p>Necesitamos contar con información del caudal, en lo posible con mediciones realizadas en distintas estaciones o épocas del año.</p> | <p>Preguntas útiles que podemos hacernos para obtener la información necesaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> » ¿Cuántas personas o familias harán uso del sistema de conducción a diseñar? » ¿Qué usos le darán al agua? » ¿Cuánta agua se usará por día si tenemos en cuenta la cantidad de personas? » ¿La población aumenta en alguna época del año? <p>¿Cuántas llegan a ser? ¿En qué época del año?</p> <ul style="list-style-type: none"> » ¿La población aumentará con los años? ¿Cuánto aumentará por año? | <p>Relevamos la superficie cultivada promedio por familia y las necesidades de agua para las huertas y parcelas.</p> <p>Es importante analizar y discutir qué alcances tendrá el riego (parcelario, huertos, almácigos).</p> | <p>Debemos conocer el tipo y cantidad de animales por familia y el consumo de agua por día para cada tipo de animal.</p> | <p>Con la suma de los datos parciales obtenemos las necesidades totales de agua, a la que podemos incorporar el concepto de caudal máximo diario.</p> |

Tal como indica la Tabla 3, según los usos planificados del agua, definimos y calculamos la demanda total de agua. Ya aprendimos a calcular caudales desde la fuente. Ahora nos detendremos en los pasos para calcular la demanda de agua de la comunidad.

A. DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO DEL HOGAR

Primero estimamos un consumo diario de agua por persona y luego determinamos la demanda diaria de agua que deberá entregar el sistema para consumo del hogar.

» Demanda para consumo del hogar

Volumen de agua diario demandado para el hogar = **N° de habitantes * litros/habitante/día = litros/día**
El volumen diario de consumo debe expresarse en unidades que permitan dimensionar la obra. Las medidas más utilizadas son m³/día; m³/segundo; litros/día; litros/hora; litros/segundo.

» Demanda comunitaria de agua para consumo humano

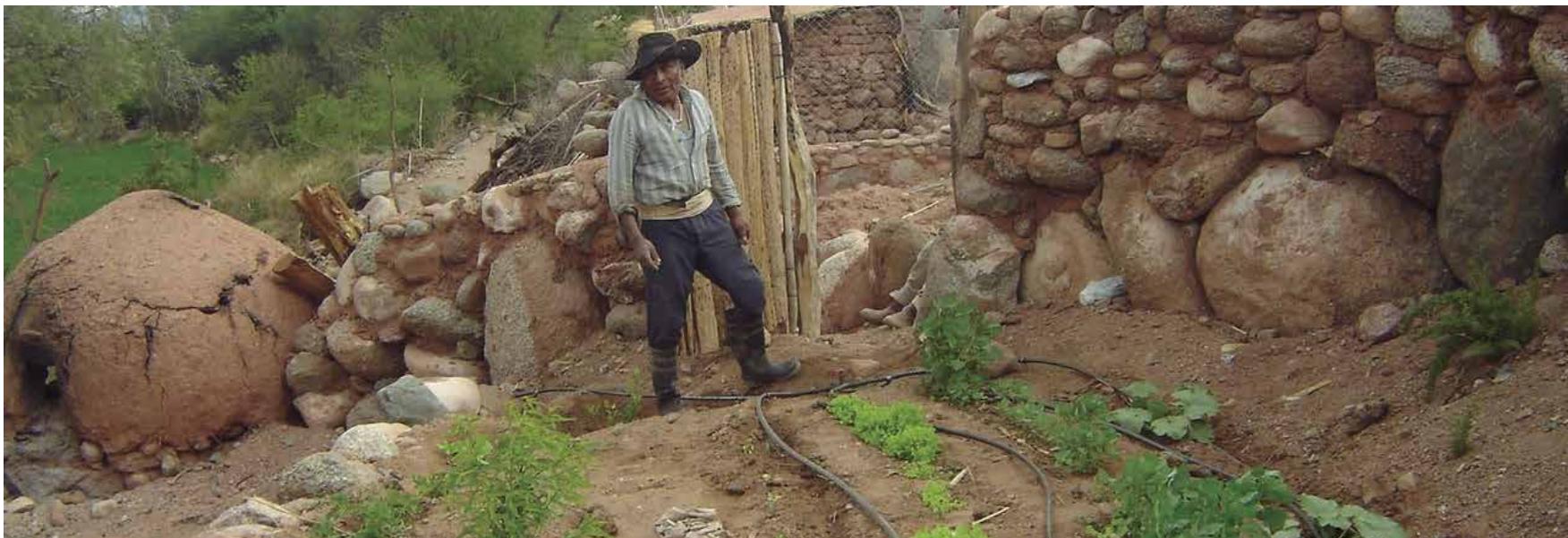
Una comunidad integrada por 20 familias (100 habitantes) establece, realizando mediciones y comparando con comunidades cercanas que ya cuentan con sistemas de agua funcionando, que cada persona consumirá diariamente 70 litros de agua. ¿Cuál es entonces la demanda de agua de la comunidad?

Respuesta: 100 habitantes * 70 litros/habitante/día = **7000 litros/día**

B. DEMANDA DE AGUA PARA LA AGRICULTURA (HUERTAS, FRUTALES, ALMÁCIGOS)

Si bien podríamos buscar información detallada sobre necesidades de volúmenes de riego según cultivo o época del año, en general, para las necesidades de agua en huertos y a partir de experiencias registradas por diversas familias, se estima que oscila entre 3 y 6 litros por cada metro cuadrado y por día. Entonces,

DEMANDA DE RIEGO PARA HUERTOS = 6 l/m²/día



Huertos familiares

» Demanda de riego para huertos.

Una familia cultiva en promedio una superficie de 400m^2 , con una demanda de riego diaria de 4 litros por m^2 .

1) ¿Cuál es la demanda diaria de agua para riego de esa familia?

Respuesta: Necesidad de agua por familia $400\text{m}^2 * 4 \text{ l/m}^2/\text{día} = 1600 \text{ l/d}$

2) Si la comunidad está formada por 20 familias, ¿Cuál es la necesidad diaria de agua de riego para la comunidad?

Respuesta: Necesidad diaria de agua de riego para la comunidad $20 \text{ familias} * 1600 \text{ l/d} = 32.000 \text{ l/d para toda la comunidad}$



C. DEMANDA DE AGUA DE CONSUMO PARA ANIMALES

Para determinar la demanda de agua para consumo animal, en la Tabla 4 indicamos, el consumo diario de agua por tipo de ganado.

Tabla 4: Consumo diario de agua según tipo de ganado.

| | |
|---|-----------------------------|
| Vacas | 25-35 litros/día por cabeza |
| Caballos y mulas | 20-35 litros/día por cabeza |
| Ovejas | 15-25 litros/día por cabeza |
| Cerdos | 10-15 litros/día por cabeza |
| Aves de corral | 15-25 litros/día por 100 |
| Fuente: CEPIS http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-04.pdf | |

En el caso de los camélidos sudamericanos, en comunidades andinas del Perú se determinó que el consumo normal de agua para las llamas es de aproximadamente 4 litros por cada 50kg de peso vivo. Este consumo aumentará durante la lactación y disminuirá en épocas de mayor frío. Las llamas son melindrosas respecto al agua, por tanto ésta deberá ser limpia y fresca para su consumo (Quispe Valdez, 2001). Por otro lado M. E. Ensminger en su Manual Ganadero, indica que el consumo de agua promedio para cada llama es de 6 litros/día.

» **Demanda total de agua para bebida animal**

Siguiendo el ejemplo desarrollado, en nuestra comunidad estimamos un consumo para animales de granja de **650 l/d para bebida animal.**



Muchos de los proyectos involucran el cálculo de consumo de agua para la ganadería de altura.

D. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE AGUA

Una vez calculadas las demandas para consumo hogareño, para el riego de huertas y para los animales, calcularemos la demanda total de agua para la comunidad.

» Demanda total de agua

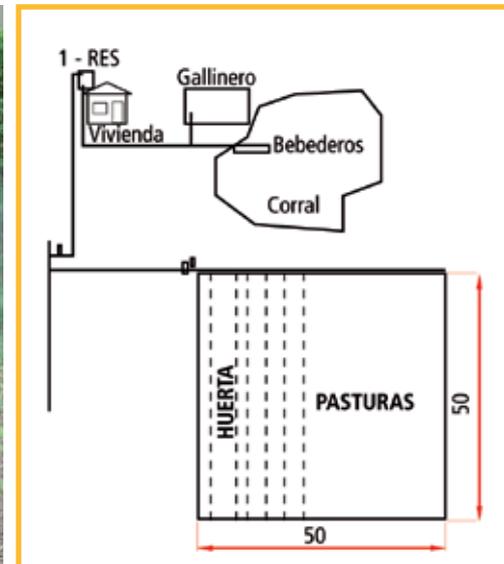
Teniendo en cuenta las cantidades anteriores: ¿Cuál es el consumo total de agua que planifica la comunidad?

Total consumo de agua diario = agua para uso doméstico (7000 l/d) + Consumo huerta (32000 l/d) + Consumo animal (650 l/d) = **39.650 l/d**

El consumo diario de agua previsto es: 39.650 l/d, que redondeamos en 40.000 l/d. Esto equivale a 1666 l/h, o bien a 0,46 l/s.



Inauguración de sistema de riego por aspersión en Comunidad de Loma Larga, Jujuy.



Planificación de agua de uso múltiple, en vivienda, corrales y riego. Comunidad de Loma Larga, Jujuy.

Para estimar el volumen de agua diario a futuro, introducimos el concepto de **Período de Diseño** que indica “*el tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por la capacidad en la conducción del caudal deseado o por la existencia física de las instalaciones*” (Agüero Pitman, 1997). En el Anexo 1 detallamos una metodología para profundizar en estos cálculos.

» Proyección a 25 años

Calculamos que luego de 25 años la misma comunidad contará con una población de 208 personas (período de diseño). Necesitamos garantizar que el sistema asegure la provisión de agua a 25 años para esta población futura:

$$70 \text{ litros/habitante/día} * 208 \text{ habitantes} = 14.560 \text{ l/d}$$

Ahora bien, el Período de Diseño se calcula para sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano. En sistemas de uso múltiple quedará a criterio nuestro cómo utilizar este concepto, evaluando cómo será el incremento de huertos y granjas de las distintas familias, por ejemplo.

En nuestro caso calculamos el consumo total diario actual (40000 l/d), lo proyectamos para 208 habitantes (Población a futuro), y consideramos un consumo para usos múltiples de $83.200 \text{ l/d} = 3466 \text{ l/h} = 0,96 \text{ l/s}$.

Es común que la demanda de agua se modifique a lo largo del año, aumentando su uso en verano por los requerimientos de los cultivos y por el incremento temporal de los habitantes que visitan la comunidad en determinadas épocas, por ejemplo.

En este caso, podemos incorporar el concepto de **caudal máximo diario**⁶ que nos será útil para dimensionar la conducción en el caso de distribuciones intermedias, pero por otro lado nos permitirá tener un margen de maniobra ante variaciones en la demanda de agua.

El CAUDAL MÁXIMO DIARIO es el dato registrado el día de mayor consumo de agua, dentro de una serie de registros. A los fines prácticos, se considera que este valor promedia en un 130% del consumo de agua calculado para la comunidad en cuestión (Agüero Pitman, 1997).

⁶ El concepto de caudal máximo diario es utilizado en la distribución, queda a criterio nuestro utilizarlo en estos sistemas en el caso que lo diseñemos con distribuciones intermedias.

Anteriormente determinamos que el caudal es de 0,96 litros por segundo. Para calcular el caudal máximo diario seguimos los siguientes pasos:

Si el 100% _____ 0,96 l/s

El 130% (caudal máximo diario) _____ X l/s

$$\text{Caudal máximo diario: } \frac{130 * 0,96 \text{ l/s}}{100} = 1,25 \text{ l/s}$$

Concluimos que la comunidad necesitará un caudal de 1,25 l/s (que equivale a 4500 l/h ó 108.000 l/d).

Para facilitar los cálculos podemos multiplicar el caudal (en nuestro ejemplo 0,96 l/s) por 1,3 que es el factor de multiplicación para el valor de 130%, y obtendremos el mismo resultado.

$$\text{Caudal máximo diario: } 0,96 \text{ l/s} * 1,3 = 1,25 \text{ l/s}$$

De todos modos, si existe buena disponibilidad de agua y mientras los costos lo permitan, podemos pensar en ampliar la cantidad de agua entregada, trabajando con caudales mayores al calculado. Esto nos permitirá contar con una mayor flexibilidad del sistema tanto para el uso como para la capacidad de almacenamiento.

E. CAUDAL DE DISEÑO EN CANALES PARA RIEGO

El cálculo de la demanda de agua para proyectar futuros canales, implica la necesidad de datos de láminas de riego para la zona de trabajo, o bien contar con datos de volúmenes de agua requeridos para los cultivos durante un ciclo productivo.

En los diagnósticos comunitarios necesitaremos conocer las superficies a regar según cada cultivo, época del año y para todos los productores que participan del proyecto.

En general es difícil contar con datos de láminas de riego para zonas alejadas y de pequeñas superficies de producción; lo mismo ocurre cuando necesitamos disponer de datos climáticos. En todo caso tenemos que consultar esta información en las agencias agropecuarias vinculadas a la zona.

Otra forma de acercarnos a los datos es medir los caudales de entrada durante el riego de una parcela de superficie conocida y obtener el volumen de agua utilizado.

En el caso que contemos con requerimientos del cultivo mes a mes, podemos desarrollar el siguiente ejemplo:

Si nuestra comunidad proyecta poner bajo riego una superficie total de 15 hectáreas debemos disponer de los datos de riego para los diversos cultivos que se realizarán.

Decidimos planificar a partir de los datos de requerimiento de riego para el cultivo de alfalfa que es muy común en la región altoandina, el cual es un cultivo perenne y que requiere una demanda anual de agua.

Para el cálculo tomamos los requerimientos de agua mensuales en m^3 y los transformamos en caudal continuo de litros/segundo por hectárea⁷ necesarios para abastecer el riego.



Cuando los proyectos involucran el riego parcelario, necesitamos contar con la estimación de la superficie a regar y las necesidades de riego según el tipo de cultivo. Comunidad Urucuro, Salta.



Una forma de estimar los caudales necesarios es mediante la medición del agua utilizada en el riego de una parcela de superficie conocida.



Riego de alfalfa. Comunidad El Carrizal, Jujuy.

⁷ Caudal continuo o ficticio es la cantidad de agua que habría que aplicar de manera continua en una hectárea bajo riego, para cubrir los requerimientos de un cultivo en determinado tiempo. Se lo denomina ficticio porque en realidad no se aplica en forma continua, sino que depende de los turnos o intervalos de riego.

Tabla 5: Requerimientos de agua para el cultivo de alfalfa.

| | Jun. | Jul. | Agos. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. |
|---|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|------|--------|--------|------|
| (1) Requerimiento Neto (m ³ /ha) | 0 | 0 | 405,92 | 875,55 | 1726,6 | 440,65 | 637,75 | 1037,64 | 500 | 477,17 | 470,17 | 0 |
| (2) Requerimiento de Riego (mm/ha) | 0 | 0 | 40 | 87 | 173 | 44 | 64 | 104 | 50 | 48 | 47 | 0 |
| (3) Caudal neto continuo (l/s/ha) | 0 | 0 | 0,15 | 0,34 | 0,64 | 0,17 | 0,24 | 0,39 | 0,2 | 0,18 | 0,18 | 0,15 |
| (4) Caudal unitario bruto (l/s/ha) | 0 | 0 | 0,42 | 0,97 | 1,82 | 0,5 | 0,68 | 1,1 | 0,57 | 0,51 | 0,51 | 0,2 |

Aclaración de términos:

- » **Fila (1) Requerimiento Neto (m³/ha):** Requerimientos mensuales de riego en m³ por hectárea para el cultivo de referencia.
- » **Fila (2) Requerimiento de Riego (mm/ha):** Requerimiento total mensual de lámina de riego a aplicar expresados en milímetros por hectárea. Surge de dividir los m³ mensuales por 10000m², equivalente a la superficie de una hectárea, y pasados a mm (1m = 1000mm).
- » **Fila (3) Caudal neto continuo (l/s/ha):** Es el caudal continuo o ficticio. Se obtiene al dividir los requerimientos netos (Fila 1), expresados en litros, por la cantidad de segundos del mes, siempre para una hectárea (l/s/ha).
- » **Fila (4):** Caudal unitario bruto (l/s/ha): Es el caudal neto continuo afectado por la eficiencia del sistema. Es el caudal real que tendremos que aplicar para asegurar las necesidades de agua. En nuestro caso tomamos una eficiencia de 35% (significa que del agua que aplicamos, la planta aprovecha el 35%), al caudal neto lo dividimos por la eficiencia (en este caso 0,35).

El mes con mayor demanda será nuestro dato clave, ya que nos indicará los caudales máximos requeridos para cada cultivo.

En nuestro ejemplo, el mes de mayor demanda es octubre, ya que a partir de noviembre las precipitaciones cubren parte de la demanda de riego.

Entonces, en octubre necesitamos un caudal continuo o ficticio de 1,82 l/s/ha. Para el riego de 15 hectáreas, multiplicamos este valor por 15. En efecto, se requiere un caudal continuo de 27,3 l/s/ha que redondeamos en 30 l/s/ha. El canal a diseñar deberá garantizar, como mínimo, la conducción de un caudal de 30 l/s/ha.

Cabe aclarar que lo presentado para la estimación de riego es un ejemplo sencillo a fin de desarrollar esta herramienta de cálculo. En la práctica tendremos que trabajar con datos más completos referentes a los distintos cultivos.

3.2 relevamiento de datos de desniveles y distancias en el terreno

Conocer los **desniveles** o las diferencias de altura existentes en el terreno nos permitirá calcular el diámetro de las tuberías que instalaremos y la presión que deberán resistir. En el caso de sistemas de conducción por canales estos datos serán necesarios para calcular la pendiente que tendrá el canal y con ello el tamaño de la sección, lo que nos posibilitará conducir nuestro caudal de diseño.

El cálculo de las **distancias** o la longitud de la conducción, nos permitirá cuantificar los metros de tubería necesarios y posteriormente estimar las pérdidas de carga que ocurrirán a lo largo del sistema. Para el caso de canales, el dato será relevante para calcular los materiales necesarios para su construcción.

La toma de datos de distancias se puede realizar de manera sencilla a partir de cintas métricas, sogas de largo conocido, etc. Para determinar los desniveles podemos utilizar distintos instrumentos como el navegador GPS, Nivel Óptico, Nivel de Manguera, Nivel "A", que además de alturas permiten medir distancias en el terreno.

El relevamiento de estos datos implica que debemos recorrer la posible traza de conducción desde el punto de inicio (la captación o fuente de agua) e identificar las diferencias de altura y distancias por tramos, según el alcance del instrumento que utilicemos.

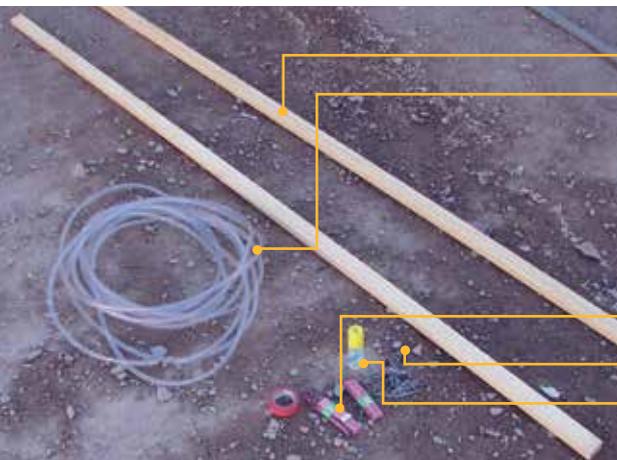
Recorrida la traza, calcularemos los desniveles y distancias con los datos registrados en cuadernos o planillas, pudiendo volcar en un mapa las distancias, diferencias de altura y obras complementarias. Esto nos ayudará a dimensionar la infraestructura a realizar.

A continuación vamos a interiorizarnos en el manejo de los distintos instrumentos que nos permitirán relevar todos estos datos en el terreno.

A. NIVEL DE MANGUERA

Esta herramienta permite medir desniveles de manera sencilla, siendo además de fácil construcción. También nos permite trazar en el terreno una pendiente determinada de trabajo.

» Materiales para la construcción del Nivel de Manguera



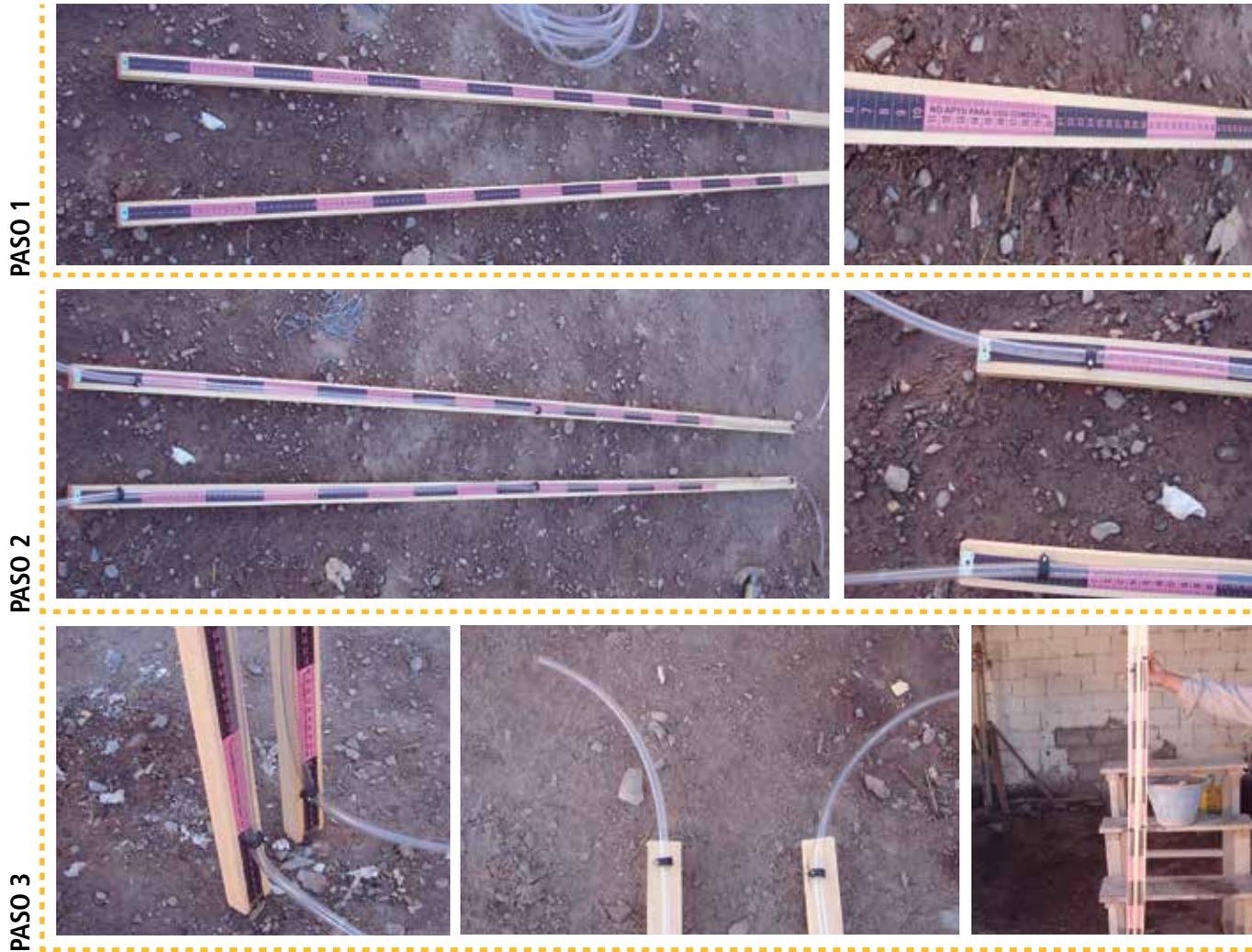
- 2 reglas o varillas de madera de 2 metros de largo.
- Manguera transparente (cristalina) preferiblemente de 3/8", o bien de 1/2". La extensión de la manguera se relaciona con el largo del nivel. Es común utilizar un nivel de 10 metros de largo. Para ello necesitaremos 15 metros de manguera: 2 metros de manguera se adosan en cada regla y 11 metros para la medición de distancias (dejamos 1 metro para compensar errores u obstáculos en el relieve).
- 2 cintas milimétricas (al milímetro) o centímetro de costurero.
- Grampas o cinta adhesiva para unir la manguera a las reglas.
- Pegamento.



Nivel de Manguera.

Tabla 6: Pasos para la construcción del Nivel de Manguera.

| Paso 1 | Paso 2 | Paso 3 |
|--|--|---|
| <p>Pegamos las cintas milimétricas a las reglas, colocando el cero en la parte inferior, de esta manera cuando midamos en bajada los desniveles nos darán negativos (una pendiente negativa, significa que estamos bajando).</p> | <p>Sujetamos la manguera a las reglas de madera con el reparo que en la parte inferior no se estrangule y se corte el paso del agua. Es conveniente que en la parte superior queden 10 a 20cm libres por encima de la cinta métrica, para poder llenar con agua.</p> | <p>Una vez armado, llenamos la manguera de agua. No deben quedar burbujas de aire para evitar errores en la medición.</p> |



Construcción de un Nivel de Manguera.

USO DEL NIVEL DE MANGUERA

Su funcionamiento consiste en que el agua contenida en el interior de la manguera siempre se equilibra al mismo nivel en ambos extremos. Cuando utilizamos este instrumento en un terreno con pendiente, las reglas no se encontrarán al mismo nivel (pero el agua contenida en la manguera si), y la diferencia de lectura en ambas cintas nos indicará el desnivel del terreno.

Tabla 7: Pasos para usar el Nivel de Manguera.

Llenar la manguera con agua. Para que no queden burbujas de aire y evitar errores de lectura, podemos colocar uno de los extremos en un balde con agua elevado respecto al segundo extremo, y desde este último succionamos llenando la manguera por gravedad.



PASO 1

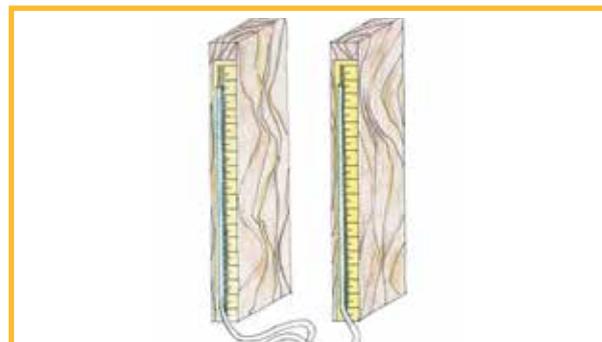
Llenado de la manguera con agua.

En el punto de inicio de la medición (1), colocamos las reglas milimétricas juntas, donde los ‘meniscos’ de agua darán la misma lectura (iguales valores) por encontrarse en el mismo nivel.

PASO 2



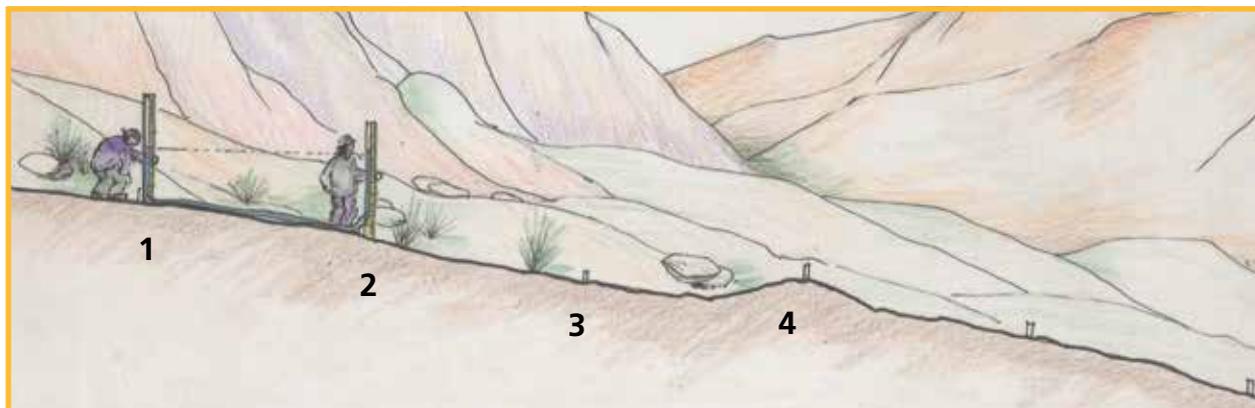
Meniscos de agua.



Nivel de manguera con agua.

Posteriormente, una regla queda en el punto de inicio (Punto 1). Con la otra regla avanzamos el largo de la manguera al Punto 2 (Ejemplo: 10 metros de distancia)

PASO 3



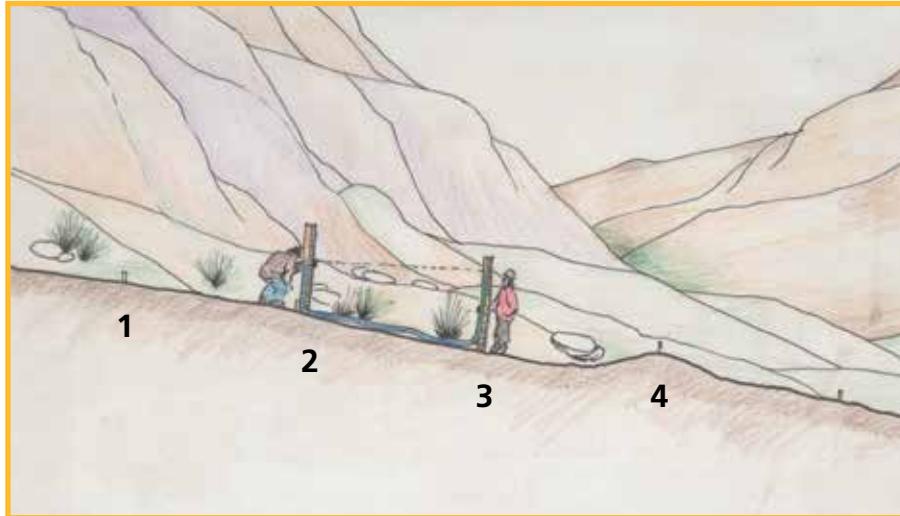
Avance con el nivel.

Tomamos como dato la lectura de los valores en las dos reglas: lectura atrás, punto 1, (regla de inicio) y lectura adelante, punto 2 (regla que avanzó). La diferencia entre ambas lecturas será el desnivel en el terreno (en una distancia de 10 metros en este caso).

PASO 4

DESNIVEL = Lectura regla atrás – lectura regla adelante

Avanzamos colocando la regla de lectura atrás en el punto que anteriormente había sido lectura adelante (Punto 2), y con la otra regla avanzamos hacia el punto siguiente (Punto 3).



Avance con el nivel.



Medición de desniveles con Nivel de Manguera.

PASO 5

PASO 6

Tomamos las nuevas lecturas, y así avanzamos sucesivamente a lo largo de la traza por donde queremos llevar la conducción.

CÁLCULO DE DESNIVEL Y DISTANCIA

1- En una planilla anotaremos los datos de las lecturas que realizamos en cada tramo. La lectura atrás (Punto 1) y la lectura adelante (Punto 2); luego seguimos con la nueva lectura atrás (Punto 2) y la lectura adelante (Punto 3) y así sucesivamente.

2 - Anotamos las distancias entre puntos, que serán constantes, por ejemplo 10 metros (dependiendo de la longitud de la manguera).

3 - Realizamos la resta de los valores entre punto y punto, obteniendo el desnivel del terreno en cada tramo realizado.

Desnivel = Lectura regla atrás – lectura regla adelante

Desnivel positivo: indica que el terreno sube

Desnivel negativo: indica que el terreno baja

4 - Luego sumamos las distancias y obtenemos la distancia total o acumulada.

5 - Por último sumamos los desniveles y obtenemos el desnivel total o acumulado.

Tabla 8: Planilla tipo para realizar el relevamiento de niveles y distancias utilizando un nivel de manguera.

| Punto de apoyo | Lectura de altura (en metros) | | Distancia entre puntos (en metros) | Distancia acumulada (en metros) | Desnivel (en metros) Lectura Atrás - Lectura adelante | Desnivel acumulado |
|----------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|--------------------|
| | Lectura atrás | Lectura adelante | | | | |
| 1 | 0,78 | - | 10 | 10 | - 0,07 | - 0,07 |
| 2 | - | 0,85 | | | | |
| 2 | 0,86 | - | 10 | 20 | -0,11 | - 0,18 |
| 3 | - | 0,97 | 10 | 30 | -0,2 | -0,38 |
| 3 | 1,1 | - | | | | |
| 4 | - | 1,3 | 10 | 40 | -0,15 | -0,53 |
| 4 | 0,95 | - | | | | |
| 5 | - | 1,1 | 10 | 50 | 0,05 | -0,48 |
| 5 | 0,9 | - | | | | |
| 6 | - | 0,85 | | | | |

» Desnivel acumulado o total: - 0,48 (el terreno baja)
» Longitud acumulada o total: 50 metros

TRAZO DE LÍNEAS EN PENDIENTE Y A NIVEL

El Nivel de Manguera también puede utilizarse para realizar la traza planificada de la conducción con determinada pendiente. La metodología de avance es similar a la descrita, pero en este caso debemos ubicar en la ladera los puntos donde obtenemos la diferencia de desnivel deseada. Este trabajo es imprescindible en la construcción de canales en los cuales deseamos mantener determinada pendiente.

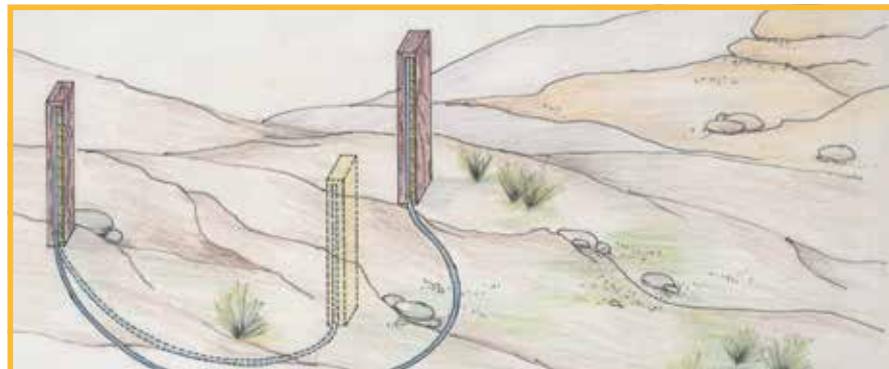
» Ejemplo

Si tenemos un Nivel de Manguera de 10 metros y queremos trazar una conducción con una pendiente del 1%. ¿Cómo procedemos?

Una pendiente del 1% significa que en una distancia de 100 metros, el terreno desciende 1 metro (100cm). Entonces, para distribuir ese metro proporcionalmente a lo largo de los 100 metros, debemos descender 10cm cada 10 metros. De esta manera, buscamos con el nivel que la diferencia de lecturas entre puntos sea de 10cm en cada tramo de 10 metros.

Y si quisiéramos llevar la conducción con 0,3 % de pendiente, la diferencia entre la lectura atrás y la lectura adelante sería de 3cm cada 10 metros.

También podemos trazar líneas o curvas a nivel. Una curva a nivel es una traza en el terreno que une puntos que se encuentran a igual altura. Para ello es necesario que las lecturas en ambas reglas sean iguales (desnivel cero).

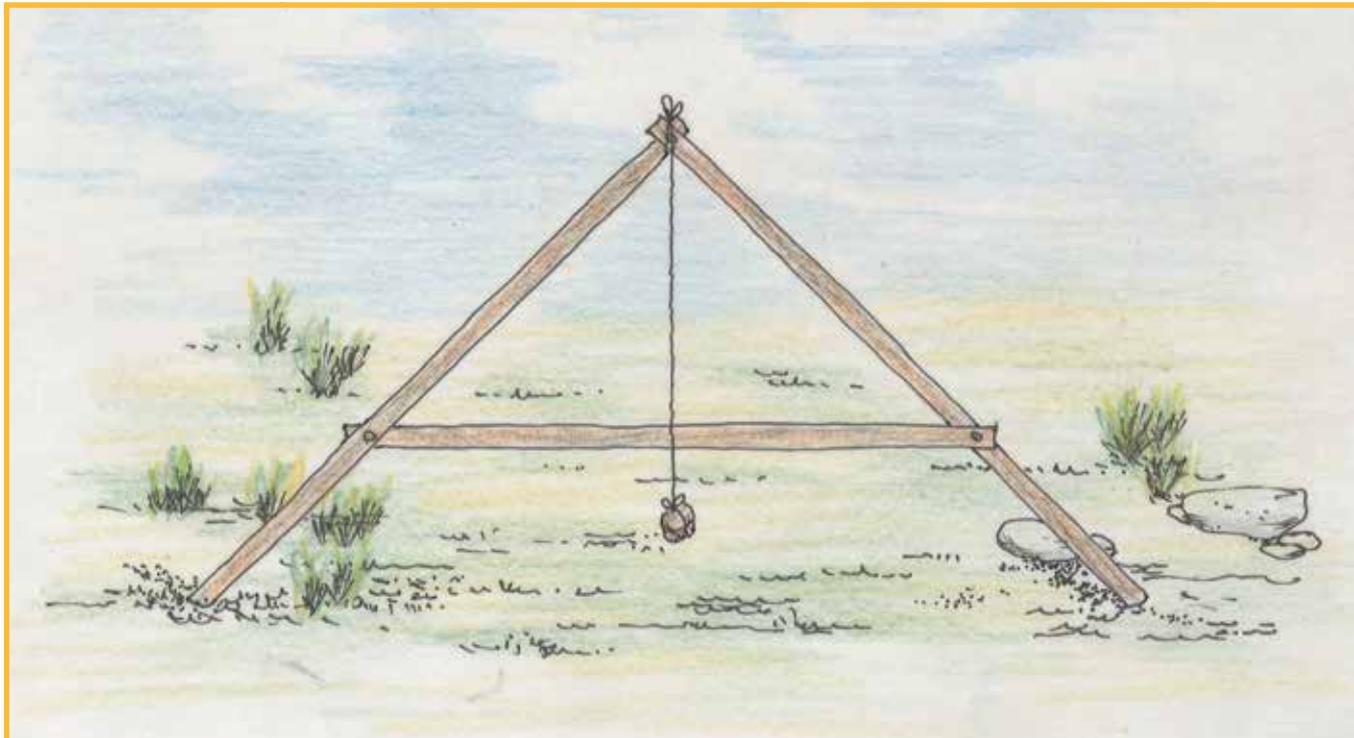


Trazo de curvas a nivel.

B. NIVEL "A"

El Nivel "A" permite realizar líneas o curvas a nivel. Usualmente se lo utiliza en las prácticas de conservación de suelos a nivel parcelario, pero también permite el trazado de líneas en pendiente, por lo cual podemos utilizarlo en la construcción de canales y acequias.

Su fabricación es sencilla, tiene forma de "A" mayúscula. De su vértice cuelga una soga con una plomada que marca en el travesaño de madera el punto donde las dos patas se encuentran al mismo nivel o desnivel cero.



Nivel "A".

» Materiales para la construcción del Nivel "A"

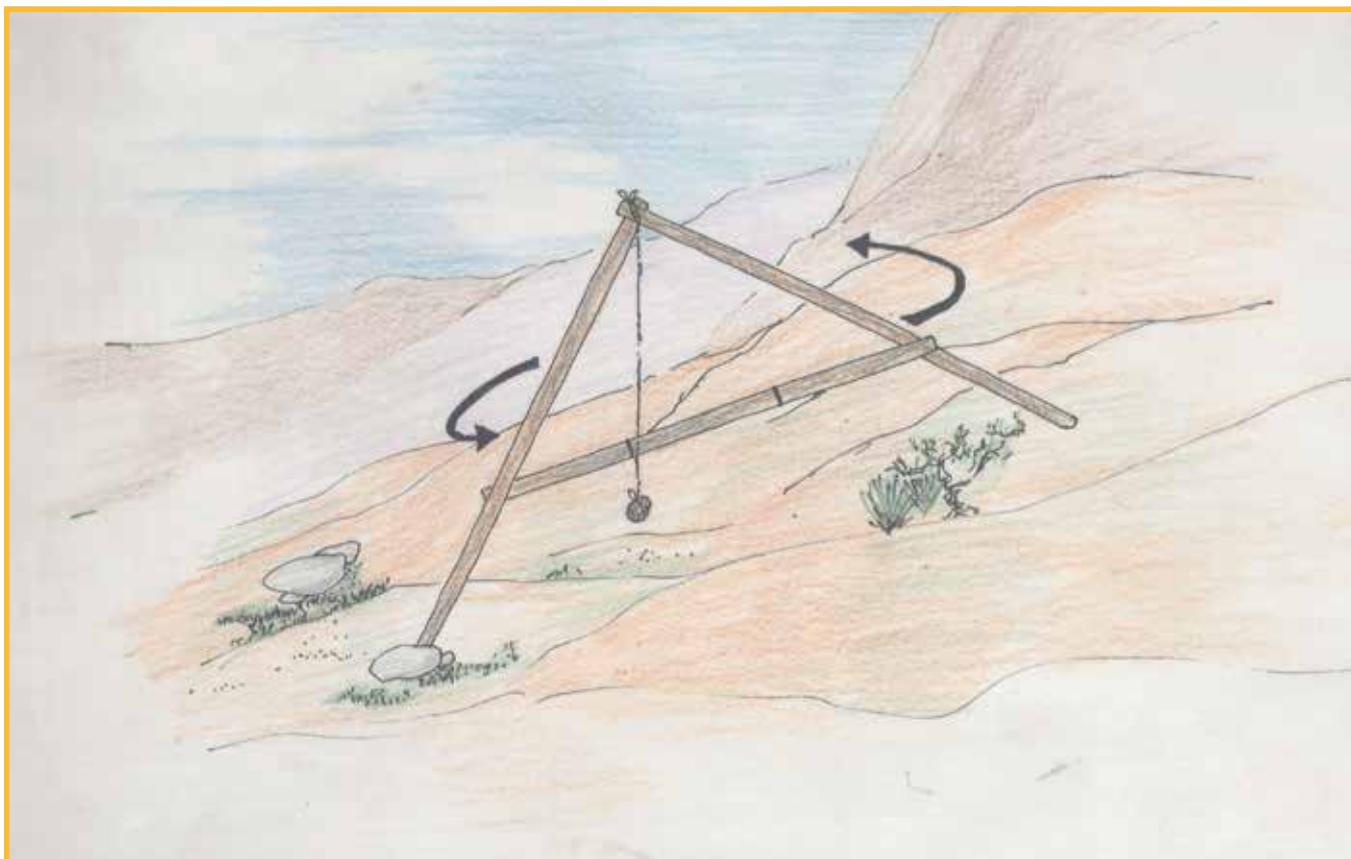
- » 3 varillas de madera.
- » Hilo, sogá o cordel.
- » Algún elemento para utilizar como plomada, por ejemplo una piedra.
- » Clavos, tornillos o una sogá que permitan fijar las varillas.

Tabla 9: Pasos para la construcción del Nivel "A".

| Paso 1 | Paso 2 | Paso 3 |
|---|---|---|
| Armamos las patas utilizando las varillas de madera y los clavos. | A la mitad de cada pata clavamos el travesaño que forma la "A". | Atamos la sogá o hilo en la unión de las dos patas. En el otro extremo de la sogá atamos la plomada que debe quedar por debajo del travesaño. |

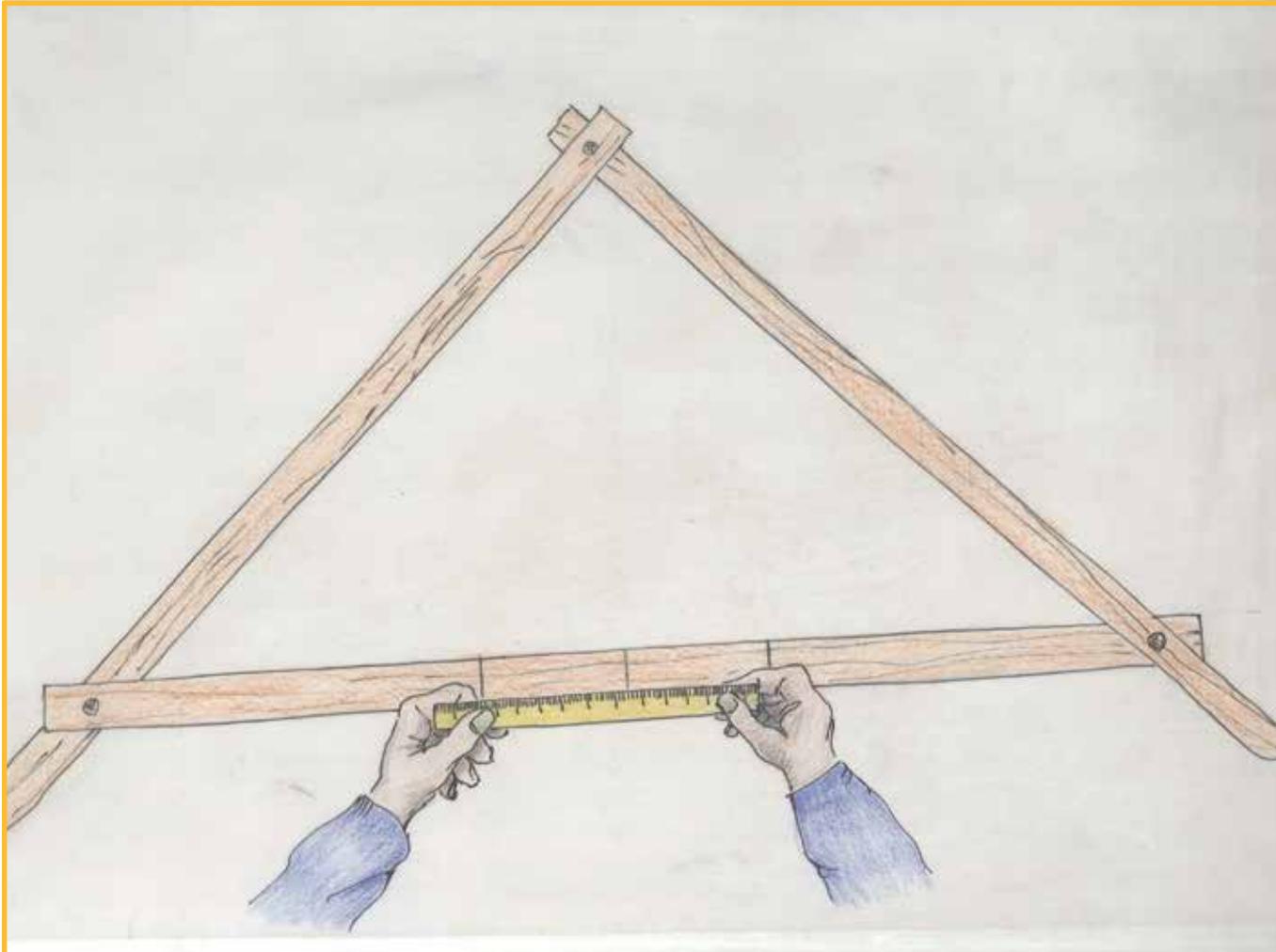
Una vez que armamos el instrumento, necesitamos marcar el punto en el travesaño que indica que ambas patas están al mismo nivel (calibración). Para ubicar dicho punto el procedimiento es el siguiente:

- 1 - Ubicamos el Nivel "A" sobre el terreno y marcamos mediante estacas o piedras el lugar donde se apoyan las dos patas.
- 2 - Marcamos en el travesaño el lugar por donde pasa el cordel o hilo cuando deja de moverse la plomada.
- 3 - Realizamos medio giro con la "A" colocando las patas en las mismas marcas en el terreno donde estaban apoyadas anteriormente.



Medio giro de la "A" para realizar la segunda marca para calibrar del instrumento.

4. Marcamos nuevamente en el travesaño donde cruza el cordel con la plomada ya estabilizada.
5. El travesaño tiene ahora dos marcas. El punto medio entre ambas será el lugar en que el cordel se ubicará cuando las patas están a nivel o desnivel cero. Marcamos dicho punto en el travesaño.



Identificación del punto medio que nos marcará el nivel cero.

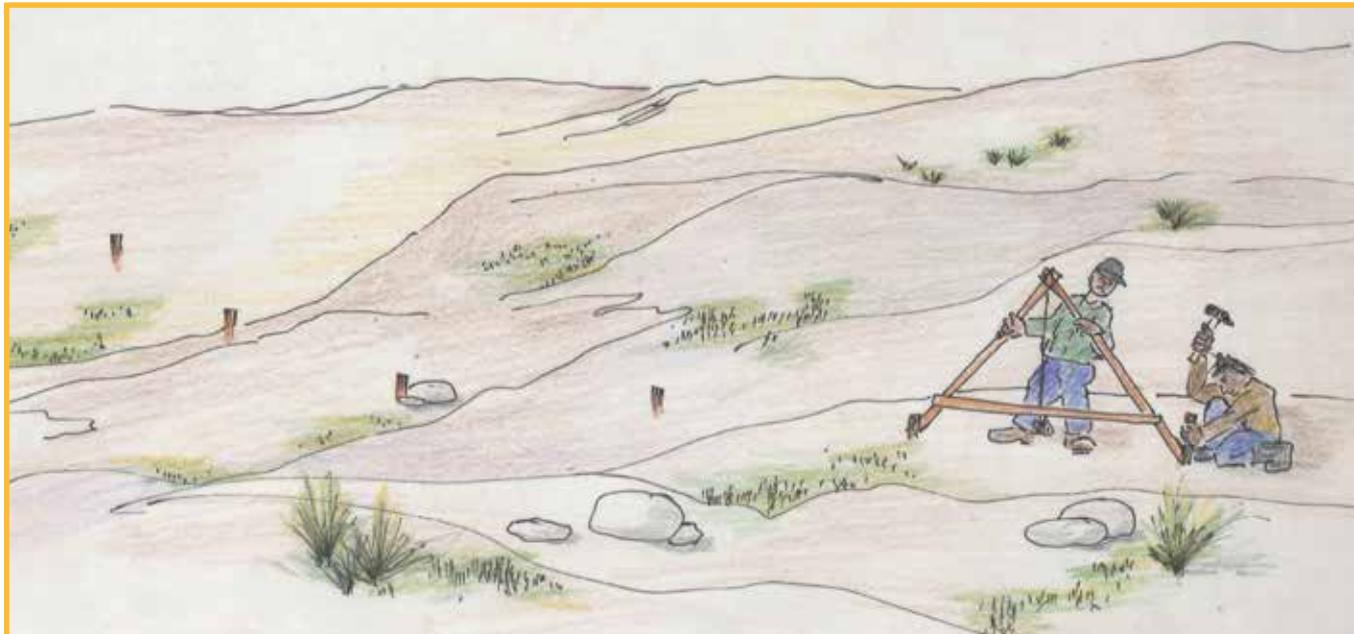


Pasos para la construcción del Nivel "A".

TRAZADO DE CURVAS DE NIVEL

Tal como definimos antes, una curva de nivel es una traza en el terreno que une puntos que se encuentran a una misma altura. Para el trazo a nivel mantenemos una pata fija en el suelo, y movemos la otra pata arriba y abajo buscando el punto donde la soga coincida con la marca de nivel cero en el travesaño.

De esta forma avanzamos, colocando la pata que estaba atrás en el punto donde estaba la pata de adelante y buscamos nuevamente el nivel cero en el travesaño, y así sucesivamente.



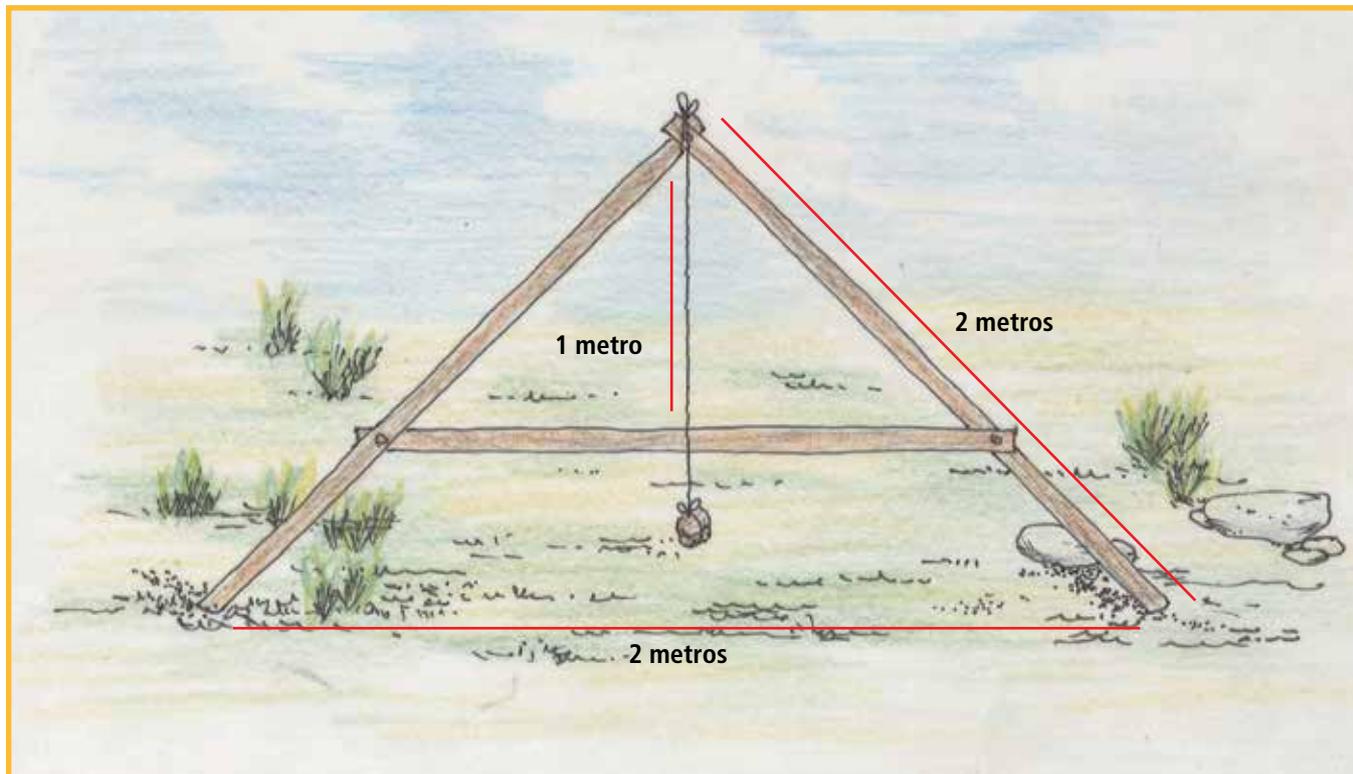
Marcación de los puntos a nivel en el terreno con Nivel "A".

Trazar curvas a nivel con este instrumento nos permite saber que desde esa línea hacia abajo el agua puede ser conducida, esto nos posibilitará bajar en el terreno los centímetros necesarios desde la curva.

NIVEL "A" AJUSTADO O ESTANDARIZADO

Permite medir el desnivel en el terreno porque tiene medidas previamente normadas. De esta manera, cuando marca 1cm en el travesaño, indica un desnivel de 1cm por cada metro en el terreno.

La construcción y el calibrado es similar, sólo que las patas y la abertura entre ellas tienen dos metros exactos, y el travesaño está colocado a un metro en forma vertical desde donde se ata la soga o hilo.



Nivel "A" estandarizado.

C. NIVEL ÓPTICO

El Nivel Óptico o de anteojo es un instrumento que permite medir diferencias de altura en distancias mayores (hasta 200 metros) siempre y cuando los desniveles no sean muy pronunciados.

Consta de un “anteojo” por donde miramos, con un retículo de hilos (líneas que vemos a través del anteojo) para apuntar y tomar lecturas, y un nivel de burbuja para nivelar el instrumento.



Nivel óptico.

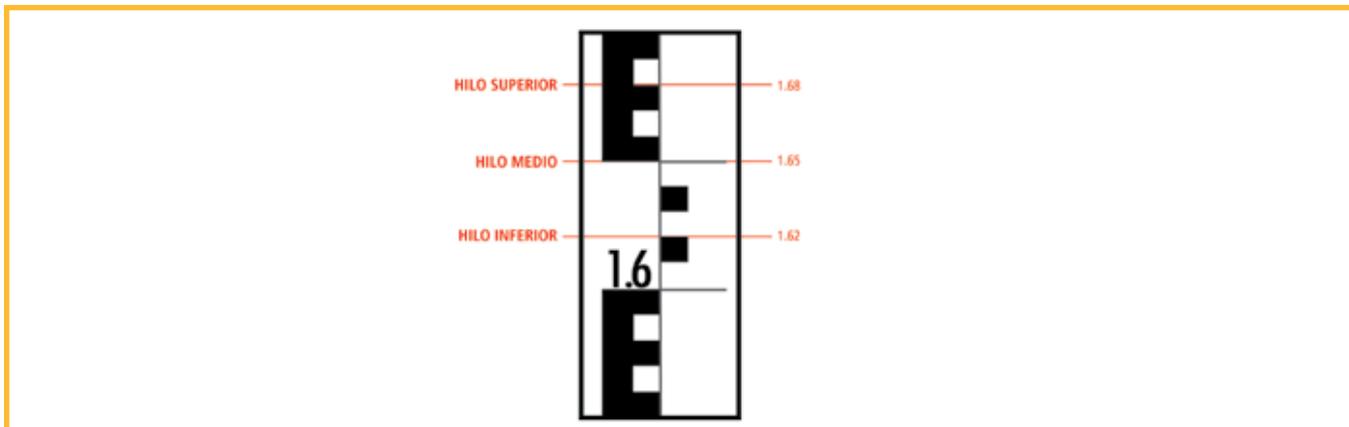
» Además tiene:

- » Tres tornillos en la parte inferior, que forman la plataforma para nivelar la burbuja (tornillos calantes).
- » Un tornillo para enfocar, situado sobre al costado del anteojo y que al moverlo nos permite ajustar la nitidez de la imagen.
- » Un regulador de la visión de los hilos o retículo, colocado sobre el extremo del anteojo en la parte donde vamos a mirar.
- » El nivel se instala en un trípode y viene acompañado por miras graduadas o reglas que utilizamos para medir el desnivel.



Nivel óptico, mira graduada y trípode.

La lectura de niveles se hace apuntando “el hilo medio” del Nivel Óptico hacia una regla graduada en centímetros (se encuentra resaltada en colores rojo y negro) que debe permanecer perfectamente vertical al momento de las lecturas.

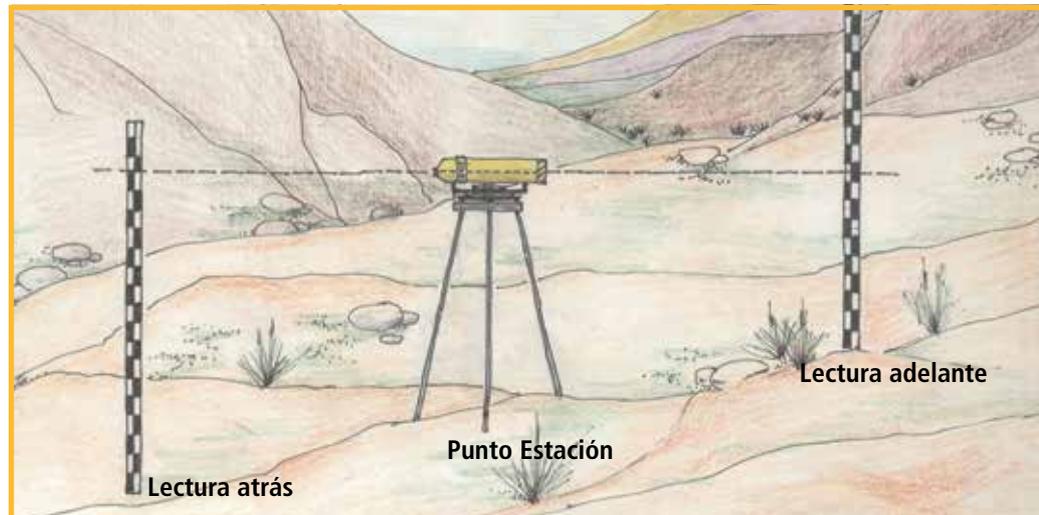


Mira graduada. Los centímetros en la mira se identifican con la letra E, cada “patita” y cada “hueco” representan un centímetro.

» **Ejemplo:**

En el dibujo observamos por debajo del hilo medio, el 1.6 como el número más cercano. Ese número significa 1.6 metros. Al 1.6 le sumamos las partes de la E (cada una representa 1cm) hasta llegar al punto que coincide con el hilo medio. En nuestro dibujo, son cinco partes de la E. Entonces desde el 1.6 sumamos 5 centímetros. La lectura sería: 1 metros con 65 centímetros (1,65 metros). Las miras tienen generalmente 4 a 6 metros de largo.

Colocamos el Nivel Óptico entre los dos puntos que deseamos conocer su desnivel (Punto Estación). Desde allí realizamos las lecturas de las reglas que se ubicarán entre los puntos a medir. La lectura se realiza respecto al punto ubicado atrás y al punto ubicado delante. La diferencia entre las lecturas nos dará el desnivel del terreno.



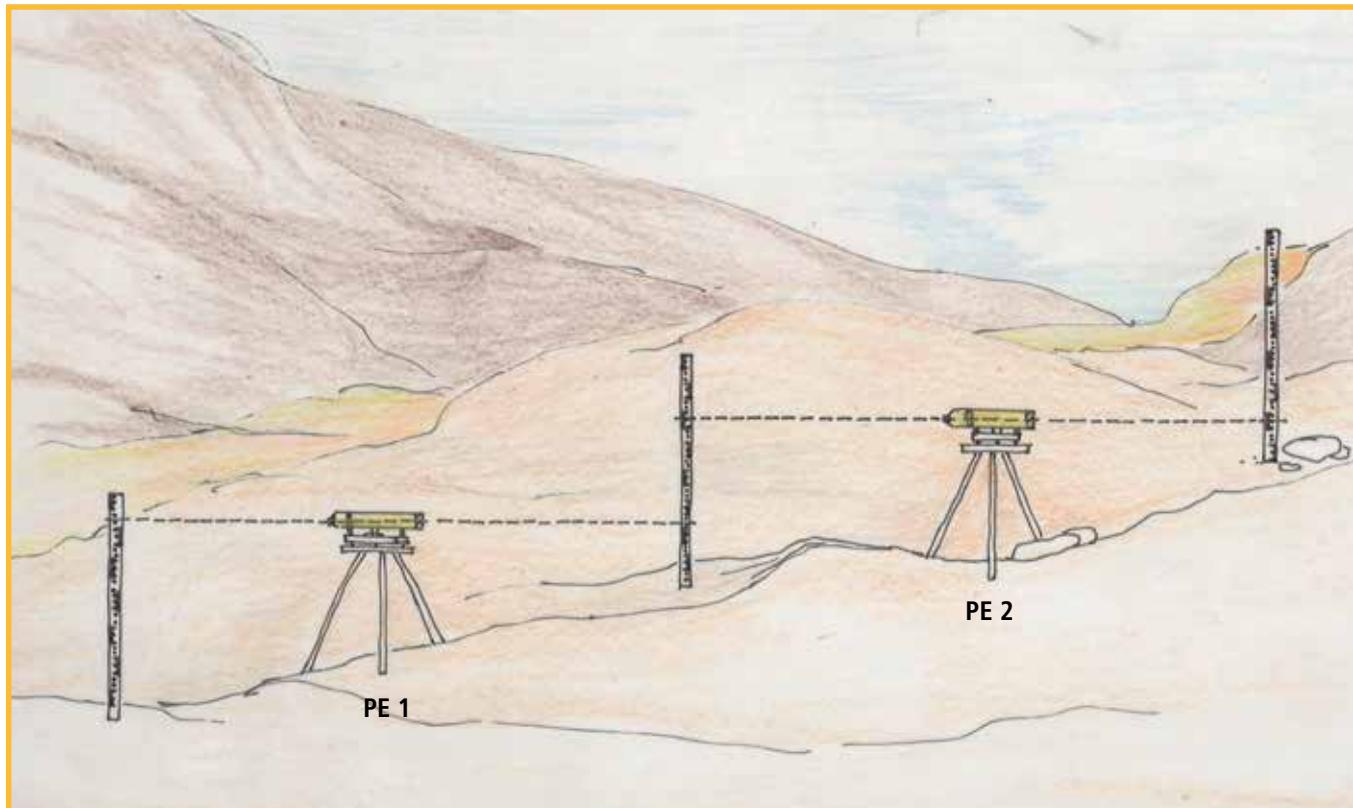
Utilización del Nivel Óptico para medir desniveles.

$$\text{Desnivel} = \text{lectura mira atrás} - \text{lectura mira adelante}$$

Cuando el desnivel es positivo, el terreno sube y cuando es negativo, el terreno baja.

El cálculo del desnivel entre puntos muy distantes debe realizarse por etapas. Cada una se llama “estación” y lo ideal es posicionar el Nivel a distancias semejantes de los puntos a medir, dado que las lecturas son hacia “atrás” y posteriormente hacia “adelante”.

La lectura “atrás” se realiza en el punto que anteriormente fuera “lectura adelante”. La sumatoria de todos los desniveles nos indicará el desnivel total.



Utilización del Nivel Óptico para medir desniveles entre puntos distantes.

MEDICIÓN DE DISTANCIAS

Además del hilo medio, en el Nivel Óptico podemos observar un hilo superior y un hilo inferior. La lectura de estos hilos permite determinar las **distancias entre el nivel y la mira**, a partir de la resta de ambas medidas y la multiplicación del resultado por una constante que generalmente es 100.

$$\text{Distancia (m): (Hilo superior – Hilo inferior) * cte (100)}$$

Tabla 10: Pasos para medir desniveles con un Nivel Óptico.

PASO 1

Marcamos los dos puntos entre los que queremos conocer el desnivel.

PASO 2

Colocamos el Nivel Óptico entre los dos puntos.

Nivelamos el aparato en posición horizontal acomodando las patas del trípode. Luego nivelamos la burbuja que posee el Nivel con los tres tornillos que se encuentran sobre la base del aparato. Para ello movemos de a dos tornillos por vez. Para finalizar giramos el nivel 180° y controlamos que la burbuja continúe en posición de nivelación.



PASO 3

Nivelación de la burbuja mediante los tornillos calantes.

Colocamos la mira graduada en el primer punto, visualizamos la mira con el anteojo del nivel y tomamos la lectura del hilo medio. Si también queremos medir distancias registramos las lecturas de los hilos superior e inferior. Esta será la lectura atrás.



Toma de lecturas.

PASO 4

PASO 5

Ubicamos la mira en el segundo punto, se gira el nivel y se toma la lectura del hilo medio, superior e hilo inferior de la misma forma que en la lectura anterior. Esta será la lectura adelante.

PASO 6

Cambiamos el nivel de lugar (punto estación 2) el punto anterior medido pasa a ser nuestra lectura atrás (en la medición anterior era la lectura adelante), y así sucesivamente. Además medimos las distancias entre punto y punto.

PASO 7

Escribimos los datos en una planilla, para después hacer los cálculos correspondientes.

Tabla 11: Planilla tipo para escribir los datos registrados con el Nivel Óptico.

| Punto de estación | Lectura atrás | Lectura adelante | Desnivel Lectura atrás - lectura adelante | Desnivel acumulado | Distancia | Distancia acumulada |
|-------------------|---------------|------------------|--|-----------------------|-----------|------------------------|
| PE1 | 1,5 | 1,9 | -0,4 | -0,4 | 20 | 20 |
| PE2 | 1,7 | 1,5 | 0,2 | -0,2 | 60 | 80 |
| PE3 | 1,8 | 2,9 | 1,1 | 0,9 | 40 | 120 |
| PE4 | 1,6 | 3,1 | -1,5 | -0,6 | 10 | 130 |
| PE5 | 2,6 | 1,4 | 1,2 | 0,6 | 25 | 155 |

» Desnivel total: 0,6m
» Distancia total: 155m

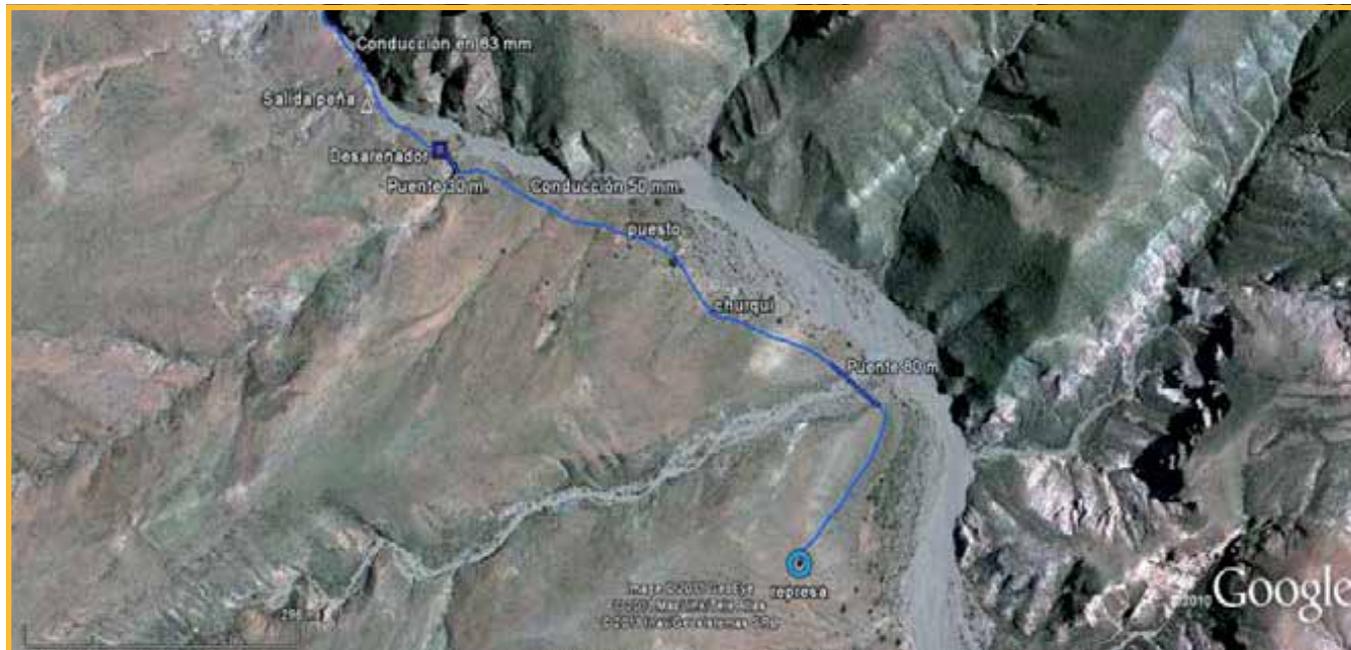
En el caso que además midamos distancias debemos incorporar a la planilla los datos de hilo superior e hilo inferior para cada lectura.

D. USO DEL NAVEGADOR GPS Y GOOGLE EARTH

Cada vez es más usual recurrir a estas herramientas que permiten medir distancias y desniveles, logrando de manera rápida una primera aproximación para el diseño de nuestro sistema. No son instrumentos muy precisos, pudiendo tener errores de diversa magnitud con lo cual su uso en sistemas presurizados quedará medianamente restringido.

Google Earth es un programa informático que permite visualizar imágenes de satélite en 3D (tres dimensiones) y observar el relieve del terreno, los metros sobre el nivel del mar, coordenadas geográficas, entre otros datos.

Cuenta además con una serie de herramientas para marcar los puntos de interés, dibujar las trazas de la conducción, calcular distancias, desniveles y se pueden generar mapas para el diseño preliminar de un sistema de abastecimiento de agua.



Mapa de sistema de abastecimiento de agua realizado con Google Earth.

El navegador GPS, o Sistema de Posicionamiento Global, es un instrumento que utiliza un sistema de navegación basado en la recepción de datos satelitales. Proporciona información fiable de nuestra localización en cuanto a altitud, latitud y longitud.

Mediante el navegador GPS podemos capturar nuestra posición geográfica y la altura sobre el nivel del mar (msnm), asignándole un nombre al punto en el terreno que queremos registrar. Entre otras funciones, puede generar trazas mediante una sucesión de puntos geo-referenciados que podemos guardar automáticamente.

De este modo registramos o levantamos puntos que luego volcaremos en un mapa. Podemos conectar el navegador GPS al programa Google Earth para incorporar los puntos tomados en terreno sobre la imagen satelital.

El navegador GPS también se puede utilizar de forma sencilla, para registrar puntos en el campo, determinar la altimetría de cada uno y las distancias entre ellos, mientras anotamos en forma manual los datos en una planilla.



*Sistemas de conducción
mediante tuberías*

4. SISTEMAS DE CONDUCCIÓN MEDIANTE TUBERÍAS

4.1 Dimensionamiento del sistema de conducción mediante tuberías

Realizado el relevamiento de los datos en terreno, estamos en condiciones de hacer los cálculos necesarios para avanzar en el diseño del sistema de conducción mediante tuberías. Con la planificación de obras complementarias y accesorios, nos acercaremos al diseño definitivo de nuestro sistema de conducción.

» **Necesitaremos resolver dos cuestiones fundamentales:**

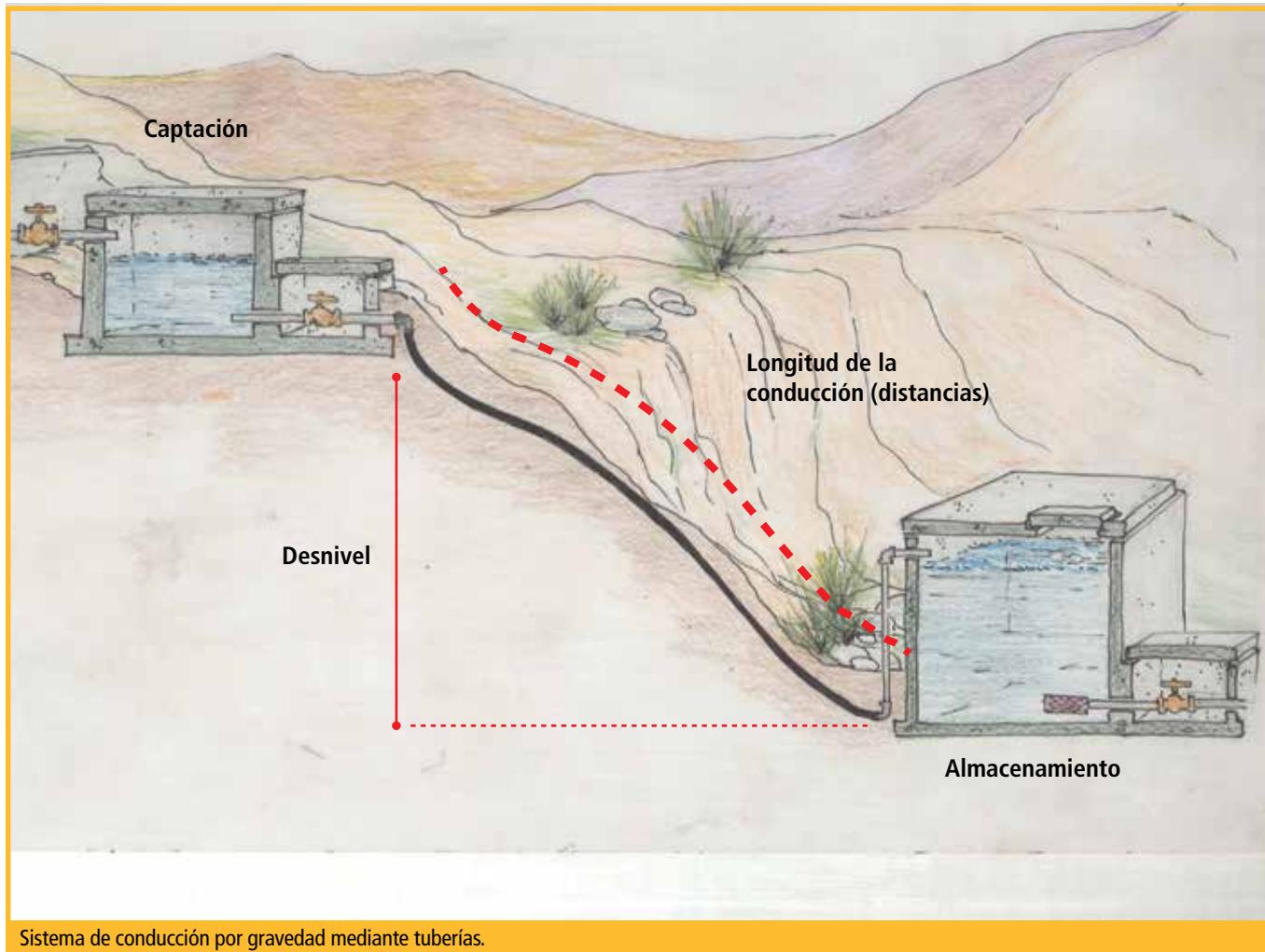
A - El cálculo del diámetro y la selección del material más adecuado para la tubería.

B - La planificación y construcción de obras complementarias y accesorios.

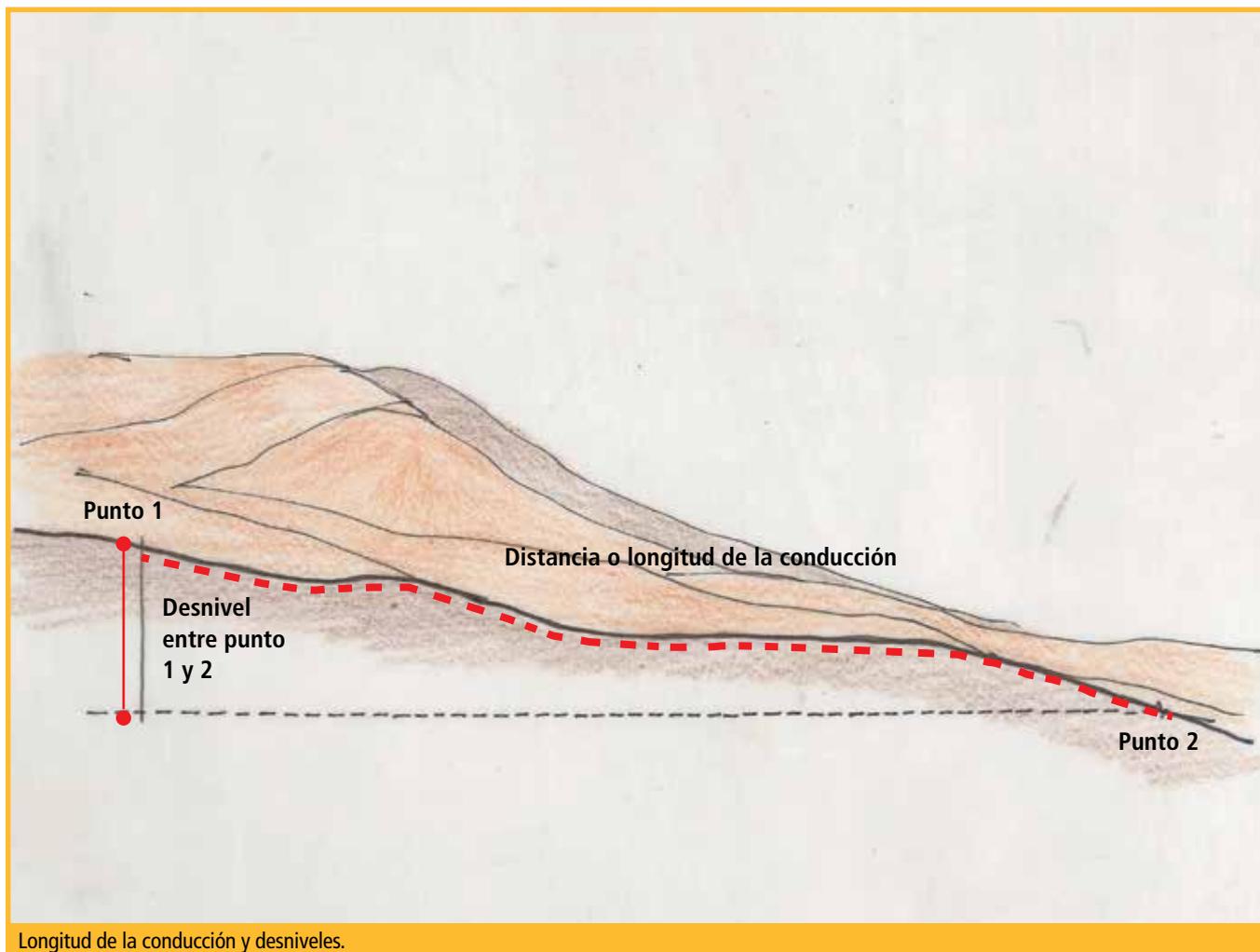
En muchas ocasiones, debemos incorporar dispositivos que permitan regular la distribución del flujo de agua en sitios intermedios de su recorrido. Cuando las pendientes del terreno son muy pronunciadas se generan altas velocidades de circulación en la tubería, lo que hace que “el agua pase de largo” e impida una distribución efectiva de la misma. En otras situaciones, será necesario instalar mecanismos de regulación de presiones para evitar roturas en el sistema, lo que explicaremos más adelante.

Estimado el caudal disponible o requerido, debemos asegurar que el agua incorporada al sistema mediante la captación, sea distribuida efectivamente al almacenamiento o a los sitios de uso.

Tendremos que relacionar adecuadamente los datos de desnivel y distancia, dado que para un mismo caudal, el diámetro de la tubería dependerá directamente de estos valores, tal como analizaremos a continuación.



Sistema de conducción por gravedad mediante tuberías.



4.1.1 Determinación del diámetro de la tubería

Para definir el diámetro de la tubería que instalaremos en nuestro sistema podemos utilizar tres métodos que explicaremos en este manual:

- A - Cálculo de las pérdidas de carga en el sistema.
- B - Uso de tablas.
- C - Programas informáticos sencillos, como el DISCAN.

A. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA

Si bien es un método complejo, nos permite comprender el fundamento teórico para dimensionar el diámetro de la tubería, además de ser más preciso y permitir calcular la presión en la salida del sistema de conducción⁸.

Como ya sabemos, para elevar el agua desde un punto más bajo a un punto ubicado a mayor altura necesitamos un sistema de bombeo que aplique energía (eléctrica, combustible, eólica) para conducir el agua hasta el lugar planificado. Cuando queremos conducir el agua a una altura más baja respecto a la de su fuente, aprovechamos la fuerza de gravedad que provee la energía necesaria para poner en movimiento el agua en nuestro sistema de conducción. Por lo tanto, al ser la fuerza de gravedad la que aporta la energía necesaria para conducir el agua y que es generada por el desnivel existente a lo largo de toda la conducción, esa energía estará directamente condicionada por la diferencia de altura o la “caída” entre ambos puntos.

Evitando caer en cálculos hidráulicos complejos, podemos decir que **la velocidad del agua dependerá del desnivel existente entre ambos puntos de conducción.**

A mayor desnivel, mayor será la velocidad del agua que circulará por la tubería y en consecuencia menor será el espacio ocupado por ésta en su interior. Por el contrario un sistema con un desnivel menor entre los puntos a recorrer,



Instalación de tuberías. Comunidad Punta Corral, Jujuy.

⁸ El cálculo de la presión en la salida de la conducción se explica en el Anexo 6

requerirá una tubería de mayor diámetro ya que el agua estará ocupando mayor espacio en su interior porque circulará de manera más lenta.

Recordemos que el caudal es igual a la velocidad multiplicada por la sección.

$$\text{CAUDAL} = \text{VELOCIDAD} * \text{SECCIÓN}$$

En las tuberías la sección está determinada por el diámetro. Entonces, para un mismo caudal, a mayor pendiente, mayor velocidad, y por lo tanto menor sección o diámetro. Por el contrario, a menor pendiente, menor velocidad, entonces, mayor sección o diámetro.

Para el uso de tuberías, se recomienda que las velocidades del agua **no sean inferiores a 0,6 m/s** para prevenir el depósito de sedimentos (nunca menor a 0,3 m/s), **ni mayores a 3 m/s**, porque podrían originar roturas por sobrepresiones al cerrar el sistema.

Cuando el sistema de conducción se encuentra lleno y cerrado, el agua permanece en reposo (fluido estático) generando en el interior de la tubería cierta presión del líquido sobre las paredes.

A esta presión se la denomina “columna de agua” o “altura de carga” y es igual al desnivel existente entre los puntos en los que se encuentra la tubería. Por lo tanto, conocer la diferencia de altura nos informará sobre la presión que deberá soportar la tubería.

» Recordemos

Estas unidades son las más comunes para hacer referencia a la presión en sistemas de conducción cerrados.

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ metros de columna de agua} = 1 \text{ atmósfera} = 10 \text{ metros de desnivel de tubería} = 1 \text{ bar}$$

Cuando se abre la válvula de cierre del sistema, el agua entra en movimiento y circula por la tubería generando fricción o rozamiento en las paredes. Estas fricciones producen pérdidas de la energía producida por acción de la gravedad.

Técnicamente, se denominan **pérdidas de carga (Hf)**⁹ que se traducen en pérdidas de energía en el sistema. Las pérdidas de carga se expresan en metros de columna de agua que pierde el sistema, por cada metro de conducción (m/m).

⁹ En una forma sencilla de decirlo, las pérdidas de carga nos quita parte del desnivel que tenemos.

» Las pérdidas de carga en las tuberías dependen de:

- » La longitud de la conducción o distancia que recorre la tubería: cuanto más largo es el tramo de la conducción, mayores serán las pérdidas de carga por rozamiento.
- » El diámetro de la tubería: cuanto menor sea el diámetro, mayor será el rozamiento y mayores las pérdidas de carga.
- » El material de la tubería: cuánto más rugosas sean las paredes internas de la conducción, habrá más rozamiento y mayores serán las pérdidas de carga
- » Los accesorios que se instalarán en la conducción: las válvulas, conexiones, codos, producen cambios en el diámetro de la tubería causando mayor rozamiento y mayores pérdidas de carga.
- » El caudal a transportar: para conducir un mismo caudal hay que considerar que a mayor diámetro de tubería, menor es la velocidad y menor el rozamiento, por lo tanto se producen menores pérdidas de carga.
- » La velocidad del agua: a mayor velocidad, mayor rozamiento y por lo tanto, mayores pérdidas de carga.

A medida que las pérdidas de carga aumentan se disminuye la energía generada por el desnivel, por lo que habrá cada vez menos energía para transportar el caudal y en un caso extremo éste se verá afectado si el valor de las pérdidas de carga supera el desnivel.

Dado que el concepto de pérdidas de carga es muy abstracto y difícil de observar en el terreno, tomemos en cuenta el siguiente concepto que se desprende de lo anterior y que nos permitirá calcular el diámetro de la tubería:

Para poder conducir el caudal de diseño, las pérdidas de carga deben ser menores al desnivel del terreno.

La conducción de un caudal entre dos puntos requiere que identifiquemos las pérdidas de carga. Si éstas son menores al desnivel del terreno, podremos conducir el caudal de diseño sin inconvenientes y el agua saldrá con determinada presión.

Por el contrario, si las pérdidas de carga son mayores al desnivel del terreno, no podremos conducir el caudal de diseño porque la energía proporcionada por la diferencia de altura es superada por las pérdidas de carga que se originan en el rozamiento producido en tuberías y accesorios. De esta manera, estaremos conduciendo un caudal menor al diseñado.

Para corregir esta situación elegiremos un diámetro mayor de tubería, que disminuya la influencia de las pérdidas de carga en el sistema. Recordemos que a mayor diámetro de tubería menor será el rozamiento y por lo tanto menores las pérdidas de carga.

Para definir el diámetro de la tubería probaremos con distintas medidas para que las pérdidas de carga totales sean menores que el desnivel.

ENERGÍA FINAL DEL SISTEMA

DESNIVEL DEL TERRENO (DH) – PÉRDIDAS DE CARGA DE LA TUBERÍA (HF)

Si esta diferencia nos da positiva significa que queda energía para llevar el caudal.



Traslado de materiales, Comunidades de Valles Orientales de Tilcara, Jujuy.

También se producen pérdidas de carga a causa de los accesorios incorporados a la tubería, que facilitan el funcionamiento y control del sistema, como llaves de paso, codos, T o reducciones, pero producen rozamiento del agua al pasar por ellos. Para considerar estas pérdidas de carga se diseñaron tablas que permiten obtener el valor de su

equivalente en metros de columna de agua. Esta tabla se denomina de “longitudes equivalentes” o “longitudes ficticias” y la encontraremos en el Anexo 5.

En la práctica, cuando los sistemas tienen distancias largas, las conexiones no se toman en cuenta porque las pérdidas de carga son mínimas, y se calculan sólo las generadas por los accesorios mayores, como válvulas de regulación o cierre.

Otra alternativa para facilitar el cálculo de las pérdidas de carga por accesorios, es aumentar las pérdidas ya calculadas en la tubería entre un 5 y un 15%

Para definir en forma manual el diámetro de tubería más conveniente, podemos seguir los pasos que se describen a continuación.

PASO 1: determinamos las pérdidas de carga de la conducción.

Las pérdidas de carga se calculan mediante fórmulas hidráulicas que se seleccionan de acuerdo al material de la conducción. En el Anexo 3 encontraremos algunas de las fórmulas más utilizadas.

Para facilitar los cálculos, se han confeccionado tablas que permiten dimensionar las pérdidas de carga por metro lineal (m/m) de acuerdo al caudal y al diámetro de la tubería.

Tabla 12: Pérdidas de carga en metros por metro de tubería para un caudal y diámetro determinado.

| Caudal | | Diámetro de la tubería en milímetros (mm) y pulgadas (") | | | | |
|----------------|-------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | | 12mm | 19mm | 25mm | 48mm | 50mm |
| Litros/segundo | m ³ /s | ½" | ¾" | 1" | 1 ½" | 2" |
| 0,1 | 0,0001 | 0,0963 | 0,0106 | 0,0028 | 0,0004 | 0,0001 |
| 0,25 | 0,00025 | 0,5012 | 0,0552 | 0,0148 | 0,0021 | 0,0005 |
| 0,5 | 0,0005 | | 0,1923 | 0,0515 | 0,0074 | 0,0018 |
| 0,75 | 0,00075 | | 0,3989 | 0,1069 | 0,0153 | 0,0038 |
| 1 | 0,001 | | 0,6695 | 0,1793 | 0,0256 | 0,0064 |
| 1,25 | 0,00125 | | | 0,2680 | 0,0383 | 0,0096 |
| 1,5 | 0,0015 | | | 0,3721 | 0,0531 | 0,0134 |
| 1,75 | 0,00175 | | | 0,4911 | 0,0701 | 0,0176 |

El valor de pérdida de carga por cada metro (m/m) obtenido de la tabla lo multiplicamos por la longitud de la conducción y nos dará las pérdidas de carga totales. En el Anexo 4 encontraremos la tabla completa.

» **Ejemplo:**

Calculamos el diámetro de una tubería para transportar un caudal de 0,25 l/s ó 0,00025 m³/s. La longitud de la conducción es de 200 metros y el desnivel es de 6 metros.

Pasos seguir:

1) Entramos en la tabla con el caudal y el diámetro de la tubería. Probamos con un diámetro de tubería de 19mm o ¾".

Resultado: Hf = 0,0552 m/m

2) Multiplicamos ese valor unitario de pérdida de carga (m/m) por la longitud del sistema para obtener las pérdidas de carga totales.

Si la tubería es de 200 metros de longitud,

200m * 0,0552 m/m = 11,04m

Resultado: las pérdidas de carga serán de 11,04m de columna de agua

3) Incorporamos las pérdidas por accesorios, sumando un 10%.

11,04 + 1,1 = 12,14m

Resultado: 12,14m de Hf totales

PASO 2: comparamos las pérdidas de carga totales con el desnivel de la conducción

Como vimos, para un caudal de 0,25 l/s ó 0,00025 m³/s, un diámetro de tubería de 19mm ó ¾" y una longitud de conducción de 200 metros, las pérdidas de carga son de 12,14 metros.

Sabemos que el desnivel del sistema es de 6 metros.

Comparamos que el desnivel sea mayor a las pérdidas de carga: Hd > Hf:

6 metros < 12,14

El desnivel es menor a las pérdidas de carga, por lo tanto este diámetro de tubería no conducirá el caudal de diseño.

PASO 3: dado que el desnivel es menor a las pérdidas de carga, pasaremos al diámetro inmediato superior y volvemos a realizar el ejercicio

Probamos con el diámetro siguiente, que será 25mm o 1".

Tomamos el valor de H_f de la tabla y multiplicamos por 200m

$$0,0148 \text{ m/m} * 200\text{m} = 2,96\text{m} + 0,29 \text{ (10 \% accesorios)} = 3,25\text{m}$$

Entonces $H_d = 6\text{m}$ y $H_f = 3,25\text{m}$. El $H_d > H_f$ (es mayor), por lo tanto con tuberías de 25mm de diámetro podremos conducir el caudal de diseño.

La conducción será con tuberías de un diámetro de 25mm o 1"

Para definir anticipadamente el diámetro aproximado de la tubería, podemos dividir el desnivel por la distancia, lo que nos dará el desnivel unitario por metro. Cuando este valor unitario es menor que el valor de pérdidas de carga unitario, tomamos ese diámetro y realizamos los pasos ya explicados. En nuestro ejemplo,

$$Dh/Dl = 6\text{m}/200\text{m} = 0,03 \text{ m/m}$$

El valor 0,03 lo comparamos en la tabla con los valores de H_f para nuestro caudal, en este caso 0,25 l/s. Como vemos, para 25mm de diámetro las pérdidas de carga son menores ($0,014 < 0,03$).

En el Anexo 6 encontramos 2 metodologías con ejemplos desarrollados para obtener el diámetro de la tubería mediante el cálculo de las pérdidas de carga.



Acopio de tuberías.

B. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA CON EL USO DE TABLAS

Esta metodología es más sencilla, pero debemos tomar ciertos recaudos, ya que en algunos casos al seleccionar el diámetro podemos sobredimensionarlo y la conducción trabajaría parcialmente llena (flujo libre).

Por otro lado, desconoceremos el valor de las pérdidas de carga y no será posible calcular los metros de columna de agua al final de la tubería. Lo que queremos asegurar al seleccionar el diámetro es **conducir sin problemas el caudal de diseño**. En la tabla, se ingresa a partir del caudal de diseño en litros/segundo, y seleccionamos el rango de desnivel y distancias de nuestro sistema. En Anexo 7 se encuentra la tabla completa.

Analicemos el siguiente ejemplo:

Calculemos el diámetro de tubería para trasladar un caudal de 1 l/s en una distancia de 700 metros y con un desnivel de 35 metros. Según la Tabla 13 para un caudal de 1 l/s y utilizando los valores inmediatos superiores de desnivel (40 metros) y de distancia (800 metros), la tubería a seleccionar deberá ser de 38mm o su equivalente 1 ½”.

Tabla 13: Cálculo de diámetro de tuberías con datos de caudal, desnivel y longitud de la conducción.

| Caudal en litros /segundos | Desnivel (metros) | Longitud de la conducción (metros) | | | | | |
|----------------------------|-------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| 0,75 l/s | 10 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | 20 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 40 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 60 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 |
| | 80 | 19 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 |
| | 100 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 |
| | 120 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 1 l/s | 10 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 20 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 |
| | 40 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 60 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 80 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 |
| | 100 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 |
| | 120 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 |
| 1,5 l/s | 10 | 38 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| | 20 | 38 | 38 | 40 | 50 | 50 | 50 |
| | 40 | 25 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 |
| | 60 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 80 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 100 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |

C. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA MEDIANTE EL PROGRAMA DISCAN

El programa DISCAN, que acompaña el presente manual, nos permite dimensionar el sistema de conducción con diámetros de tubería de hasta 300mm, para la distancia y desnivel que le indiquemos.

Iniciamos el programa con la carga del nombre del proyecto y su localización. Luego disponemos de las siguientes opciones de acuerdo a lo que necesitemos dimensionar:

Primera opción: Obtener el diámetro en milímetros de la tubería que nos conduce el caudal de diseño (esta opción es la más utilizada).

Segunda opción: Obtener el caudal en litros/hora que conduce un diámetro de tubería pre-determinado (nosotros definimos un diámetro).

Tercera opción: Obtener la longitud máxima en que puede conducir un caudal de diseño con un determinado diámetro de tubería y desnivel (m.c.a).

Seguidamente encontraremos los tres casilleros donde cargamos los datos que hemos relevado en terreno según la opción elegida. Por ejemplo, para determinar el diámetro de tubería, cargamos los siguientes datos:

1 - La distancia o longitud de la conducción, expresada en metros.

2 - El caudal de diseño, expresado en litros/hora. En este caso debemos tener en cuenta las equivalencias, muchas veces en el campo medimos el caudal en otras unidades, por ejemplo en litros/segundo, $m^3/segundo$.

The screenshot shows the DISCAN software interface. At the top, there are input fields for 'Proyecto:' (Lipes) and 'Ubicación:' (Los Toldos). Below these are three buttons: 'Obtener Diámetro (D)', 'Obtener Caudal (Q)', and 'Obtener Largo máximo (Lg)'. The main area contains several data fields with values of 0,00: 'Longitud máxima: L (m)', 'Caudal calculado: Q (l/h)', 'Metros de columna de agua: mca', 'Diámetro tubería calculado: d (mm)', 'Diámetro tubería comercial: d (mm)', 'Pérdida de carga tubería: H_J-VD mca', 'Pérdida de carga por accesorios: mca', and 'Pérdida de carga totales: mca'. A 'Descripción Adicional:' field is at the bottom. On the right side, there is a vertical toolbar with icons for 'Calcular', 'Restablecer', 'Imprimir', 'Informe', 'Datos Guardados', 'Guardar', and 'Cerrar'.

Tabla 14: Equivalencias más utilizadas para medidas de caudal.

| Equivalencias | |
|---------------------------|---------------------|
| 1 litro/segundo | 3600 litros/hora |
| 1 m ³ /segundo | 1000 litros/segundo |
| 1 litro/minuto | 60 litros/hora |

3 - El desnivel del terreno entre los puntos de la conducción, expresado en metros.

Cargados los datos, hacemos clic en el botón calcular y obtenemos el diámetro de la tubería que debemos utilizar para conducir el caudal de diseño. El siguiente casillero nos informa el diámetro comercial requerido.

Luego encontramos el cálculo de las pérdidas de carga en el sistema, correspondientes al diámetro comercial y podemos cargar en el siguiente casillero las pérdidas de carga por accesorios en forma manual, por ejemplo un 10% de las pérdidas de carga en la tubería.

Si cargamos las pérdidas de carga por accesorios debemos aplicar nuevamente calcular; en el caso que las pérdidas de carga totales superen al desnivel del terreno el programa recalcula el diámetro comercial.

En el siguiente casillero encontraremos las pérdidas de carga totales.

En la parte inferior del programa contamos con la opción Descripción Adicional que permite agregar información complementaria del proyecto.

Además podemos utilizar las siguientes opciones:

Restablecer: permite borrar para modificar los datos.

Imprimir: imprime la información de cálculo obtenida.

Informe: genera un informe con los datos cargados en el programa.

Guardar: guarda los datos de cálculo con el nombre del proyecto. Esto nos permitirá volver a mirarlos con la opción Datos Guardados.

Datos Guardados: recupera los datos de proyectos anteriores que fueron guardados.



Traslado de materiales en Comunidades de Valles Orientales, Jujuy.

4.1.2 Selección de la tubería de acuerdo a su resistencia

Según lo que analizamos anteriormente, la tubería de la conducción deberá soportar una presión máxima cuando el sistema de abastecimiento se encuentra totalmente cerrado (no hay movimiento de agua en el interior del circuito). Esta presión está relacionada con el desnivel del terreno. En general, la resistencia de cada tubería es indicada por los fabricantes.

» Ejemplo

La resistencia de las tuberías fabricadas con polietileno y PVC está expresada en valores "K" o en PN (presión nominal):

- » **K 2,5: Resiste 25 metros de presión o desnivel (metros de columna de agua)(PN 2,5)**
- » **K 4: Resiste 40 metros de presión o desnivel (PN 4)**
- » **K 6: Resiste 60 metros de presión o desnivel (PN 6)**

También podremos encontrar PN 8, PN 10 que no son tan comunes en el mercado.

De este modo, un sistema con un desnivel de 40 metros demanda el uso de una tubería K4 o PN 4 para que el material resista las presiones internas que se generaran cuando el sistema esté cerrado.

También es posible encontrar los valores indicados en 'atmósferas', 'bares', 'PSI' o MPa (Megapascales). A continuación indicamos algunas equivalencias:

- » **K 2,5 = 25 m.c.a* = 2,5 kg/cm² = 2,5 bar = PN 2,5 = 2,5 atmósferas = 36,2 PSI = 0,25 MPa**
- » **K4 = 40 m.c.a = 4 kg/cm² = 4 bar = PN 4 = 4 atmósferas = 58,0 PSI = 0,4 MPa**
- » **K 6 = 60 m.c.a = 6 kg/cm² = 6 bar = PN 6 = 6 atmósferas = 0,6 MPa**

*m.c.a.: metros de columna de agua.

Tabla 15: Equivalencias para unidades de presión.

| Unidad de presión | Metros de columna de agua (desnivel) |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1 atmósfera (atm) | 10 m.c.a. |
| 1 bar | 9,88 m.c.a. (se toma 10) |
| 1 psi o lb/pulg.2 | 0,0689 m.c.a. |
| 1 MPa (Megapascal) | 100 m.c.a. |

4.2 TIPOS DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONDUCCIÓN EN TUBERÍAS

Las tuberías que normalmente se utilizan para los sistemas de conducción de agua que estamos tratando en este manual son de **polietileno y PVC** (Policloruro de Vinilo). En estas tuberías identificamos las siguientes inscripciones que dan a conocer las características del material:

Referencia a la norma - Fabricante - Referencia del material - Diámetro nominal (diámetro exterior del tubo) * espesor
- Presión nominal (presión máxima de trabajo a 20 °C, expresada en K, bar, atmósferas o PSI) - Año de fabricación.



Inscripciones de las tuberías.

A. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE PVC

Las tuberías de PVC se encuentran en distintos diámetros, resistencias y colores, dependiendo de las características de uso y de su nombre comercial. El empleo de este tipo de tuberías se debe principalmente al menor costo en comparación con otros materiales, siendo además un material liviano y fácil de transportar puesto que se comercializa en longitudes de 4 y 6 metros.

Para la conexión de caños de PVC encontramos dos tipos de uniones con distintas terminaciones:



Unión de tuberías mediante adhesivos.

a) Con un extremo aboquillado o ensanchado y el otro extremo con el diámetro nominal del tubo. Esto permite el perfecto ensamble mediante pegamento o adhesivos fabricados para tal fin.

b) Con los extremos aboquillados y machihembrados: Presenta una cavidad en uno de los extremos tipo “hembra” que aloja una junta o aro de goma interna, la cual ante el empuje para unir ambos tramos, proporciona la conexión y cierre hermético de los caños.



Tubería con extremos 'macho' y 'hembra'.



El tipo de unión dependerá del diámetro y presión nominal que deberán soportar los caños. En general las tuberías con diámetros chicos (hasta 3”) y que soportan presiones de hasta 4 kg/cm² se fabrican para unir mediante encolado (caso a).

B. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO

Son las más utilizadas, son comunes en diámetros pequeños y se disponen en rollos de distinta longitud (normalmente de 100 metros). Se destacan por su flexibilidad, sencillez y rapidez para su instalación. Pero en comparación con tuberías de PVC de igual diámetro, las de polietileno tienen un costo mayor.

En el mercado podemos encontrar tres tipos de tuberías de polietileno:

a) Polietileno baja densidad: se identifica mediante la inscripción PEBD. Es utilizada principalmente para sistemas de riego por goteo, en tuberías de baja presión y en sistemas de porta goteros, por su alta flexibilidad.

b) Polietileno de media densidad: se identifica mediante la inscripción PEMD. Tiene un espesor similar al de alta densidad pero conserva una cierta flexibilidad.



Comunidad Buena Esperanza, Salta.

c) Polietileno alta densidad: se identifica mediante la inscripción PEAD. Presentan una gran resistencia y soportan en forma adecuada las temperaturas extremas, siendo baja la posibilidad de roturas y cortes al ser enterradas junto a piedras. En comparación con tuberías de media densidad, pierden mucha flexibilidad, además de ser más costosa.



Tubería de polietileno tipo PEAD de 160mm y 18m de longitud. Comunidad Finca Tumbaya, Jujuy.

Las cañerías tipo PEAD se utilizan frecuentemente para unión por termo fusión, sistema que logra una junta libre de fugas con una resistencia igual o mayor a la de la misma tubería.

Son varios los factores que influyen en el material a utilizar. Así, por ejemplo, en proyectos de abastecimiento de agua donde el sistema de conducción requiere diámetros relativamente chicos (inferiores a 3") se suele trabajar con tuberías de polietileno, ya que por su flexibilidad se adaptan fácilmente a la topografía del terreno. Además, al estar fabricadas en rollos de mayor longitud, se distribuyen y conectan rápidamente, resultando fácil su instalación y con gran rendimiento de la mano de obra disponible.

Cuando se opta por caños de PVC en obras de provisión de agua, se debe básicamente a su menor costo. En diámetros mayores (superiores a 75mm), es difícil encontrar tuberías de polietileno en el mercado, y de hallarse su costo es muy superior a las de PVC. Por otro lado, las tuberías de PVC se encuentran disponibles en tamaños de 110 a 300mm de diámetro.

En cuanto a la duración de los materiales, el polietileno tiene mayor resistencia a factores adversos, permaneciendo muchos años sin alterarse sus características. En cambio los caños de PVC son propensos a resecarse y tornarse quebradizos en pocos años si han permanecido expuestos a la intemperie.



Instalación de tuberías. Comunidad El Churcal, Salta.

C. CAÑOS DE POLIPROPILENO

Son cañerías rígidas de mayor durabilidad, por lo que pueden utilizarse expuestas a diversas condiciones ambientales como la intemperie.

En los sistemas de abastecimiento de agua, estos materiales se suelen utilizar como cañerías de ingreso y salida de agua, de limpieza y rebalse en cisternas de acumulación, tanques intermedios o cámaras rompecarga.



Tuberías de polipropileno en cisternas.

Para unir este tipo de cañerías e instalar accesorios, debemos utilizar conectores roscados y disponer de las herramientas apropiadas para realizar las roscas necesarias, como una terraja.



Tubería con caños de polipropileno en tanques intermedios.



Realización de las roscas con terraja.

4.3 Accesorios para la conducción por tuberías

Los accesorios son los elementos que incorporados a la tubería facilitan el funcionamiento y el control del sistema.

Cumplen la función de unir tuberías, realizar cambios en el diámetro, hacer derivaciones, regular flujo y presiones, abrir y cerrar el sistema, entre sus principales usos.

Cuando diseñamos el sistema es importante definir el tipo y la cantidad de accesorios que necesitaremos durante el recorrido de la traza, e incluir siempre algunos accesorios “de más” ante posibles imprevistos, dado que no implican grandes costos y el hecho que falten en el terreno puede obstaculizar y retrasar el trabajo.

Existen gran variedad de accesorios que permiten resolver distintas situaciones. Entre los más frecuentes podemos encontrar los que se indican en la Tabla 16.

Tabla 16: Tipos de accesorios y usos.

Accesorio » Uniones o espigas

Usos frecuentes » Se utilizan en conexiones de cañerías de polietileno. Se calcula una espiga y dos abrazaderas por rollo de tubería. Son muy utilizadas en diámetros de hasta 2" (50mm). A partir de esta medida, si los costos lo permiten, es mejor trabajar con uniones tipo racor. Para unir es necesario ablandar el extremo de la tubería con agua caliente. Se las introduce mediante empuje y se ajustan con una abrazadera o alambre.

No es recomendable ablandar los extremos exponiéndolos directamente al fuego porque el polietileno pierde sus propiedades y la unión no quedará debidamente realizada.



Abrazaderas



Uniones o espigas.



Unión de tuberías de polietileno con espigas. Comunidad Urcuro, Salta.



Accesorio » Unión o espiga con reducción

Usos frecuentes » Similares a las anteriores, se utilizan para unir tuberías de diferentes diámetros. Por ejemplo espigas de 1" a ¾" o de 1" a ½".



Espigas con reducción.

Accesorio » Conexiones roscadas

Usos frecuentes » Se utilizan cuando la unión de la tubería se realiza con accesorios que llevan rosca (válvulas de cierre, flotantes, conexiones entre distintos materiales, conexiones en polipropileno).

Pueden tener rosca tipo H (hembra) o M (macho). En el mercado podemos encontrar:

Cuplas: tienen rosca interna (rosca H) y permiten unir extremos cuya rosca es externa (rosca M).

Niples: son conectores con rosca externa (rosca M) y permiten unir extremos cuya rosca es interna.

Cupla o niple de reducción: se utilizan para reducir el diámetro de la tubería. También pueden tener conexión roscada en un extremo y sin rosca o en espiga en el otro. Se utilizan para conectar tuberías con distinto tipo de unión o para unir polietileno a válvulas, polipropileno, etc. Se las denomina comúnmente "espiga rosca M o espiga rosca H".

Otro tipo de accesorio para realizar conexiones es el buje de reducción. Es roscado externamente en un extremo y en el otro internamente, y están disponibles para distintos diámetros en cada extremo.



Cuplas.



Niples.





Cupla de reducción.



Espigas rosca macho y espigas rosca hembra.



Buje de reducción.

Accesorio » Racor

Usos frecuentes » Son conexiones donde el acople se realiza sin girar la tubería sino ajustando con tuercas plásticas. Cuentan con un anillo de goma y un seguro tipo garra para fijar a la tubería.

Si bien tienen un costo mayor que otros tipos de conexiones, facilitan el trabajo, principalmente en tuberías de diámetros de 50mm o más. La tubería se inserta en el interior del cuerpo del racor, sujetado por la garra y el anillo de goma. Luego se ajusta la tuerca, quedando las tuberías sujetas y selladas.



Uniones a través de racor.

Accesorio » Conexiones en T

Usos frecuentes » Se utilizan para realizar derivaciones o ramales. Vienen provistas con salidas de la misma medida o T con reducción cuando el ramal secundario es de un diámetro menor a la conducción principal, por ejemplo T de 1" con salida de ½". Se encuentran tipo espigas o roscadas.



Conexiones en T.

Accesorio » Codos y curvas

Usos frecuentes » Se utilizan ante un cambio en la dirección de la tubería, por ejemplo en la entrada de un rompecarga a una cisterna. Las hay con diferentes ángulos, las más comunes son de 45° y 90°. Las "curvas" tienen menor curvatura que los "codos", por lo tanto generan menos resistencia al paso del agua.



Codos y curvas.

Accesorio » Válvulas de purga o de aire

Usos frecuentes » El aire alojado dentro de las tuberías dificulta o puede cortar el flujo normal de agua y se concentra en aquellos sitios donde la conducción atraviesa zonas del terreno con lomadas o elevaciones. La solución consiste en instalar una válvula de purga donde el terreno presenta elevaciones marcadas.

Pueden construirse a partir de una tapa rosca o bien con una válvula o grifo, operándose en forma manual cuando se corta el flujo por efectos del aire interno a la tubería.

Se instalan mediante una T en la tubería principal enterrada, con un vástago saliendo al exterior.

Las válvulas industriales son automáticas, tienen una esfera interna que se mantiene cerrada con la presión ejercida por el agua. Con el paso de aire, éste escapa de la tubería a partir del movimiento o caída de la esfera, recuperándose la presión.

También pueden instalarse a determinadas distancias en la conducción, controlando el flujo de agua cuando se abre y cierra el sistema.



Donde encontremos una lomada o una elevación en la conducción es conveniente ubicar una válvula de purga.



Válvula de purga o de aire. Las válvulas automáticas cuentan con una esfera interna que ante la falta de presión se abren permitiendo la expulsión del aire.

Accesorio » Válvulas de limpieza

Usos frecuentes » Se colocan en los puntos bajos de los sistemas donde podrían depositarse sedimentos. Permiten realizar la descarga y salida de materiales.



Válvulas de limpieza.

Accesorio » Collar de derivación

Usos frecuentes » Se los usa para distribuciones en conducciones donde se utiliza cañería de PVC. Está integrado por dos tornillos que se abren para su colocación y posterior fijación. Cuentan con una salida roscada para la derivación, por lo general de tipo H.



Collar de derivación.



Colocación del collar de derivación.

Accesorio » Flotantes

Usos frecuentes » Su uso se limita a rompecargas, cisternas, y tanques domiciliarios. Sirven para cerrar automáticamente el sistema al momento de llenarse el reservorio. Los flotantes están disponibles en diferentes diámetros y resistentes a distintas presiones. Cuando se utilizan flotantes, es importante contabilizar el resto de accesorios necesarios para su instalación (codos, cuplas, niples, etc.)



Flotantes.

Accesorio » Bridas

Usos frecuentes » Se utilizan para la instalación de pequeñas cisternas intermedias o cámaras rompecargas a partir de la utilización de tanques plásticos. Permiten la conexión de la tubería al tanque atravesando la pared. Se calcula una brida para cada entrada y salida.



Bridas.

Accesorio » Tapones

Usos frecuentes » Se utilizan en el caso de instalar válvulas de purga de accionamiento manual o para cerrar la tubería en algún sitio.



Tapón.

Accesorio » Unión doble

Usos frecuentes » Sirven para unir y ajustar dos tuberías con conexiones roscadas cuando no se permiten giros para realizar las uniones. Por ejemplo, en tuberías de polipropileno o uniones de caño galvanizado.



Unión doble.

Accesorio » Válvulas o llaves de regulación y cierre

Usos frecuentes » Cumplen la función de regular el sistema mediante su apertura y cierre. Es posible encontrarlas en diversos materiales, siendo comunes las fabricadas en PVC, bronce o metal. A fin de protegerlas de la intemperie y para evitar que sufran daños se las instala en una estructura de protección denominada cámara seca.

Existen diferentes tipos de válvulas:

a) Esférica o de bola:

Funciona por la rotación de una bola interna perforada. Mediante un giro de 90° cierra completamente el sistema. Es común utilizarla en conducciones de bajo caudal, en diámetros de hasta 75mm.



Cámara seca.



Válvula esférica o de bola.

b) Válvula mariposa:

Permite la apertura y cierre a 90° y estando totalmente abierta provoca menores pérdidas de carga. Un disco interno controla la circulación del agua. El flujo se produce en línea recta y son de tipo auto- limpiantes. Se fabrican en bronce, por lo que su costo es elevado, pero tienen mayor durabilidad.

c) Válvula de compuerta:

La apertura y cierre requiere de varias vueltas de la llave de accionamiento. El sistema se cierra a partir de un disco vertical plano que se desliza en forma recta de arriba hacia abajo. Tiene buena capacidad de cierre, pero para utilizarse como regulación (si se deja a medio cerrar) sufre mayor desgaste.

d) Válvula de globo:

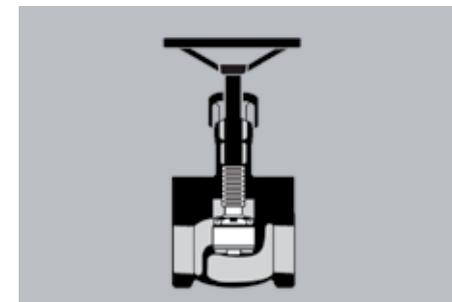
Trabaja a partir de vueltas múltiples. El cierre lo produce un tapón que corta el paso del agua sobre un asiento paralelo a la circulación. Genera mayor resistencia a la circulación por lo cual tiene mayores pérdidas de carga. Por este motivo se las utilizan para reducir presiones en los sistemas de agua.



Válvula mariposa.



Válvula de compuerta.



Válvula de globo

4.4 Instalación de la tubería

Posiblemente es la etapa que da más trabajo y la que más tiempo demandará en el desarrollo del sistema. Además es una actividad clave a fin de conservar adecuadamente el material de conducción.

En muchos proyectos comunitarios la mano de obra para la ejecución de estas tareas suele ser aporte de la comunidad, lo cual implica un esfuerzo de organización y de la distribución equitativa de los jornales aportados por cada familia.

Veamos una por una las actividades a realizar para la instalación de las tuberías.

A. EXCAVACIÓN DE LA ZANJA

En general se realizan a una profundidad de 0,3 a 0,5 metros de profundidad y si excavamos en forma manual tienen 0,3 metros de ancho (el ancho de una pala). En los lugares donde las tuberías pueden congelarse aun estando enterradas, excavamos entre 0,6 a 0,7 metros de profundidad. En sitios con tránsito vehicular suele protegerse el material de conducción excavando a más de un metro.

El rendimiento promedio de los trabajos



Excavación en Comunidad Urcuro, Salta.

de excavación está relacionado con el tipo de terreno donde se trabaje. En terrenos con baja cantidad de piedra, un jornal de 8 horas suele rendir para excavar entre 30 y 50 metros de zanja.



Excavación para la instalación de tuberías. Comunidad El Churcal, Salta.

B. COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA

En primer lugar debemos realizar una cama de asiento de un mínimo de 5cm de tierra previamente zarandeada. De este modo enterramos la cañería en un terreno libre de piedras y materiales filosos que puedan dañar su material.

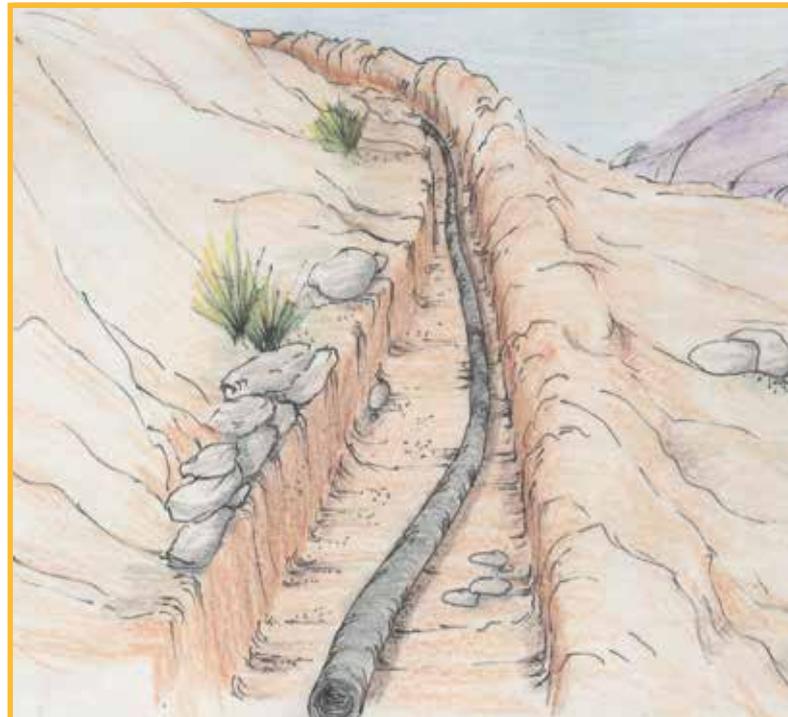


Zarandeo de tierra previo a la instalación de la tubería. Comunidad Maymaras, Jujuy.

Luego tendemos la tubería en forma ligeramente ondulada para evitar que quede tensa. De esta manera minimizamos contracciones y dilataciones ante cambios de temperatura, y compensamos cambios que puedan producirse por variaciones en el peso de la tubería cuando se encuentra llena con agua.

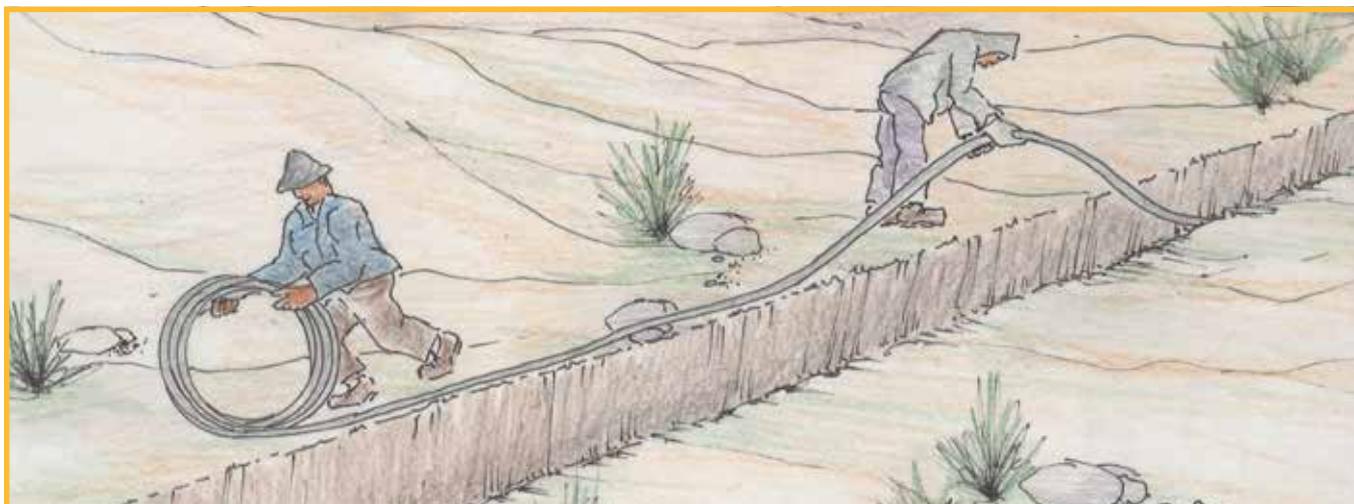


Colocación de tubería en forma ondulada sobre cama de tierra. Tomuco, Salta.



Colocación de tubería en forma ondulada sobre cama de tierra.

Esta medida también impide que se produzcan “zafes” en las uniones una vez enterrada la cañería, evitando así posteriores pérdidas de agua. Por ello debemos prever que cada 100 metros de excavación utilizaremos 2 a 3 metros más de tubería. Para tender la tubería de polietileno, hacemos girar al rollo como “si fuese una rueda”, así evitamos la formación de espirales y estrangulamientos que quiebran y dañan el material.



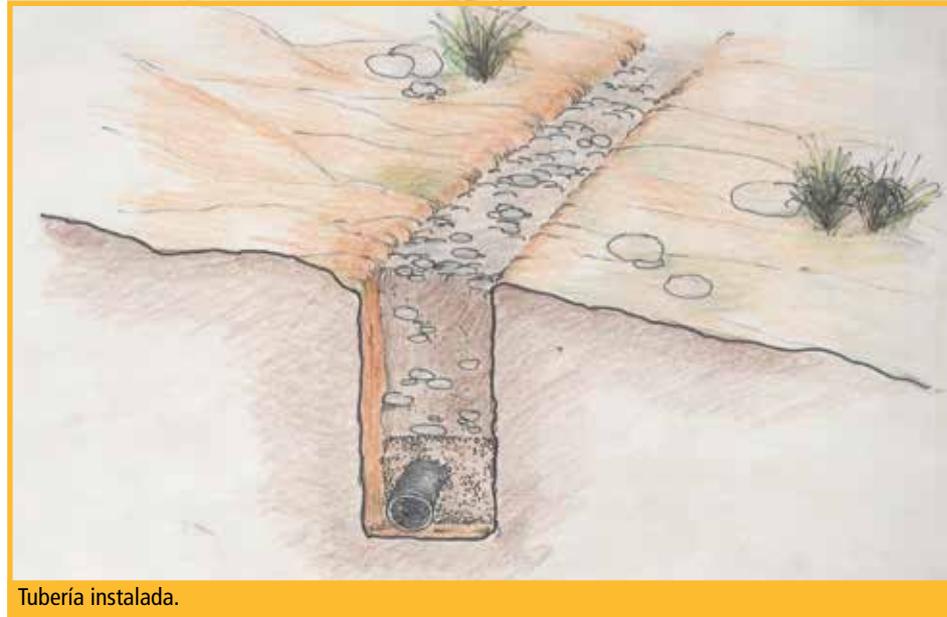
Desenrollado de la tubería para evitar quiebres.



Desenrollado mediante una soga para evitar la formación de espirales que produzcan quiebres en la tubería. Comunidad El Churcal, Salta.

C. TAPADO DE LA TUBERÍA

Lo realizamos con el mismo material de la excavación, cuidando que no contenga piedras que puedan dañar la tubería, por eso es conveniente zarandear la tierra que se coloca inmediatamente sobre la cañería a enterrar.



Tubería instalada.



Tapado de la tubería. Comunidad Maymaras, Jujuy.

D. SITUACIONES PARTICULARES

Conducciones en laderas de montaña con afloramiento de rocas

En reiteradas ocasiones debemos realizar la conducción por laderas con afloramiento de rocas o peñas, lo cual dificulta enterrar la tubería en forma conveniente. Por este motivo fijamos la tubería a la roca o peña con ganchos de hierro, los que deben ser previamente reforzados con cemento a la roca madre.

Otra alternativa para salvar situaciones más complejas en laderas empinadas o de fuertes pendientes, consiste en sostener la tubería mediante riendas de alambre, sujetas a una zona superior y segura del cerro a atravesar.

El material de conducción plástico expuesto a la intemperie debe ser protegido para prolongar su vida útil, envolviéndolo con tiras de tela tipo “media sombra” que luego se cubre con pintura asfáltica, o bien pintada de blanco.



Tuberías colocadas en terrenos rocosos. Huachichocana, Jujuy.

Fuertes pendientes

Algunas veces, el tendido de la conducción debe sortear fuertes pendientes o desniveles abruptos en su recorrido. Esta situación provoca altas velocidades internas del agua en la conducción y ante un cambio de pendiente o cierre del sistema pueden originarse roturas.

En estos casos, conviene desandar el terreno evitando las pendientes pronunciadas y buscando desniveles graduales por las laderas para el tendido del material de conducción.



Instalación de tubería en ladera. Comunidad Maymaras, Jujuy.

Tuberías de mayor diámetro y fuertes pendientes

En situaciones de fuertes pendientes y tuberías de diámetro mayor, donde el peso del agua sea importante, podemos construir estructuras de anclajes de la tubería al suelo para evitar que se produzcan pequeños deslizamientos del sistema pendiente abajo, que pudieran malograr la conducción.

Estas estructuras se construyen con hormigón armado, de modo que fijen la tubería al terreno, mediante una buena cimentación. También se pueden utilizar estas estructuras en sitios afectados por crecidas temporarias como quebradas.



Anclaje de la tubería en quebradas. Comunidad Huachichocana, Jujuy y San Antonio, Salta.

4.5 Flujo en tuberías

En las conducciones mediante tuberías podemos encontrar dos tipos de sistemas:

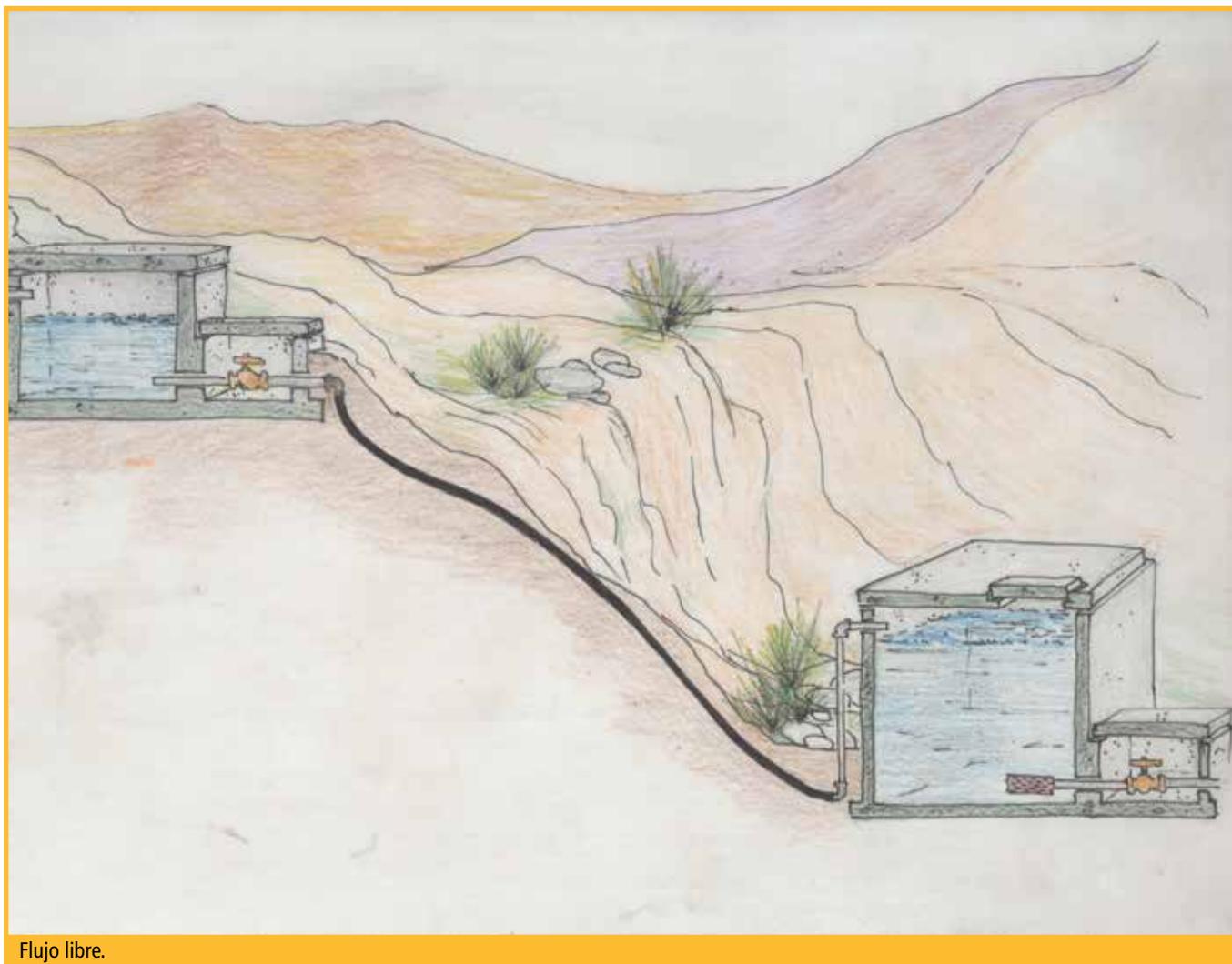
- » Flujo libre.
- » Flujo a presión.

4.5.1 Sistemas con flujo libre

El sistema de conducción está siempre abierto y el agua se encuentra en movimiento permanente. En general, el caudal conducido es menor al máximo que podría trasladar el sistema, de modo que la conducción no trabaja llena y no se somete a presiones mayores a la atmosférica.

Estos sistemas se utilizan donde no es necesario regular presiones, básicamente cuando el agua se conduce en forma directa a un almacenamiento, sin distribuciones intermedias, desde una fuente ubicada a mayor altura respecto al reservorio.

La conducción con flujo libre es más sencilla de implementar y más económica, requiere bajo mantenimiento y es fácil de operar ya que no dispone de infraestructura de control y regulación de presiones. Asimismo, podemos diseñar estos sistemas con tuberías de menor resistencia a presiones que las demandadas para un mismo desnivel en sistemas con flujo a presión.



Flujo libre.

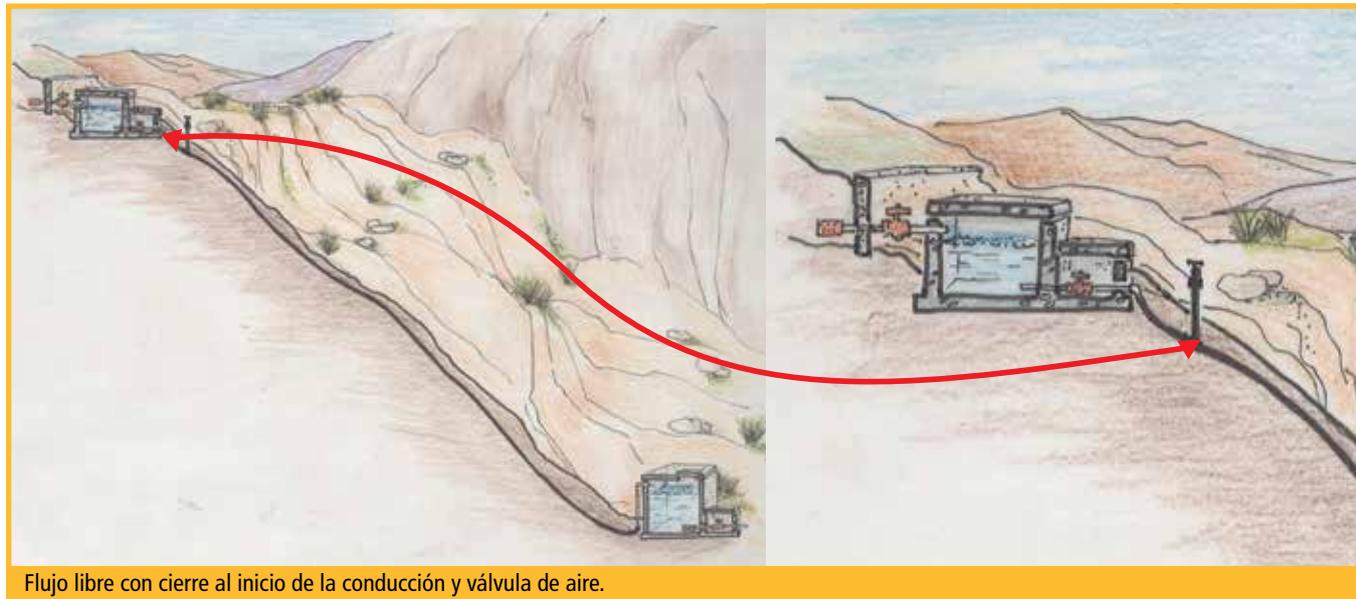
En los sistemas de flujo libre se deben considerar los siguientes aspectos:

a) El sistema no podrá cerrarse desde abajo porque no está preparado para soportar presiones estáticas¹⁰. En caso de existir una presión superior a la resistencia de la tubería, ésta se romperá si cerramos el sistema.

Normalmente, cuando el sistema se cierra la sobrepresión provoca la separación de las conexiones existentes. Para evitar estos inconvenientes, estos sistemas funcionan a partir de la liberación de los excedentes de agua mediante tuberías de rebalse en las estructuras de almacenamiento.

En caso que debamos cerrar el sistema para realizar arreglos o mantenimiento, necesitamos contar con una válvula de cierre al inicio de la conducción (cerca de la captación). De este modo evitaremos que la tubería soporte presiones superiores a las admisibles.

También colocaremos una válvula de aspiración, cerca y posterior a la válvula de cierre. Esto permitirá la entrada de aire cuando el sistema se cierra y evitará que se genere succión o vacío en la tubería, lo que podría ocasionar roturas.



Flujo libre con cierre al inicio de la conducción y válvula de aire.

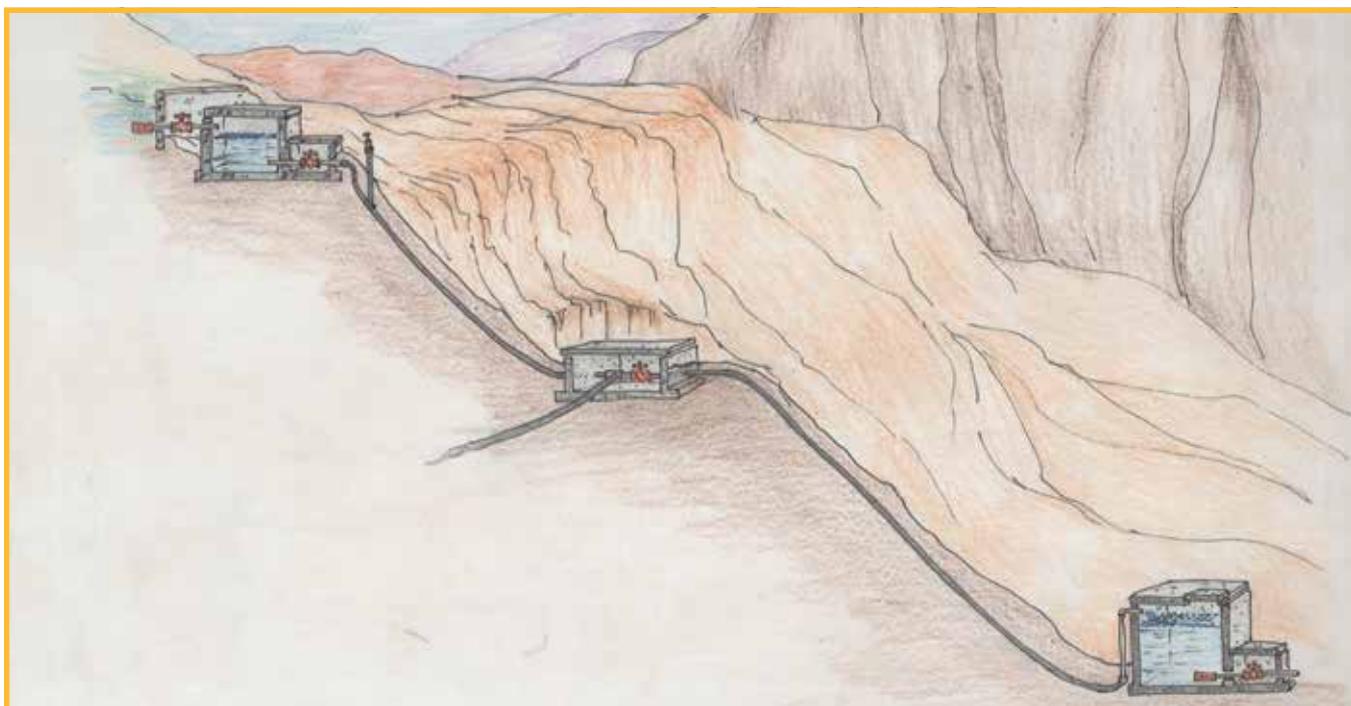
¹⁰ La presión estática es la generada por el propio desnivel al cerrarse el sistema con una válvula.

b) El almacenamiento deberá contar con una tubería de rebalse para eliminar los excedentes. Éstos se pueden devolver a un curso de agua o destinar a otros usos.

c) En sistemas de flujo libre es difícil realizar distribuciones intermedias. Las fuertes pendientes generan alta velocidad de circulación interna, por lo que prácticamente el agua “pasa de largo”.

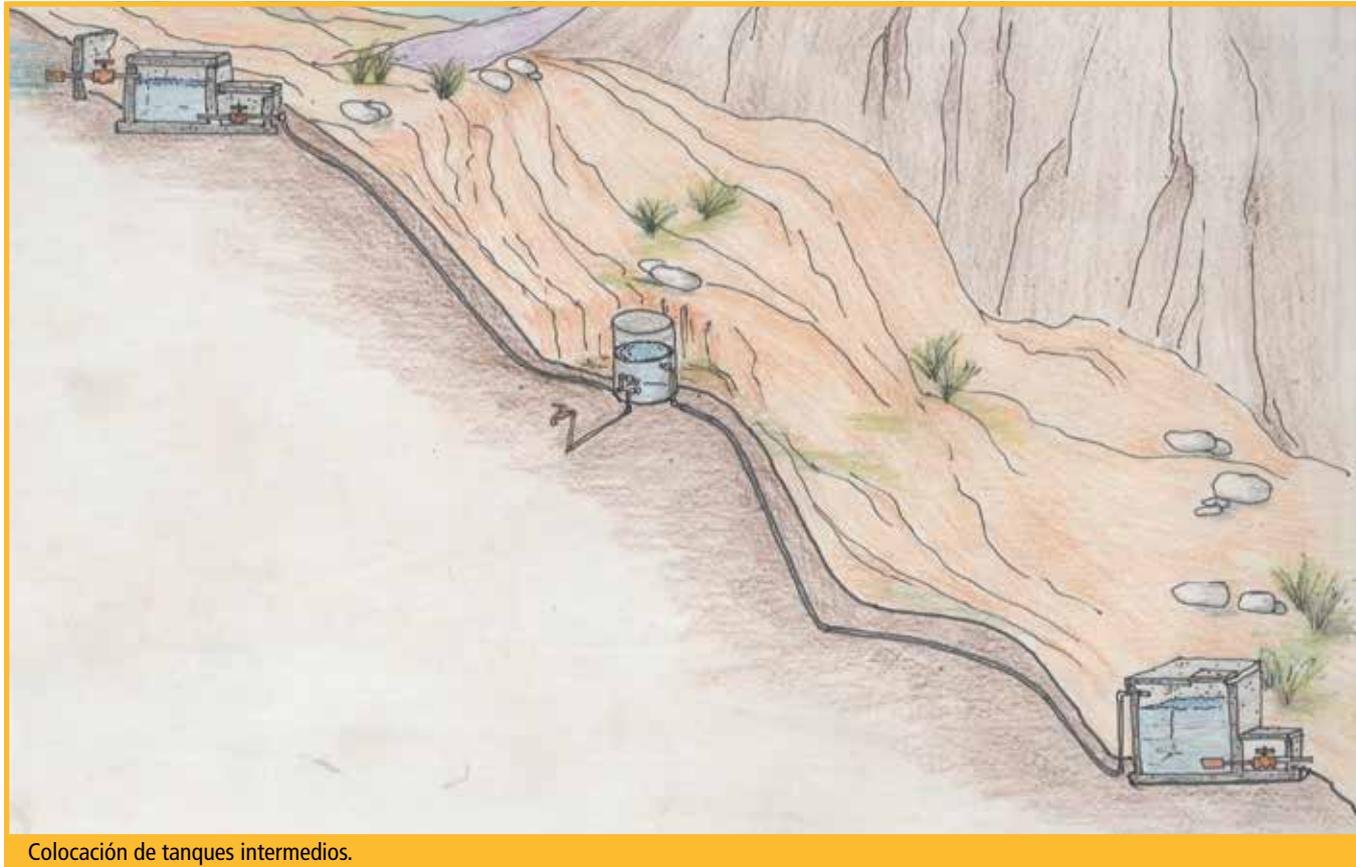
Las alternativas para controlar el flujo de agua y realizar derivaciones efectivas son las siguientes:

- Colocar una llave de paso con un pequeño cierre, cercana al sitio de la derivación. La llave permanecerá siempre semi-abierta para que una pequeña parte del caudal se desvíe.



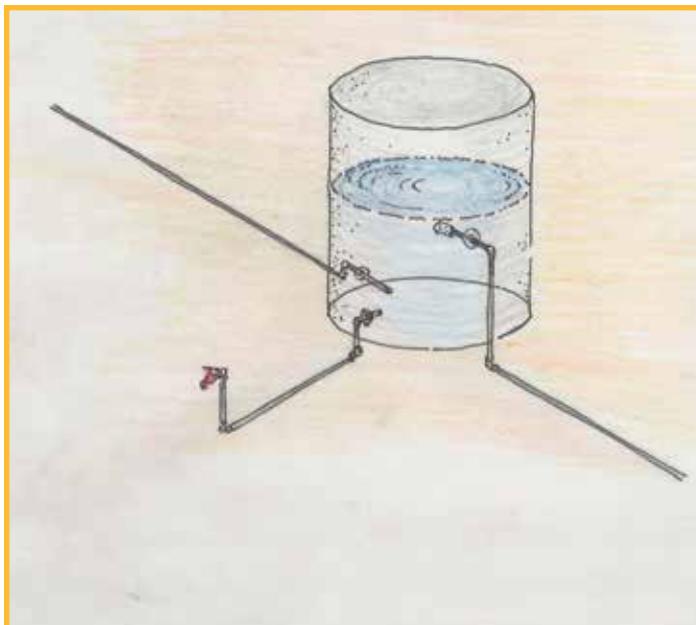
Llave de paso semicerrada para desviar parte del caudal.

- Instalar tanques intermedios que actúan como pequeñas cisternas, a través de ellos saldrán derivaciones a las familias o a los ramales de distribución. En estos casos, procuraremos que la entrada de agua (desde arriba) tenga un caudal similar al de salida. De lo contrario debemos contar con llaves de regulación para evitar que el tanque intermedio permanezca siempre vacío o rebalsando.



Colocación de tanques intermedios.

Un inconveniente que puede aparecer en esta alternativa es que si el agua se usa demasiado en el ramal de la distribución, el flujo en la tubería principal se puede cortar momentáneamente.



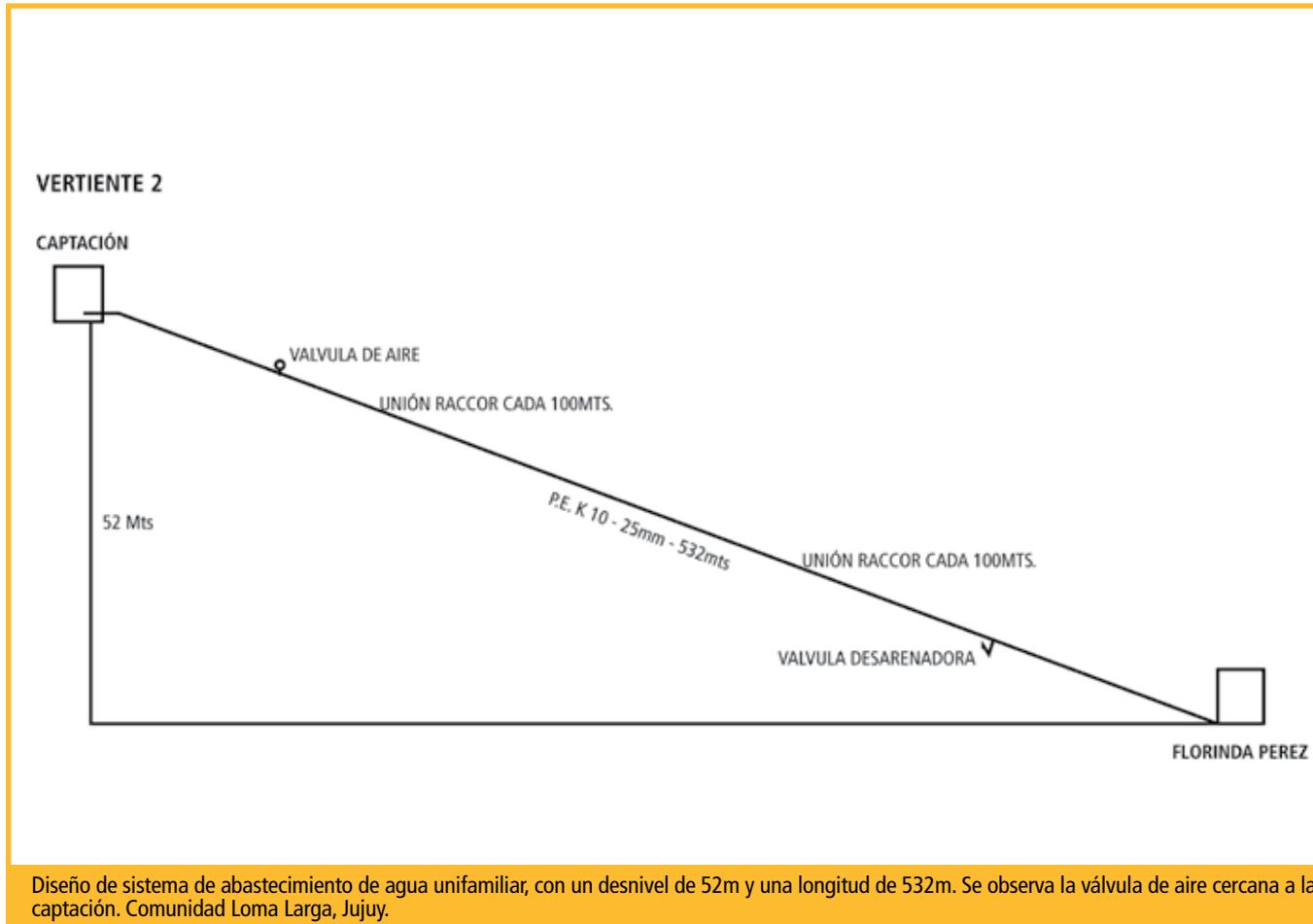
Tanques intermedios. La entrada puede colocarse en la parte inferior y la salida en la parte superior para que llene la cisterna antes de volver a salir a la conducción.



Cámara intermedia manteniendo el flujo libre (sin control de presiones). Juella, Jujuy.

Estas pequeñas cisternas se construyen de mampostería o con tanques plásticos, tienen una capacidad de entre 600 a 1100 litros y deben contar con un rebalse de seguridad para que los excedentes sean desviados a una quebrada o sitio donde no se produzca erosión. Estas cisternas también cumplen la función de rompecarga sin flotante y permite atenuar la velocidad de circulación del agua.

En el Anexo 7 encontraremos una tabla para calcular el diámetro de las tuberías en sistemas de flujo libre.



Diseño de sistema de abastecimiento de agua unifamiliar, con un desnivel de 52m y una longitud de 532m. Se observa la válvula de aire cercana a la captación. Comunidad Loma Larga, Jujuy.

4.5.2 Sistemas con flujo a presión

Estos sistemas se diseñan cuando debemos realizar distribuciones intermedias que desvían parte del caudal, desde la conducción principal hacia los ramales de distribución, o bien mantener una determinada presión en el sistema. En este tipo de conducción, regulamos la presión y el flujo de agua con llaves (o válvulas) de regulación y cámaras rompe-carga (rompepresión). Dado que las presiones son mayores a la atmosférica debemos tener en cuenta la resistencia de las tuberías.

También permiten que las distribuciones tengan la presión necesaria para aplicar riego presurizado¹¹ (goteo, micro-aspersión, aspersión) o bien mantengan una presión adecuada para uso domiciliario (5 a 20 m.c.a.).

En general estos sistemas son utilizados para la distribución del agua desde el almacenamiento a los sitios de uso, regulando las presiones para los usos previstos. En el diseño del proyecto normalmente planificamos que el agua se desplace desde la captación al almacenamiento mediante flujo libre y desde el almacenamiento a la distribución por flujo a presión.



¹¹ Las presiones necesarias para pequeños sistemas son de 5 a 40 m.c.a, según su uso.

DISEÑO DEL SISTEMA CON FLUJO A PRESIÓN

En general en estos sistemas se ha utilizado como elemento regulador del flujo un flotante. Cuando la infraestructura de acumulación se llena, se produce el cierre automático de la conducción por acción de este accesorio. A medida que se usa el agua, el flotante se abre permitiendo la recarga del almacenamiento de modo que se mantenga constantemente lleno y con una presión adecuada.

Si los desniveles en el recorrido son menores que la resistencia seleccionada para la tubería, podemos regular el sistema con un flotante instalado en la cisterna de acumulación que desviará el flujo de agua hacia los ramales, sin causar roturas.

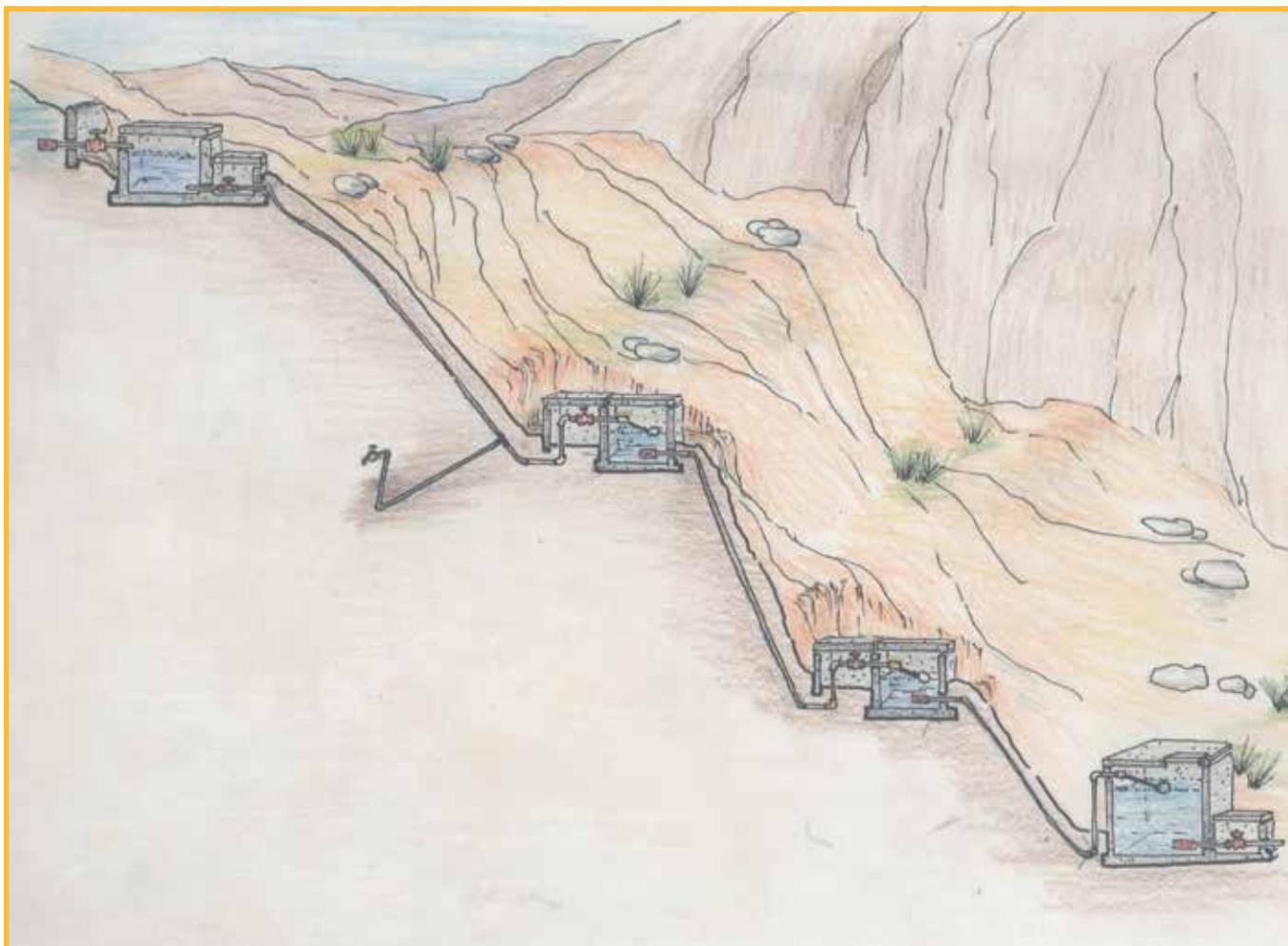
» Ejemplo

En una conducción de 3000 metros de distancia y un desnivel de 35 metros debemos colocar una tubería con una resistencia a la presión de tipo K4 (PN4) que resiste 40 metros de columna de agua. Así, podremos cerrar el sistema colocando un flotante en la cisterna ya que la tubería seleccionada resistirá las presiones que pudieran producirse con el cierre, logrando que el agua se desvíe en las distribuciones intermedias con la presión necesaria para su uso.

Cuando los desniveles son de gran magnitud se generan fuertes presiones internas en la conducción, por lo que debemos construir cámaras rompecarga o rompepresión.

Estas cámaras son pequeños depósitos que contienen un flotante y se ubican estratégicamente en uno o en varios puntos de la conducción. Su función es la de regular, convirtiendo la presión del sistema a la presión atmosférica (el agua vuelve a ponerse en contacto con el aire).

Se disponen en puntos intermedios a lo largo de la conducción y a cierto desnivel de acuerdo a las presiones que puede soportar el sistema y a la resistencia de la tubería utilizada.



Cámaras rompecarga. Se disponen en puntos intermedios de la conducción a desniveles determinados considerando la resistencia de la tubería y las presiones que debe soportar el sistema. En la conducción se ubican las distribuciones.

» Ejemplo

Para una conducción de 3000 metros, con un desnivel total de 100 metros, utilizamos una tubería de polietileno resistencia K4 o PN4 (40 m.c.a ó 4 kg/cm²). ¿Cuál será la mejor ubicación para las estructuras rompecarga?

Primero recorremos la traza del sistema y medimos el desnivel. Ubicamos el lugar donde la pendiente alcanza los 40 metros desde el inicio de la conducción. En dicho punto instalamos la primera estructura rompecarga a fin de evitar daños por exceso de presión en el sistema.

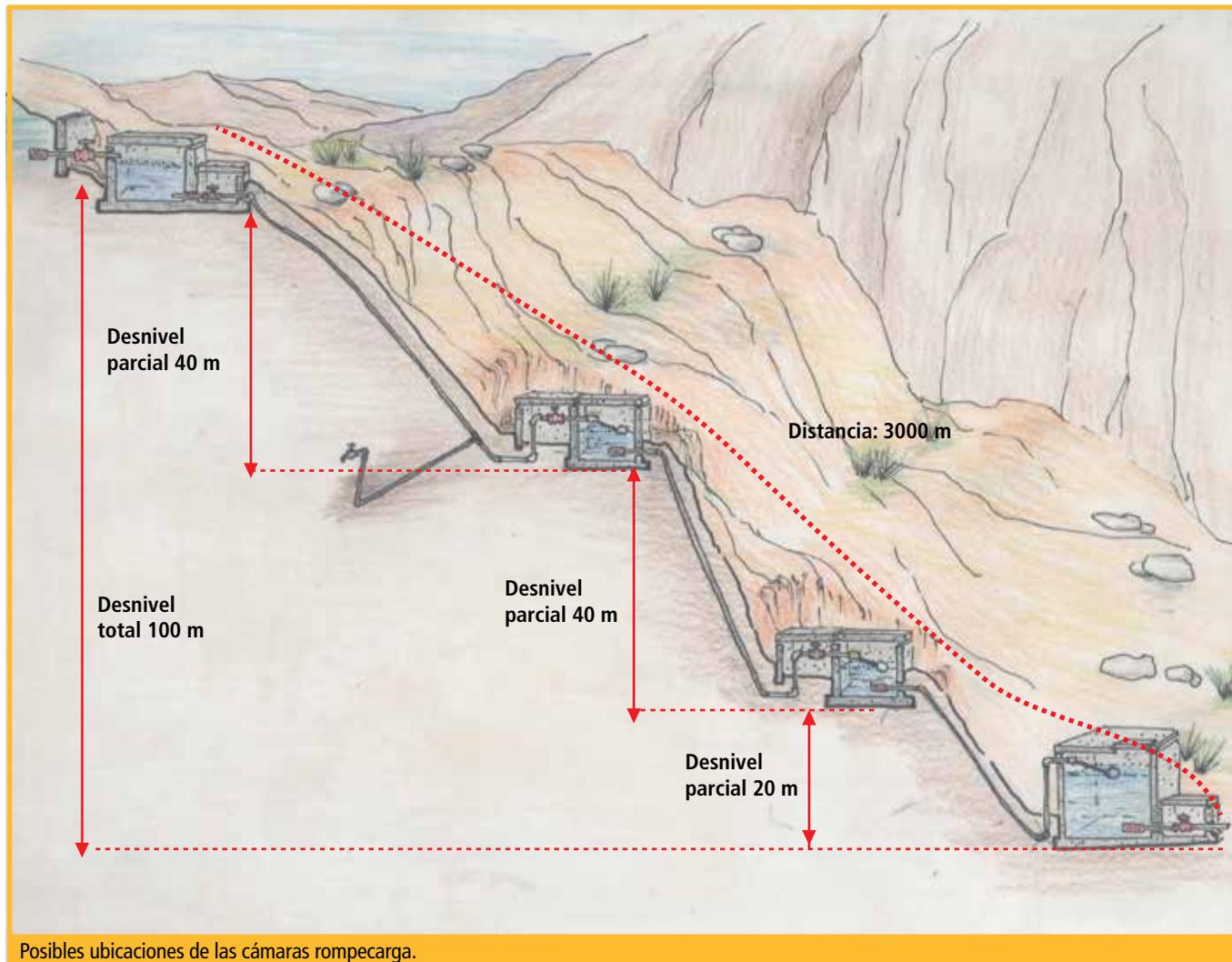
A partir de esta primera cámara rompecarga, seguimos recorriendo la traza, midiendo nuevamente el desnivel hasta los 40 metros y allí ubicamos la segunda cámara. En este ejemplo, desde la última rompecarga nos encontraremos con un desnivel final de 20 metros hasta la cisterna que actúa como infraestructura de acumulación y le instalamos un flotante que actúa para que regule la presión.

En este sistema entonces trabajamos con un máximo de 40 m.c.a. y necesitamos construir tan sólo 2 cámaras rompecarga para evitar poner en riesgo el sistema construido.

Si queremos trabajar con un máximo de 25 m.c.a. ¿Qué tubería utilizaremos y cuantos rompecarga debemos construir?

Respuesta:

Utilizaremos tuberías de tipo K 2,5 y debemos construir 3 cámaras rompecargas, más la instalación del flotante en la cisterna de acumulación.



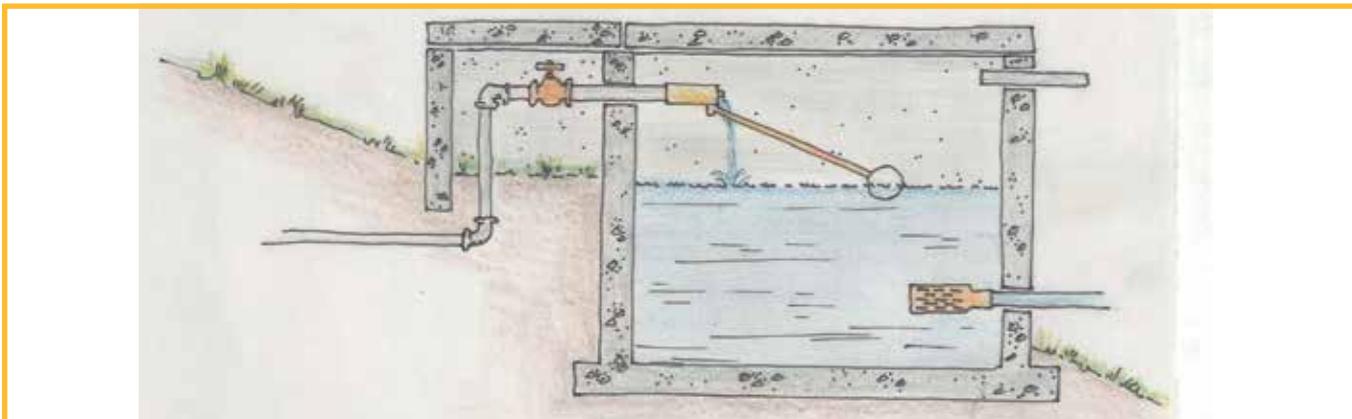
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS ROMPECARGA

Para la instalación de las cámaras rompecarga tenemos que conocer tanto la resistencia de la tubería que vamos a utilizar como las distancias y los desniveles parciales de la conducción. El elemento que regula la apertura y el cierre del sistema será el flotante.

Si bien el tamaño de estas cámaras se relaciona con el caudal y la velocidad de circulación del agua, para sistemas de bajo caudal suelen ser pequeñas, por ejemplo 0,5 metros de ancho por 0,5 metros de profundidad y con un largo que permita el buen funcionamiento del flotante (0,8 a 1 metro).

Las cámaras rompecarga están compuestas por:

- » Cañería de ingreso de agua a la cámara: Se encuentra en la parte superior de la estructura, con una válvula o llave de paso que permite regular el caudal.
- » Un flotante conectado directamente a la cañería de ingreso.
- » Cañería de salida de agua ubicada en la parte inferior de la cámara.
- » Una tapa para evitar la entrada de contaminantes y materiales que obstruyan la tubería.
- » Cañería de rebalse: para prevenir roturas ante el mal funcionamiento del flotante.
- » Cañería de limpieza: ubicada en el fondo de la cámara.



Diseño cámara rompecarga.

» Materiales para la construcción de cámaras rompecarga de mampostería de piedra

Para una cámara de 0,6m por 0,8m y 0,6m de profundidad necesitamos:

- » 1,5 bolsas de cemento.
- » 0,5m³ de piedra de 10 a 15cm de diámetro.
- » 0,3m³ de arena (3 carretillas hondas).
- » 1m² de tablas de encofrar.
- » Clavos y alambre de atar.
- » Accesorios (2 codos de polipropileno, 2 espigas roscadas, 2 válvulas, tubería de rebalse, abrazaderas, brida).
- » Tubería de polipropileno.
- » Terraja.
- » Filtro o canastilla.
- » 1 flotante.
- » Herramientas varias.

También podemos realizarlas con tanques plásticos o ladrillos, teniendo en cuenta el largo de la palanca del flotante.

Las cámaras se pueden construir sobre-elevadas, es decir, sobre la superficie del terreno, lo que facilita su construcción y posterior mantenimiento. También se pueden instalar enterradas en los casos que sea necesario prever posibles congelamientos donde el clima es más riguroso.



Las cámaras rompecargas se pueden realizar sobreelevadas o enterradas.

Los sistemas de conducción que incluyen cámaras rompecarga requieren mantenimiento periódico para garantizar el buen funcionamiento de los flotantes. Por este motivo en la mayoría de las obras realizadas en comunidades rurales se prioriza trabajar con sistemas de conducción con flujo libre. Una alternativa es conducir en caída libre desde la captación hasta la cisterna y desde allí regular las presiones con cámaras rompecargas cercanas a las viviendas, lo que facilitará la observación y el mantenimiento periódico.

En las distribuciones intermedias, a medida que realizamos las derivaciones la demanda de agua disminuye, por lo cual podemos reducir paulatinamente el diámetro de la tubería. Esto se suele realizar después de las cámaras rompecarga, recalculando el diámetro de la tubería con los datos del caudal, desniveles y distancias restantes.



Cámara rompecarga y flotante de alta presión. Urcuro, Salta.



Construcción de las tapas de las cámaras. Juella y Churcal, Jujuy.

4.6 Obras complementarias en pasos de quebradas

En la traza de la conducción se suelen encontrar pasos de quebradas que requieren la construcción de pequeños puentes colgantes. Considerando el tipo de obras que aborda este manual (pequeños caudales), los puentes son de diversa y sencilla construcción.

Encontraremos en la mayoría de las situaciones donde el paso de una quebrada se resuelve con obras sencillas y con la propia experiencia de los productores involucrados en la construcción del sistema.

Existen varios diseños, desde la utilización de estructuras de hierro para sostén de la conducción, hasta el apoyo de la tubería sobre columnas o postes en quebradas de baja torrencialidad.



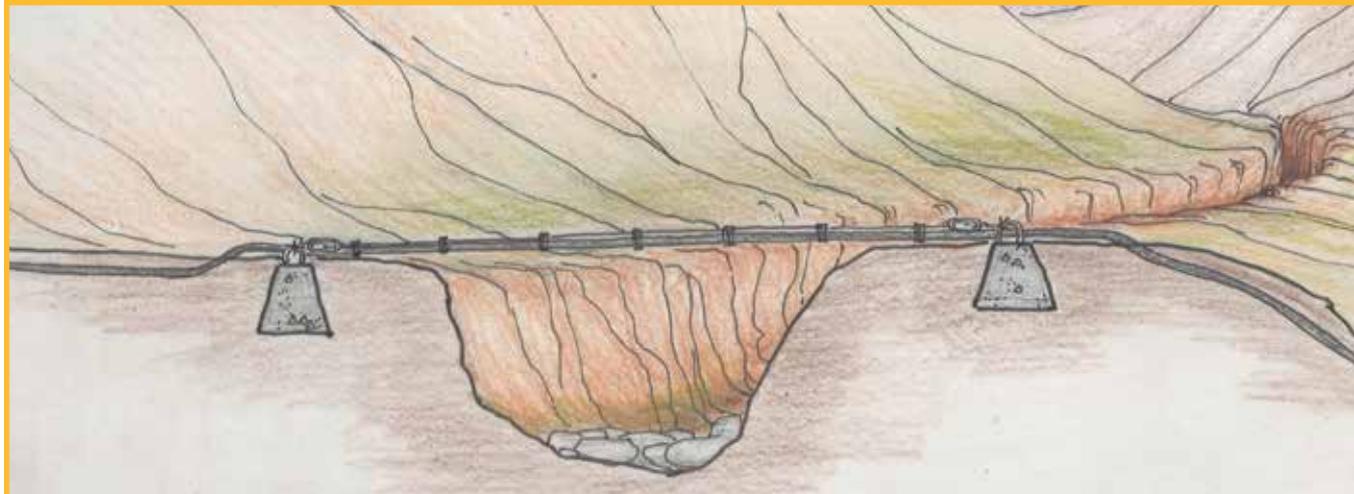
Paso de la tubería en una quebrada mediante estructura de hierro. Comunidad Finca Tumbaya, Jujuy.

Para la construcción de estos puentes debemos considerar dos aspectos:

- » El ancho de la quebrada a sortear: Esto da la longitud o “luz” del puente que se necesitará construir. Es importante observar el sitio más adecuado para que el puente sea lo más corto posible y el terreno esté en condiciones para “anclarlo” en los extremos.
- » El peso propio del puente, condicionado por el peso de la tubería cuando está cargada con agua. Comúnmente se utilizan dos diseños para construir este tipo de obras complementarias: puentes simples y puentes colgantes.

4.6.1 Puentes simples

Los puentes simples se realizan cuando la luz y el peso de la cañería no son importantes. La tubería se amarra a un cable o alambre de buena resistencia y se sostiene en los extremos con anclajes semienterrados.



Puente simple.

Podemos construir los anclajes con hormigón ciclópeo (mortero de cemento y piedra¹²). Desde el hormigón sobresale un aro de hierro donde enganchamos los tensores o torniquetes para tensar el cable o alambre.



Anclajes y tensores en puentes simples.



Construcción de anclaje para puente simple. Comunidad Maymaras, Jujuy.

¹² Se denomina mortero a la mezcla de cemento, arena y agua en proporciones variables. Cuando se agrega árido grueso (ripió o piedra) se denomina hormigón. Esto se explicará con mayor detalle en el apartado 5.5.3 sobre Revestimiento de canales.

El cable utilizado para sostener cañerías de ½", ¾" y hasta 1" será al menos de 5mm, o podemos construirlo con alambre de alta resistencia (trenzado en varios hilos).

Para amarrar las tuberías al cable de sostén utilizamos abrazaderas o alambre de atar. Cuando los puentes son cortos se suele "trenzar" o enroscar el cable de sostén a la cañería sin necesidad de usar abrazaderas.



En puentes cortos el alambre se enrosca sobre la tubería y luego se tensa.

» Ejemplos de dimensiones en puentes simples

| Diámetro de la tubería | Longitud del puente | Diámetro del cable | Anclajes |
|------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Hasta 1" | Hasta 20m | 5mm | Base: 0,5m x 0,5m Altura: 0,3m |
| | Hasta 60m | 5mm | Base: 0,7m x 0,7m Altura: 0,5m |
| Hasta 2" | Hasta 30m | 5mm | Base: 0,6m x 0,6m Altura: 0,5m |



Puentes simples.



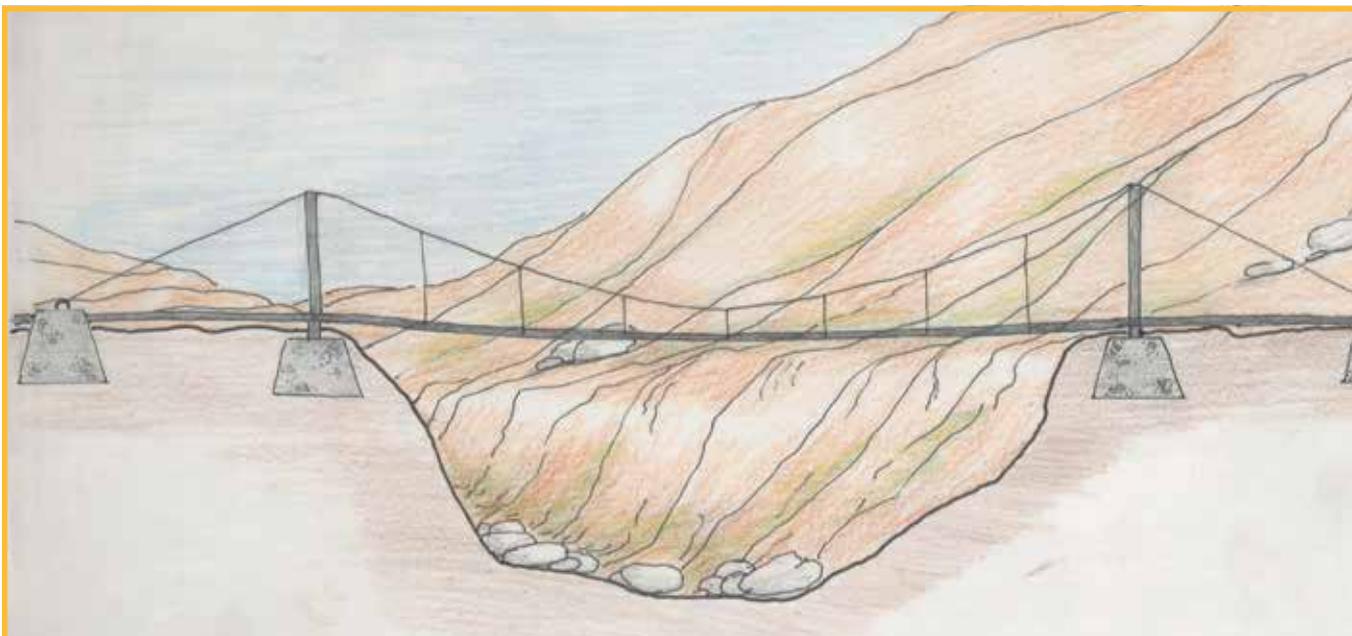
En puentes simples también se puede incorporar una columna de poca altura para lograr una mejor distribución de fuerzas. Esta columna también se la puede construir con un pequeño muro.

4.6.2 Puentes colgantes

Cuando la luz y el peso del puente aumentan es más difícil mantener la tubería recta dado que tiende a curvarse por el propio peso, lo que genera un nivel más bajo en el centro del puente y podría ocasionar problemas para la circulación del agua.

Para resolver este problema construimos puentes colgantes, que mantienen la tubería horizontal y el cable de sostén es el que “absorbe” la curvatura.

En este diseño amarramos el cable a la tubería mediante “pendolones” que son cables o alambres dispuestos en forma sucesiva al cable principal. La longitud de los pendolones aumenta desde el centro hacia los extremos y su función es mantener recta la tubería.



Diseño de un puente colgante.

Componentes de un puente colgante:

- » **Luz:** Es la longitud del puente de acuerdo al ancho de la quebrada que debe cruzar la conducción.
- » **Cable principal:** Sostiene la conducción, absorbe el peso de la tubería, se curva en el punto medio del puente y su diámetro depende de las tensiones que deba soportar.
- » **Anclajes:** Estructuras semienterradas de hormigón o de hormigón ciclópeo, donde amarramos el cable principal a un enganche de hierro. El tamaño depende de las tensiones originadas por el peso del puente.
- » **Columnas:** Producen una fuerza vertical que mantiene la altura de diseño del cable principal. Es importante realizar una zapata de hormigón y enterrarla lo suficiente como para asegurar su estabilidad vertical. Cuando los puentes son de diámetros mayores es preferible armar la estructura con columnas dobles y un travesaño donde pasen uno o dos cables. Las columnas también se pueden construir con un muro de piedra.



Columnas realizadas con tubos galvanizados.



Columnas realizadas en mampostería.



Columnas de hormigón armado realizadas mediante encofrado con caños de PVC (internamente tiene hierro y relleno de hormigón).

» **Pendolones:** Son cables o alambres que unen la tubería al cable principal. El largo varía de acuerdo a su ubicación en el puente.



Pendolones en puente colgante.



» **Flecha del puente:** Es la distancia que existe entre la horizontal que determinan los postes y el punto más bajo del cable (generalmente el punto medio).

» **Accesorios:** Son los tensores, las torniquetas, abrazaderas, guardacabos, prensacables, alambre de atar, entre otros. Durante el diseño tenemos que contabilizar los que necesitaremos en el momento de la construcción.



Tensor y prensacable.

De acuerdo al modo de construir el puente colgante tendremos distintas dimensiones para sus componentes. Por ejemplo, el tamaño de los anclajes dependerá de las condiciones del suelo: en el caso de fundar sobre roca podrán ser de menor tamaño. Si aumentamos la distancia entre el anclaje y las columnas, los esfuerzos en el cable serán menores. Aumentar la altura de las columnas genera menos tensión en el cable permitiendo aumentar la flecha del puente, lo que disminuye los esfuerzos en los anclajes.

A continuación presentamos algunas medidas orientativas de los componentes de un puente colgante, que lógicamente quedan supeditadas a las condiciones del lugar donde se instalarán. Para puentes colgantes de mayor dimensión debemos recurrir a asistencia técnica especializada y al análisis del terreno donde se realizará la obra.

» Ejemplos de dimensiones en puentes colgantes

| Diámetro de tubería 1" | | | | | | | |
|------------------------|--------|--------------------------|--------------------|--|--------------------|---------------------------------|---|
| Longitud del puente | Flecha | Diámetro cable principal | Altura de columnas | Zapatatas de columnas | Anclajes | Distancia del anclaje a columna | Observaciones |
| Hasta 60m | 2m | 1/4" | 2,5m | 0,3m x 0,3m x la profundidad de entierro del poste | 0,8m x 0,8m x 0,5m | 3m | La profundidad de entierro de las columnas debe asegurar que queden rígidos |

| Diámetro de tuberías de 2" | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------------------|--|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Longitud del puente | Flecha | Diámetro cable principal | Altura de columnas | Zapatatas de columnas | Anclajes Ancho x largo x alto | Distancia del anclaje a columna | Observaciones |
| Hasta 40m | 1,4m | 1/4" (6,35mm) | 2m | 0,5m x 0,5m x profundidad de entierro de poste | 0,9m x 0,9m x 0,6m | 3m | Columnas de diámetro de 4" a 6" |
| Hasta 60m | 1,8m | 7/16" (11,1mm) | 2,5m | 0,5m x 0,5m x profundidad de entierro de poste | 1,2m x 1,2m x 0,6m | 4m | Columnas de diámetro de 4" a 6" |



Pequeños puentes colgantes.

Diámetro de tubería 3"

| Longitud del puente | Flecha | Diámetro cable principal | Altura de columnas | Zapatas de columnas | Anclajes | Distancia del anclaje a columna | Observaciones |
|---------------------|--------|--------------------------|--------------------|--|--------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Hasta 20m | 0,8m | 1/4" (6,35mm) | 1m | 0,5m x 0,5m x la profundidad de entierro del poste | 0,8m x 0,8m x 0,5m | 3m | Columnas de diámetro de 6" |

Diámetro de tubería 4"

| Longitud del puente | Flecha | Diámetro cable principal | Altura de columnas | Zapatas de columnas | Anclajes | Distancia del anclaje a columna | Observaciones |
|---------------------|--------|--------------------------|--------------------|--|--------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Hasta 20m | 1m | 5/16" (7,95mm) | 1,4m | 0,6m x 0,6m x la profundidad de entierro del poste | 0,9m x 0,9m x 0,5m | 3m | Columnas de diámetro de 6" |

| Diámetro de tubería 8" | | | | | | | |
|------------------------|--------|--------------------------|--------------------|--|--------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Longitud del puente | Flecha | Diámetro cable principal | Altura de columnas | Zapatatas de columnas | Anclajes | Distancia del anclaje a columna | Observaciones |
| Hasta 10m | 1m | 3/8" (9,53mm) | 1,2m | 0,6m x 0,6m x la profundidad de entierro del poste | 0,9m x 0,9m x 0,5m | 3m | Columnas de diámetro de 6" |



Puente colgante realizado en un sistema de conducción mediante canales. Comunidad Refugio, Salta.

La mayoría de las veces tendremos que plantear y armar estos puentes en el suelo, y una vez terminados los colocamos en el sitio requerido. En todos los casos, es importante recubrir la tubería para protegerla de agentes externos, principalmente del sol. Para eso la envolvemos con tiras de tela tipo media sombra que luego cubrimos con pintura asfáltica. También podemos recubrir con membrana asfáltica y en algunos casos se han utilizado cueros o trapos.



Protección de la tubería con tela media sombra y membrana asfáltica.



Pintar con pintura blanca la tubería o bien la media sombra, aumenta la duración de los materiales ante la exposición al sol. Comunidad Maymaras, Jujuy.

Generalmente los puentes se curvan un poco en la parte media, por lo que es conveniente que tengan una inclinación mínima “pendiente abajo”.

En canales con caudales de hasta 100 l/s se han construido puentes con diámetros de tubería de 110 a 300 mm, y en la entrada y salida del puente se construyen pequeñas cajas de hormigón que actúan a modo de transición.

En estos casos de diámetros mayores se recurre a colgar la tubería mediante el uso de dos cables en paralelo para dar más estabilidad.

Una forma de armar los cables es mediante la torsión de alambre de alta resistencia 17/15 (San Martín). Si bien no reunirá todas las cualidades de los cables fabricados para tal fin, pueden ser utilizados en puentes pequeños.

Tabla 17: Número de alambres según la luz del puente.

| Diámetro de tubería | Hasta 20m | Hasta 40m | Hasta 60m | Hasta 80m |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1" (25,4mm) | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 2" (50mm) | 2 | 3 | 5 | |
| 3" (75mm) | 2 | 5 | 7 | |

A modo de ejemplo, para armar un cable de ¼” necesitamos realizar la torsión de 3 alambres de alta resistencia; para un cable de 3/8” lo armaremos con 7 alambres, y en un cable de ½” necesitaremos 11 alambres.



Una forma de armar el cable es mediante la torsión de varios hilos de alambre, por ejemplo alambre San Martín 17/15 (alta resistencia). Esta torsión se realiza entre varias personas, cada una toma un hilo y lo hacen girar al mismo tiempo y en el mismo sentido con una palanca; en el otro extremo, se ubica un destorcedor atado a un punto fijo, y en la argolla se atan los alambres por separado. Al girar en el mismo sentido y en forma pareja, los alambres se van torsionando entre sí, creando un cable de varios hilos.

*Sistemas de conducción
mediante canales*



5. SISTEMAS DE CONDUCCIÓN MEDIANTE CANALES

5.1 Definición y clasificación de canales

Podemos definir un canal como un cauce que conduce el agua desde la captación o desde un almacenamiento hacia los sitios de uso. En este manual cuando hablamos de canales nos referimos a los construidos por el hombre¹³. Su estructura es un conducto abierto donde el agua se desplaza por acción de la gravedad. En este caso, el flujo no está bajo ningún tipo de presión ya que parte de su superficie está en contacto directo con el aire.

Los proyectos de conducción mediante canales que fueron consultados para la elaboración de este capítulo, se centran en el revestimiento o impermeabilización de pequeños canales de tierra o “acequias” preexistentes en comunidades altoandinas.

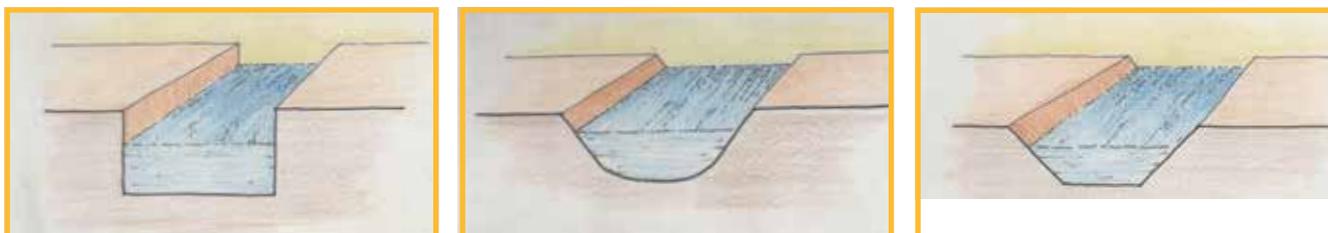
A diferencia del diseño de conducción mediante tuberías, donde es importante la definición del diámetro de la conducción, en los canales dimensionamos a partir de la sección, tal como desarrollaremos en los siguientes apartados.

Tabla 18: Clasificación de canales.

Los canales se clasifican según su forma, el tipo de pared y su ubicación en el sistema de riego.

Clasificación de canales » Según su forma

En los canales la sección puede adoptar diferentes formas de diseño. Pueden ser de sección triangular, semicircular, trapezoidal y rectangular, siendo las dos últimas las más comunes.



Formas en la sección de un canal.

¹³ En distintas bibliografías también se denomina canales a los cursos de agua naturales.

Clasificación de canales » **Según sus paredes**

De tierra sin revestir: Son canales excavados en el suelo. Las velocidades de circulación del agua por encima de cierto límite producen erosión en las paredes y en la base. Por ello se los denomina erosionables.



Canales sin revestir.

Revestidos: Las paredes están revestidas con piedra calzada y junta de cemento o con hormigón, entre otros materiales. El revestimiento evita la erosión y permite la circulación del agua con mayor pendiente y velocidad.



Canales revestidos en piedra calzada con junta de cemento y hormigón

Clasificación de canales » **Según su ubicación en el sistema de riego**

Canal principal o primario: Es el canal que parte desde la toma y conduce el agua a lo largo de todo el sistema. De él se desprenden los canales de distribución o secundarios.

Canal secundario: Derivan el agua desde el canal principal o primario mediante particiones a canales terciarios o a las parcelas. De acuerdo al diseño, se puede disponer de canales terciarios, cuaternarios, etc.

5.2 Diseño de la infraestructura de conducción por gravedad mediante canales

Para determinar las dimensiones de un canal necesitamos conocer las siguientes características hidráulicas:

A - El caudal a conducir.

B - La pendiente, obtenida mediante los datos de desniveles y distancias.

C - La rugosidad de las paredes del canal, que depende de los materiales con los que se construirá (tierra, piedra, revestido con hormigón, entre otros).

D - La velocidad del agua, determinada por la pendiente y la rugosidad de las paredes del canal.

A. CAUDAL DE DISEÑO

En el Capítulo 3 de este manual, hemos visto como obtener el caudal de diseño para riego¹⁴. Dicho caudal lo afectamos por un coeficiente de eficiencia de riego del 35%, de modo tal que al dividir el caudal unitario por 0,35 obtenemos el dato del caudal bruto a aplicar.

En la conducción mediante canales no llega toda el agua a la parcela. Parte se pierde en la operación del sistema, en el cambio de turnados, en la apertura y cierre de compuertas, por filtraciones, entre otras causas.

Para considerar estas pérdidas incorporamos el concepto de eficiencia de la conducción que se calcula dividiendo el caudal bruto por un coeficiente de eficiencia determinado. Por ejemplo, si estimamos que al revestir un canal, colocar compuertas nuevas y mejorar la distribución, obtendremos un 80% de eficiencia (es decir que un 20% se pierde) dividimos nuestro caudal por 0,8 para conocer el caudal real que llegará a la parcela.

» Siguiendo con el ejemplo

Diseñamos un canal que lleve a las parcelas un caudal neto de 30 litros por segundo, suponiendo que la eficiencia de la conducción será del 80%.

Caudal a conducir: $30 \text{ l/s} / 0,8 = 37,5 \text{ l/s}$

Se realizará un diseño para conducir un caudal de $38 \text{ l/s} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$

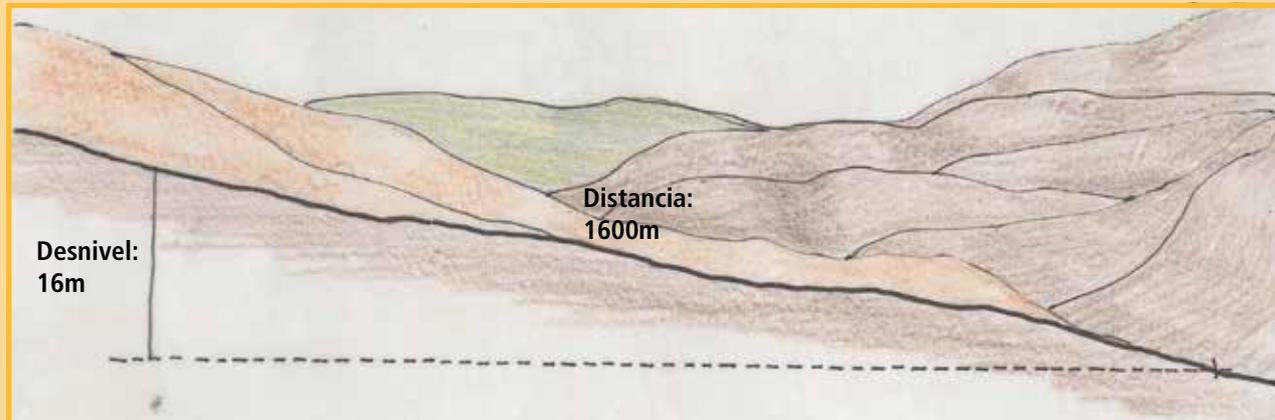
¹⁴ Nos referimos al apartado 3.1.3 punto E. Caudal de diseño en canales para riego.

B. PENDIENTE

Como ya vimos, la pendiente representa la variación de altura en el terreno, y podemos expresarla de la siguiente manera:

- » La variación de altura por cada metro en el terreno (m/m). Para obtener este dato dividimos el desnivel por la distancia. Esta es la forma más usada para dimensionar canales.
 - » Porcentaje: variación de altura en 100 metros de distancia (metros en 100 metros). También podemos encontrarla expresada como el desnivel en mil metros.
- El primer paso consiste en determinar la pendiente natural del terreno por donde se va a conducir el agua.

Por ejemplo, si medimos un desnivel de 16 metros en 1600 metros de distancia, entonces para calcular la pendiente



Cálculo de pendiente.

Dividimos el desnivel por la distancia:

$$16/1600 = 0,01 \text{ metro de desnivel por metro de terreno.}$$

Esto es igual a bajar 1 centímetro por cada metro en el terreno.

Si queremos expresar la pendiente en porcentaje significa 1 metro de desnivel cada 100 metros, entonces estamos hablando de una pendiente del 1% ($0,01 * 100$).

En el caso que notemos cambios de pendiente muy marcados, calculamos por tramos.

Al momento de diseñar la traza de la conducción, en algunos casos debemos elegir determinada pendiente de trabajo que estará condicionada fundamentalmente por el tipo de canal a construir.

En canales de tierra, con alturas del pelo de agua menores a 30 cm trataremos que la pendiente no supere el 0,3% (30cm cada 100 metros o 3cm cada 10m), pudiendo llegar a 0,7% si el suelo es firme, por ejemplo arcilloso.

En canales revestidos se puede trabajar con pendientes mayores ya que no sufren erosión fácilmente. Es conveniente utilizar pendientes superiores a 0,75% porque en la mayoría de los casos posibilitan el arrastre de pequeños materiales como arena y ripio, convirtiendo los canales en auto-limpiantes. De todos modos, es importante considerar que en este tipo de canales los sedimentos se transportan a las parcelas de cultivo, situación que muchas veces tampoco es conveniente, especialmente en épocas de mucha carga de sedimentos. Asimismo, con el tiempo se produce un desgaste del revestimiento de la conducción (hormigón), por eso es sumamente importante contar con buenas estructuras de desarenación en el sistema.

C. RUGOSIDAD DE LAS PAREDES

Para una misma pendiente, la rugosidad de la base y paredes del canal definen la velocidad del agua. A mayor rugosidad, menor velocidad dada por el mayor rozamiento del agua con las paredes.

Para canales de secciones iguales, en aquellos de tierra y con pastos en sus taludes el agua encontrará mayor resistencia y llevará menos caudal que en canales revestidos, ya que la superficie lisa ofrecerá menor resistencia al paso del agua.



Para una misma sección o tamaño de canal, la velocidad es mayor en canales revestidos, por lo tanto transportan un mayor caudal de agua, logrando mejor eficiencia.

En el diseño de canales utilizamos un coeficiente de rozamiento llamado n de Manning, que dependerá de la rugosidad de las paredes del canal. En la Tabla 19 se indican los valores de resistencia para cada tipo de material.

D. VELOCIDAD DEL AGUA EN LOS CANALES

En canales de tierra, hay velocidades máximas admisibles para el transporte del agua según el tipo de material. Respetar estas velocidades evita la erosión y por consiguiente posibles roturas.

Los canales revestidos son capaces de resistir la acción erosiva del agua, por lo que a veces no es necesario tener en cuenta las velocidades máximas erosivas. En general, las velocidades admisibles en este tipo de canales son de 2,5 a 5 m/s.

Tabla 19: Velocidad máxima admisible según el material del canal.

| Material del canal | Velocidad límite máxima (metro/segundo) |
|---------------------------------------|---|
| Tierra franca | 0,6 m/s |
| Tierra arcillosa | 0,9 m/s |
| Revestidos con piedra y mezcla simple | 1 m/s |
| Mampostería con concreto | 2 m/s |
| Hormigón | 3 a 5 m/s |

Fuente: Adaptado de Villon Béjar, 2000.

5.3 Elementos en el diseño de canales

Para el diseño, necesitamos conocer los elementos que componen un canal y definir sus dimensiones. A continuación mostramos sus características geométricas.



Tabla 20: Elementos de un canal.

Elementos de un canal » **Base de fondo (b)**

Es la base o solera del canal. Para caudales bajos, pueden tener un ancho de 0,1 a 0,4m. Una base de 0,3 m facilita el trabajo de limpieza con pala ancha.



Elementos de un canal » **Tirante (y)**

Es la altura desde la base de fondo hasta el nivel o pelo de agua del canal.

En canales rectangulares la máxima eficiencia se da cuando el tirante mide la mitad de la base de fondo ($y = b/2$).



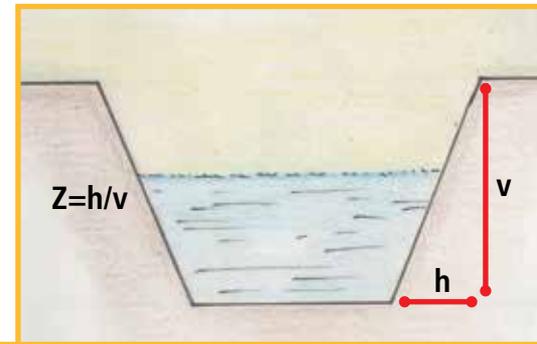
Elementos de un canal » **Talud (t)**

Indica la inclinación de los laterales del canal. En los dibujos se identifica con la letra z y representa la relación que existe entre la horizontal (h) y la vertical (v). Entonces $z=h/v$.

En canales rectangulares, z es igual a cero ya que no existe inclinación.

En canales trapezoidales esta relación es variable, pudiendo ser en canales revestidos o con suelos muy arcillosos desde 0,5:1 ($z=0,5$) a 1:1 ($z=1$). Para proyectos de revestimiento de canales, estas relaciones son las más usadas.

Ver Anexo 8 Cálculo de z en taludes.



Taludes del canal.

Elementos de un canal » **Ancho o base superior del canal (E) o espejo de agua.**

Es el ancho del canal hasta el nivel del agua. También se lo cita como ancho de pelo de agua o espejo de agua.



Ancho o base superior del canal.

Elementos de un canal » **Perímetro mojado (PM)**

Es la suma de los taludes y la base inferior, que están en contacto con el agua. Dicho en forma sencilla, es la "parte mojada del canal"



Perímetro mojado del canal.

Elementos de un canal » **Radio hidráulico (R)**

Es la relación entre la sección o área del canal y su perímetro mojado.

$$R = A/PM$$

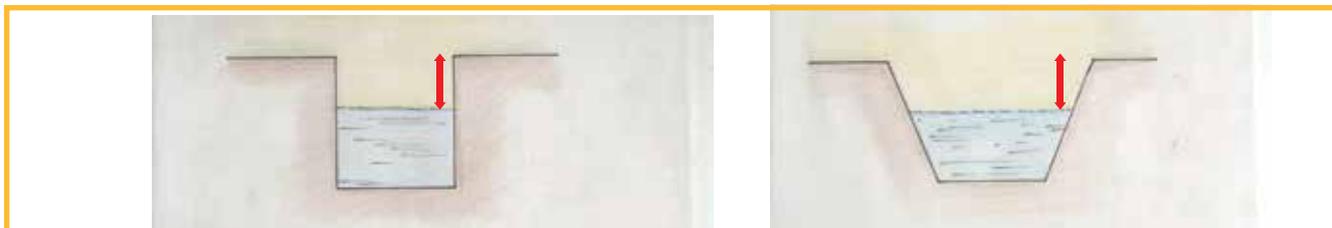
Elementos de un canal » **Resguardo (r), bordo libre o revancha.**

El resguardo o bordo libre es la altura desde el pelo de agua del canal, hasta el borde superior del canal.

Su dimensionamiento es necesario para evitar el desborde del canal ante caudales máximos imprevistos.

Las medidas corrientemente adoptadas varían del 5 al 30% de la altura del canal, dependiendo de la seguridad que se quiera dar.

En la práctica, podemos utilizar un resguardo de 1/3 del tirante. (Villón Béjar, 2000).



Resguardo del canal.

Elementos de un canal » **Profundidad total del canal (H).**

Es la suma del tirante (y) más el resguardo o revancha (r).



Profundidad total del canal.

Elementos de un canal » **Ancho máximo del canal o ancho de boca (Bm)**

Es el ancho superior máximo del canal que incluye el resguardo.



Elementos de un canal » **Coronamiento**

Consiste en dejar una plataforma a modo de banquina o terraplén en cada lado del canal. En canales pequeños y excavados prácticamente no se realiza.

Elementos de un canal » **Sección transversal o área del canal**

Este dato sirve para conducir el caudal a una determinada velocidad (Ver a continuación).

Tal como indicamos en el cuadro, el dato de la sección está relacionado con el caudal a conducir y su velocidad. Las secciones más utilizadas son la rectangular y trapezoidal y el diseño de una u otra dependerá del material:

- » En canales de tierra se suele trabajar con sección trapezoidal ya que la inclinación de los taludes disminuye la erosión (excepto que el suelo sea muy arcilloso).
- » La facilidad constructiva: el hormigón suele ser más fácil de trabajar con paredes verticales, dado que colocamos el encofrado¹⁵ y luego se rellena.

¹⁵ El encofrado consiste en colocar tablas o algún material que de forma y contenga al hormigón hasta que frague, como se detalla más adelante.



Canal de hormigón con taludes verticales.



» También se puede trabajar con piedra parada y rellenando las juntas con concreto, manteniendo una sección rectangular, muy común en pequeños canales de bajo caudal.



Canales de piedra con taludes verticales.





Canal con talud inclinado o sección trapezoidal.

» Otra forma es ubicar las piedras recostadas sobre los taludes trapezoidales y rellenar con mortero.

» Si bien no se han realizado muchas experiencias, también se revisite con ferrocemento, que se prepara con una capa de concreto o mortero de poco espesor (2 a 5cm), con poca agua (la mezcla debe ser lo más seca posible) y se refuerza internamente con malla romboidal o gallinera.



Revestimiento con ferrocemento.

5.4 Dimensionamiento de los canales

Analizados los elementos que componen un canal y con los datos de caudal, pendiente y revestimiento ya relevados y considerados en terreno, estamos en condiciones de pasar a la etapa de dimensionamiento de canales.

Podemos realizar el diseño del canal de manera manual o con programas informáticos.

A. DISEÑO MEDIANTE CÁLCULOS MANUALES

El cálculo manual, laborioso y algo complejo, contiene una serie de fórmulas hidráulicas que detallamos a continuación.

» Fórmulas que nos permiten calcular los elementos del canal

SECCIÓN RECTANGULAR:

Área hidráulica: $b \cdot y$

Perímetro mojado: $b + 2 \cdot y$

Radio hidráulico (R): $\frac{b \cdot y}{b + 2 \cdot y}$

Espejo de agua: b



SECCIÓN TRAPEZOIDAL:

Área hidráulica: $(b + z \cdot y) \cdot y$

Perímetro mojado: $b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{1+z^2}$

Radio hidráulico (R): $\frac{(b + z \cdot y) \cdot y}{b + 2y\sqrt{1+z^2}}$

Espejo de agua: $b + 2 \cdot z \cdot y$



Realizamos los cálculos con distintos tamaños de base de fondo y distintos tirantes, hasta obtener a partir de la sección y la velocidad, el caudal de diseño de nuestro proyecto.

Recordemos la fórmula para calcular el caudal, llamada **ecuación de continuidad**:

» Ecuación de continuidad

CAUDAL (Q) = Sección (s) * Velocidad (v)

$$Q = s * v$$

El caudal de diseño se mide en m³/s, la sección o área mojada en m² y la velocidad del agua en m/s.

Con el dato de caudal y de velocidad (elegimos una velocidad para una primera aproximación, por ejemplo 1 l/s) de acuerdo al tipo de material con que construiremos el canal, podemos calcular la sección necesaria:

$$S = Q/V$$

Desarrollamos la fórmula de Manning, eligiendo un coeficiente de rugosidad n que depende de las paredes del canal y que obtenemos en la Tabla 21.

$$V = 1/n * i^{1/2} * R^{2/3}$$

Dónde:

- Q:** caudal de diseño (m³/s)
- i:** pendiente del canal (m/m)
- R:** radio hidráulico (m)
- n:** coeficiente de la rugosidad del canal (por tablas)
- V:** velocidad del agua (m/s)

Tabla 21: Valores de n dados por Horton para aplicar en la fórmula de Manning*.

| Superficie | Estado de mantenimiento | | | |
|--|-------------------------|-------|---------|-------|
| | Óptimo | Bueno | Regular | Malo |
| Tubería de hormigón | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,016 |
| Ladrillo en mortero de cemento | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,017 |
| Superficies de mortero de cemento | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,015 |
| Conductos de madera sin cepillar | 0,011 | 0,013 | 0,014 | 0,015 |
| Canales con revestimiento de hormigón | 0,012 | 0,014 | 0,016 | 0,018 |
| Superficie de mampostería con cemento | 0,017 | 0,020 | 0,025 | 0,030 |
| Canales de tierra rectos | 0,017 | 0,020 | 0,023 | 0,025 |
| Cortes en roca lisos | 0,025 | 0,030 | 0,033 | 0,035 |
| Cortes en roca ásperos | 0,035 | 0,040 | 0,045 | --- |
| Canales sinuosos de corriente lenta | 0,023 | 0,025 | 0,028 | 0,030 |
| Canales excavados en tierra | 0,025 | 0,028 | 0,030 | 0,033 |
| Fondo de tierra, costados de mampostería | 0,028 | 0,030 | 0,033 | 0,035 |
| Corrientes naturales | | | | |
| Limpios, riberas rectas | 0,025 | 0,028 | 0,030 | 0,033 |
| Sinuosos, algunos bancos, limpios | 0,033 | 0,035 | 0,040 | 0,045 |
| Ídem, con algunas malezas y piedras | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,050 |
| Tramos lentos de río, con remansos | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 |
| Tramos lentos con mucha maleza | 0,075 | 0,100 | 0,125 | 0,150 |

* Adaptado Villón Béjar, 2000

En general los valores que se utilizan para canales de tierra oscilan entre 0,025 y 0,030 y para canales revestidos en hormigón entre 0,013 y 0,015 (Villón Béjar, 2000). En el caso de piedra calzada con junta de cemento podemos utilizar 0,017 a 0,02 (mampostería).

En Anexo 9 y 10 desarrollamos ejemplos para el cálculo manual de la sección de un canal para revestimiento de piedra y mortero de cemento de sección rectangular y trapezoidal.

B. DISEÑO MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DISCAN

El programa dimensiona los elementos y la sección del canal a partir de la carga de los datos relevados en terreno: caudal, longitud y pendiente.

Iniciamos el programa cargando el nombre del Proyecto, su localización y longitud del tramo a dimensionar. Luego, definimos si calculamos a partir de una base de fondo ya elegida (b), lo que es más común, o según el tirante (altura de agua o profundidad del canal).

Elegida la opción, introducimos los datos de nuestro proyecto: caudal a conducir (m^3/s), pendiente (m/m), obtenida de la división de distancias y desniveles, el coeficiente n de Manning, según la rugosidad de las paredes que tendrá el canal y el talud (z).

156

CAUDAL DE DISEÑO EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO

Tabla 22: Equivalencias en medidas de caudales.

| Caudal en litros/segundo | Caudal en m ³ /segundo |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 10 l/s | 0,01 m ³ /s |
| 25 l/s | 0,025 m ³ /s |
| 30 l/s | 0,03 m ³ /s |
| 50 l/s | 0,05 m ³ /s |
| 70 l/s | 0,07 m ³ /s |
| 100 l/s | 0,1 m ³ /s |
| 150 l/s | 0,15 m ³ /s |
| 170 l/s | 0,17 m ³ /s |
| 200 l/s | 0,2 m ³ /s |

B. LA PENDIENTE POR METRO

Para obtener la pendiente dividimos el desnivel del tramo del canal por su longitud:

$$\text{PENDIENTE (m/m): } \text{desnivel (Dh)} / \text{longitud (DI)}$$

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

Es el n de Manning que depende de las paredes del canal y afecta la velocidad del agua en el canal. Para obtener este dato recurrimos a la Tabla 21 y elegimos el valor indicado para el tipo de revestimiento que utilizaremos.

INCLINACIÓN O TALUD (Z)

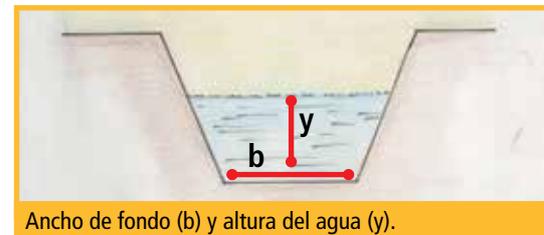
Z es la relación entre la horizontal y la vertical (**H/V**).

En canales rectangulares la relación es igual a cero. En canales trapecoidales revestidos con hormigón o piedra emboquillada utilizamos una relación de 0,5 a 1. En canales de tierra firme y erosionables, 1 a 3.



ANCHO DE FONDO (B) Y ALTURA DEL AGUA O TIRANTE (Y)

Colocamos el valor del ancho de la base de fondo (**b**) o la altura del pelo de agua (**y**) según la alternativa seleccionada (expresados en metros).



Cargados los datos, pulsamos Calcular y el programa nos informará el diseño del canal para las medidas consignadas. Además presenta un esquema gráfico con los elementos del canal: base, tirante, talud y ancho superior del canal. Debemos verificar que la velocidad del agua en el canal proyectado se encuentre entre las velocidades admisibles para el tipo de revestimiento elegido (Ver Tabla 19).

En el sector inferior del programa podemos agregar información adicional que sea importante conservar.

Otras opciones del programa:

- » **Restablecer:** permite borrar y modificar todos los datos cargados.
- » **Imprimir:** imprime la información de cálculo obtenida.
- » **Informe:** permite generar un informe con los datos cargados y el diseño.
- » **Guardar:** guarda los datos de cálculo con el nombre del proyecto, que podemos recuperar con la opción Datos Guardados.
- » **Datos Guardados:** recupera los datos de proyectos anteriores que fueron guardados.
- » **Revestimiento:** mediante la carga del espesor del revestimiento, obtenemos el volumen aproximado del material por metro y para todo el tramo.

5.5 Construcción de canales

5.5.1 Recorrido y marcación de la traza del canal

Como primera actividad es importante evaluar junto a la comunidad cuál será la traza más conveniente y viable para que construyamos el canal. Esto lo analizaremos a partir de recorridas en el terreno, relevando los datos de distancias y desniveles para conocer las pendientes, y posibles obras complementarias como puentes, saltos y compuertas. Es conveniente marcar con estacas o pintura los puntos del recorrido, en lo posible numerados.

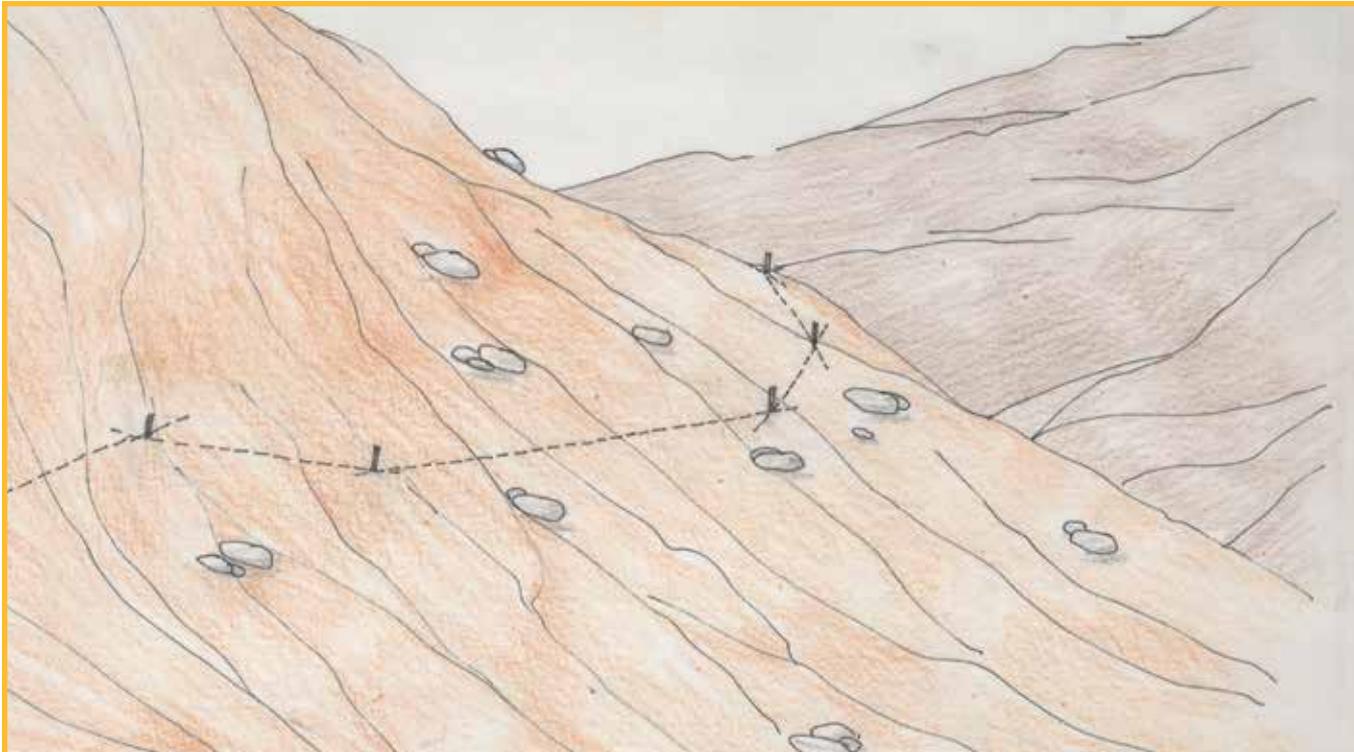
Al ser obras medianamente sencillas, podemos trabajar con planos o dibujos del sistema hechos a mano alzada, donde anotamos las alturas y distancias de los puntos de referencia de la traza.

Ya dijimos que gran parte de los proyectos para revestir canales comunitarios se realizan sobre acequias pre-existentes, con lo cual la traza ya está definida. En estos casos analizamos si la sección de ese canal asegurará los caudales de diseño y si debemos replantear la traza en algunos sectores.



Recorrido de una acequia para analizar mejoras del sistema. Los Colorados, Jujuy.

Para marcar la traza del canal podemos ubicar estacas en el eje del canal, es decir, en la línea imaginaria que une los puntos centrales del canal. Posteriormente esta marcación nos permitirá abrir el ancho de la excavación hacia ambos lados de la línea central, según el ancho del canal y el espesor del revestimiento.



Marcación del eje del canal.

A fin de respetar las pendientes de diseño, utilizaremos alguno de los instrumentos de nivelación mencionados en el manual (Nivel Óptico, Nivel "A", Nivel de Manguera) para determinar durante la traza cuáles serán las diferencias de nivel proyectadas (pendiente de trabajo).

» Por ejemplo

Si trazamos el canal con una pendiente de 0,3% (0,003 m/m) y utilizamos un nivel de manguera de 10 metros de largo, el procedimiento será:

En 100m, bajamos 0,3m (30cm) lo que es igual a decir que en 10m se baja 3 cm. Por lo tanto buscamos en el terreno los puntos con una diferencia de altura de 3 cm cada 10 metros de distancia o de recorrido.

En los puntos mencionados, colocamos las estacas que quedarán a una distancia de 10m entre sí. En lo posible, trataremos que la cabeza de la estaca marque el nivel deseado.



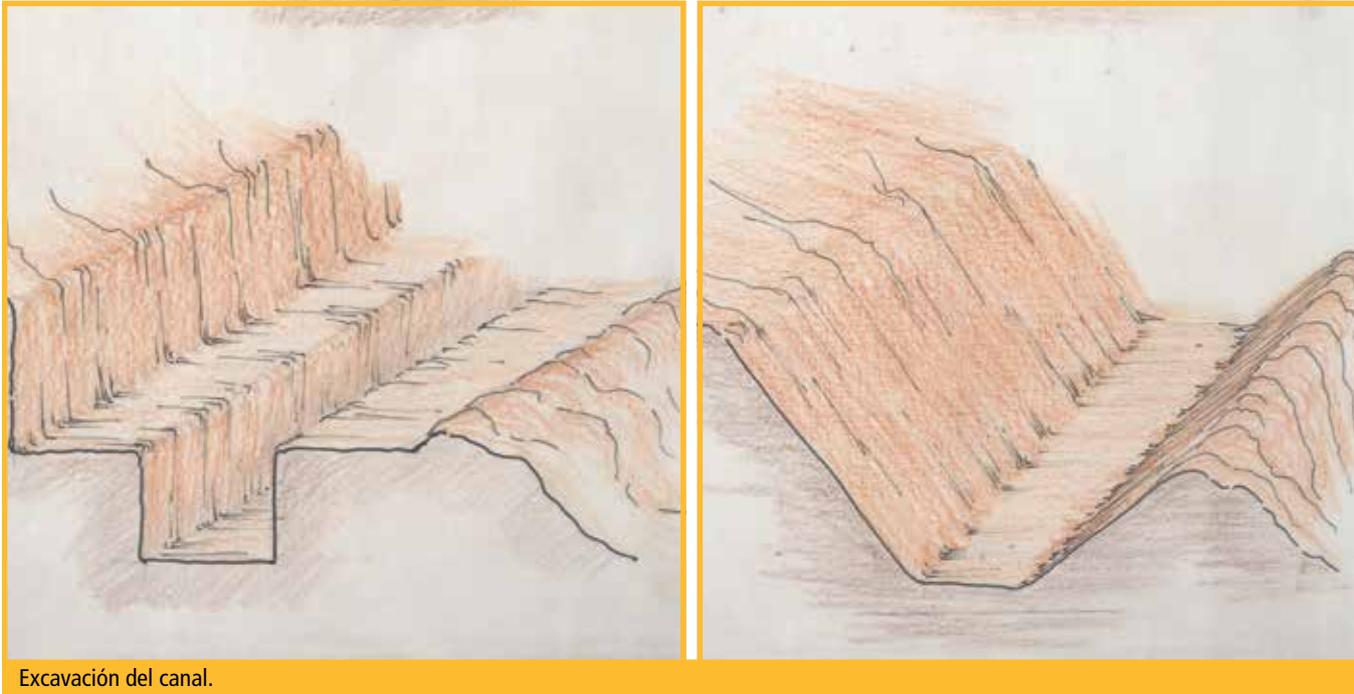
Marcación del eje del canal.

El control de la pendiente es fundamental en la construcción de canales de tierra. En canales revestidos se puede trabajar con mayor flexibilidad, dado que no presentan los problemas de erosión de los canales de tierra.

5.5.2 Excavación

Habiendo consensuado comunitariamente el recorrido y la marcación del canal en el terreno, estamos en condiciones de excavar la traza.

En zonas de ladera o fuertes pendientes es conveniente abrir una plataforma para trabajar con comodidad, la que estará definida por el ancho superior del canal. El punto medio de dicha plataforma será el eje del canal proyectado.



En excavaciones de canales que serán revestidos hay que tener en cuenta el ancho del revestimiento, sumándolo a la sección del canal. También tenemos que controlar la pendiente en la base de fondo del canal.

5.5.3 Revestimiento de los canales

Si bien los canales sin revestir van logrando con el tiempo cierta impermeabilización, especialmente los más antiguos, el revestimiento mejora la eficiencia de la conducción.

Entre los objetivos del revestimiento de los canales, podemos mencionar:

- » Trabajar en situaciones de pendientes mayores a las máximas admisibles, lo que aumenta la velocidad de circulación del agua y permite, para un mismo caudal, la construcción de canales de menor sección.
- » Disminuir las pérdidas de agua por infiltración, lo que hace más eficiente el sistema.
- » Facilitar la construcción de canales con taludes verticales (sección rectangular)
- » Facilitar la limpieza del canal por trabajar con pendientes y velocidades mayores. Los canales se vuelven auto-limpiantes porque no se depositan los sedimentos transportados por el agua.
- » Aumentar la vida útil del canal por menor riesgo de roturas producidas por filtraciones, rebalses del canal, deslizamientos, entre otras causas.
- » Reducir los trabajos de mantenimiento.

Un canal revestido tiene un costo mayor y requiere un aporte importante de mano de obra para su construcción, pero este esfuerzo se amortiza rápidamente debido a la mejora en la velocidad de arribo del agua a las parcelas, y a la disminución de los aportes anuales de mano de obra para su mantenimiento, que en canales revestidos son prácticamente inexistentes. En muchos casos, especialmente cuando los recursos son escasos, se impermeabilizan sólo los sectores críticos de la conducción, como sitios donde el suelo tiene grandes pérdidas por infiltración, en pasos de laderas inestables o en zonas de fuertes pendientes.

Los materiales para revestir son varios: arcillas, plásticos o pre-moldeados de hormigón, entre otros. En este manual haremos referencia a dos técnicas de impermeabilización muy utilizadas en la región andina:

A. Revestimiento de hormigón

B. Revestimiento de piedra calzada con junta de cemento emboquillada.

A. REVESTIMIENTO DE HORMIGÓN

Se denomina hormigón a la mezcla homogénea de cemento, arena (árido fino) y ripio o piedra (árido grueso), con el agregado de agua para que fragüe y endurezca.

Cuando mezclamos cemento, arena y agua se denomina mortero o concreto. Al agregarle árido grueso lo llamamos hormigón.

Según sus características vamos a encontrar distintos tipos de hormigón:

- » **Hormigón simple:** es la mezcla típica de cemento, arena, ripio y agua. Los componentes varían en sus proporciones.
- » **Hormigón armado:** es el hormigón simple con barras de hierro a modo de armadura e incorporadas en la estructura.
- » **Hormigón ciclópeo:** es el hormigón simple en cuya mezcla incorporamos grandes piedras o bloques pero sin armadura. Las piedras deben ser previamente seleccionadas y lavadas, y es fundamental que en su ubicación definitiva estén totalmente rodeadas de concreto simple u hormigón.

Tabla 23: Tipos de hormigón y sus componentes.

| Denominación | Componentes |
|--------------------|--|
| Mortero o concreto | cemento + arena + agua |
| Hormigón Simple | cemento + arena + ripio + agua |
| Hormigón Armado | cemento + arena + ripio + agua + hierro |
| Hormigón Ciclópeo | piedra de tamaño adecuado + cemento + arena+ agua (también puede llevar ripio) |

El hormigón pasa por distintas etapas hasta llegar a su endurecimiento final:

A partir de la incorporación de agua a la mezcla de arena, ripio y cemento, el hormigón toma un estado fluido. Tiene una duración aproximada de 1 hora para ser utilizado. Pasado este tiempo no es conveniente usarlo ya que no cumplirá con las propiedades deseadas, por lo que debemos preparar sólo las cantidades que aplicaremos en lo inmediato. Posteriormente el hormigón comienza a endurecer y solidificarse, fraguado del hormigón, no lo podemos retocar ni mover, para evitar roturas o fisuras. Este primer proceso es variable, puede durar entre 8 y 10 horas desde la colocación de la mezcla.

Durante el fraguado, el encofrado que es la colocación de moldes de madera u otro material como chapas, cumple un rol fundamental porque contiene el hormigón mientras endurece. Lo ideal es dejar el encofrado varios días para el correcto fraguado, pero como en la construcción de canales las tablas se utilizan en forma continua, deberíamos asegurarnos que queden como mínimo 4 a 5 horas antes de retirarlas, y luego tener los cuidados suficientes para no pisar la estructura realizada, dado que el material aún se encuentra frágil.

Durante la primera semana, el hormigón adquiere su mayor dureza, pero el proceso de fraguado y endurecimiento demora más de un mes para que adquiera sus características definitivas.

Este proceso depende de diversas condiciones como la humedad, temperatura ambiente, cantidad de agua en la mezcla, entre otras.

En esta etapa debemos realizar las tareas de “curado” del hormigón que consisten en mantenerlo húmedo en forma continua mediante riegos frecuentes. Esta actividad es fundamental especialmente durante la primera semana de fraguado.

La humedad permite que se desarrollen los procesos químicos de endurecimiento en forma normal, para obtener las características deseadas (durabilidad, resistencia) y evitar un secado rápido que podría originar fisuras y el “quemado” del material.

Para mantener la humedad tapamos la estructura con bolsas de arpillera mojada (o las propias bolsas del cemento), o agregamos tierra y la inundamos con agua.

Es importante no trabajar con hormigón cuando existen posibilidades de congelamiento, dado que su resistencia y durabilidad se verán afectadas.

PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN

El método más utilizado es la dosificación por volumen, o bien por peso. En la Tabla 24 indicamos las proporciones en partes de los componentes del hormigón que se han utilizado en estos tipos de sistemas.

Tabla 24: Proporción de materiales para preparar el hormigón (en volumen o partes).

| Cemento | Arena | Ripio - piedra |
|---------|-------|----------------|
| 1 | 2 | 4 |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | 2 | 2 |

A mayor proporción de cemento, mayor será su resistencia. En algunos casos la arena y el ripio ya vienen mezclados (riposa), utilizándose relaciones de 1 parte de cemento por 3 a 6 partes de ripiosa.

Cuando agregamos el agua debemos buscar una humedad mínima pero que permita trabajar la mezcla. Si está muy aguada, cuando se seque resultará más frágil y más propensa a roturas. Por cada balde de cemento debe añadirse aproximadamente medio balde de agua. Cuando trabajamos con exceso de agua veremos que ésta queda en la superficie de la mezcla.

De acuerdo a mediciones realizadas en terreno, para lograr 1m^3 de hormigón en una relación de materiales 1:2:3, necesitamos los siguientes insumos:

Tabla 25: Materiales necesarios para preparar 1m^3 de hormigón.

| |
|--|
| 5 bolsas de cemento. |
| $0,4\text{m}^3$ de arena (5-6 carretillas hondas). |
| $0,6\text{m}^3$ de ripio (8 carretillas hondas). |

Otra forma práctica de plantearlo es que por cada m^3 de hormigón necesitamos 5 a 6 bolsas de cemento. Y por cada bolsa de cemento, 2 bolsas de arena y 3 bolsas de ripio.

Para preparar el hormigón en forma manual, juntamos todos los materiales en seco, hasta que la mezcla sea uniforme. Luego realizamos un hoyo en el medio y agregamos el agua dando tiempo para que penetre. Por último mezclamos de afuera hacia adentro cuidando que el agua no escape.

Recordemos que debemos utilizar esta mezcla en el lapso de una hora, porque una vez que incorporamos el agua, comienza a fraguar.



Preparación de la mezcla.

REVESTIMIENTO

La construcción de las paredes del canal se realiza colocando una capa de hormigón del espesor determinado en el diseño. Para los caudales que consideramos y el tipo de proyectos que estamos trabajando, suele ser suficiente un espesor de 5 a 20cm.

Para revestir las paredes debemos encofrar colocando tablas del tamaño final del canal calculado, para que den forma y contengan al hormigón mientras fragua.



Encofrado de la excavación.

Debemos colocar trabas internas para sostener las tablas del encofrado en la posición correcta (ver foto) y para evitar que el peso del hormigón deforme o separe la estructura con la consiguiente pérdida de material (para “que no escape la mezcla”). Antes de rellenar las paredes tenemos que humedecer el encofrado y el suelo.

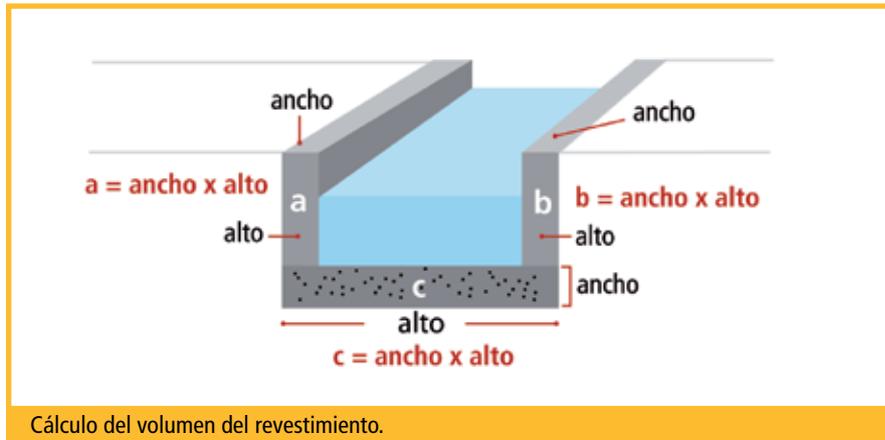


El encofrado se puede realizar en ambas caras. La situación más común y más fácil es encofrar sólo del lado interno, usando el suelo como contención del lado externo.

Materiales necesarios

- » Tablas de encofrado (su tamaño dependerá de las dimensiones del canal y deben tener un largo que facilite los trabajos).
- » Cemento.
- » Arena.
- » Ripio.
- » Agua.
- » Herramientas (serrucho, cuchara, balde, nivel, martillos, clavos, alambre)

Para computar el material necesario, primero calculamos el volumen del revestimiento.



Cálculo del volumen del revestimiento.

Calculamos la sección de las paredes:

- » **Sección a** = ancho * alto (en metros)
- » **Sección b** = ancho * alto (en metros)
- » **Sección c** = ancho * alto (en metros) (el espesor del piso muchas veces es menor al de las paredes)

Sumamos la sección de las paredes y el piso y obtenemos el total de la sección:

$$\text{SECCIÓN TOTAL: } a + b + c$$

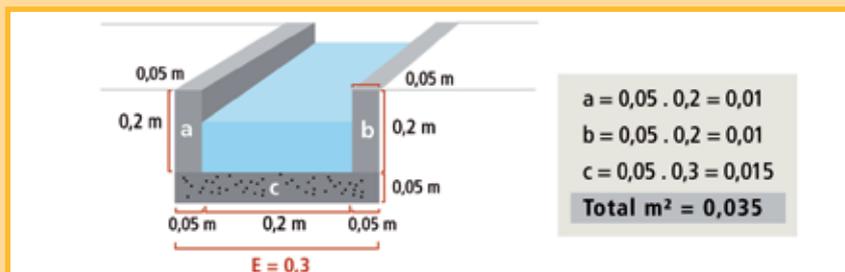
Multiplicamos por la longitud del canal y obtenemos el volumen total de hormigón necesario para revestir.



Indicamos algunos datos relevados en terreno que nos pueden ser de utilidad al momento de calcular los materiales:

- » 1m³ de ripio equivale a 200 baldes de albañil.
- » 1 bolsa de cemento equivale a 5 baldes de albañil.
- » Para preparar el hormigón se utilizaron 2 baldes de ripio + 2 baldes de arena + 1 balde de cemento + 1 balde de agua.
- » Para preparar 1 bolsa de cemento se utilizaron 10 baldes de arena + 10 baldes de ripio + 5 baldes de agua.
- » En un canal de 0,3m de ancho y 0,4m de alto, con paredes de 10 cm de espesor se utilizó 1 bolsa de cemento para 2 metros de canal (1 bolsa de cemento para 0,18m³ de hormigón). Para este ejemplo, en 8 horas se revistieron 4 metros de canal.

Necesitamos construir un canal de 0,2m de base de fondo y 0,2m de altura (tirante + resguardo). Queremos revestir con un espesor de 5cm y la longitud del canal es de 1500m. ¿Cuántos m³ de hormigón tenemos que preparar?



Cálculo del volumen del revestimiento

Total de revestimiento: $0,035\text{m}^2 \cdot 1500\text{m} = 52,5\text{m}^3$ de hormigón.

Recordemos que si para 1m³ de hormigón con una relación de materiales 1:2:3 necesitamos

- » **5 bolsas de cemento**
- » **0,4m³ de arena (5-6 carretillas hondas)**
- » **0,6m³ de ripio (8 carretillas hondas)**

Entonces, para 52,5m³ multiplicamos esas cantidades por 53:

- » **5 bolsas de cemento * 53 = 265 bolsas de cemento**
- » **0,4m³ de arena * 53 = 21,2 = 22m³ de arena**
- » **0,6m³ de ripio * 53 = 31,8m³ de ripio**

Para asegurarnos que no nos falte material, compramos 300 bolsas de cemento.

Otra manera aproximada de calcular el volumen de material, es multiplicando el perímetro interno del canal, por el espesor; y luego por la longitud del tramo.



Armado y humedecimiento del encofrado.



Ripiosa, material donde ya está mezclado el ripio con la arena.



Preparación del hormigón.



Volcado del hormigón.



Hacemos que el hormigón rellene bien mediante golpes o moviendo con una varilla.



Terminación de las paredes. Se observan las trabas que sostienen las tablas.



Continuamos con el encofrado y relleno de las paredes. Debemos mantener húmedo el tramo ya construido.



Realizamos el piso del canal. Tenemos que dejar espacio para las juntas.

B. REVESTIMIENTO DE PIEDRA CALZADA CON JUNTA DE CEMENTO O PIEDRA EMBOQUILLADA

Este tipo de canales se construyen con piedra, material muy común y abundante en la región andina. Una vez excavado el canal se realiza un “pircado” o colocación de piedras dispuestas de forma organizada, tanto en el fondo como en las paredes. Luego rellenamos las juntas con concreto (mezcla de cemento y arena). Según la disponibilidad en la zona, la piedra debe ser más bien mediana para facilitar su manejo.

Es conveniente que la mezcla (concreto) sea fuerte. Para eso utilizamos proporciones de 1 medida de cemento por 3 medidas de arena. De todos modos también se utilizan hasta 6 medidas de arena, pero lógicamente el concreto tendrá menos calidad y durabilidad.

Esta forma de revestimiento es la más utilizada en la región porque se reducen considerablemente los costos de cemento y además, los productores familiares de la zona tienen un excelente manejo de la piedra para la construcción, por lo que el trabajo con esta técnica se ve facilitado.

Cálculo de materiales

El cálculo depende del tipo de material. Según la piedra disponible en la zona, podemos utilizar piedra bola o piedra más plana (en forma de laja). El tamaño de la piedra debe ser adecuado a las dimensiones previstas del canal, fácil de transportar y maniobrar al momento de ubicarlas en la estructura del canal.

Este tipo de revestimiento da muchas alternativas de construcción:

» Canales donde se colocan piedras “paradas” (canal tipo rectangular) y se realiza un relleno de concreto en los huecos o intersticios entre piedras, sin una terminación acabada en la parte superior.



Canales rectangulares realizados con piedra y junta de cemento.

» Canales con una terminación final, emboquillando las juntas y la parte superior del mismo (coronamiento).



Para proteger al canal de las piedras que caen se construyó una tapa de hormigón. Comunidad San Antonio, Salta.



Terminación del coronamiento del canal.

» En canales trapezoidales el uso de piedra facilita la construcción, dado que la inclinación de sus taludes permite apoyar las piedras y luego rellenar con concreto.



En canales trapezoidales por sus taludes inclinados el uso de piedra facilita la construcción.



También se pueden realizar las paredes con piedra y el piso con una carpeta de hormigón.



En forma aproximada, podríamos decir que para 1m³ de piedra calzada con junta de cemento emboquillada necesitamos:

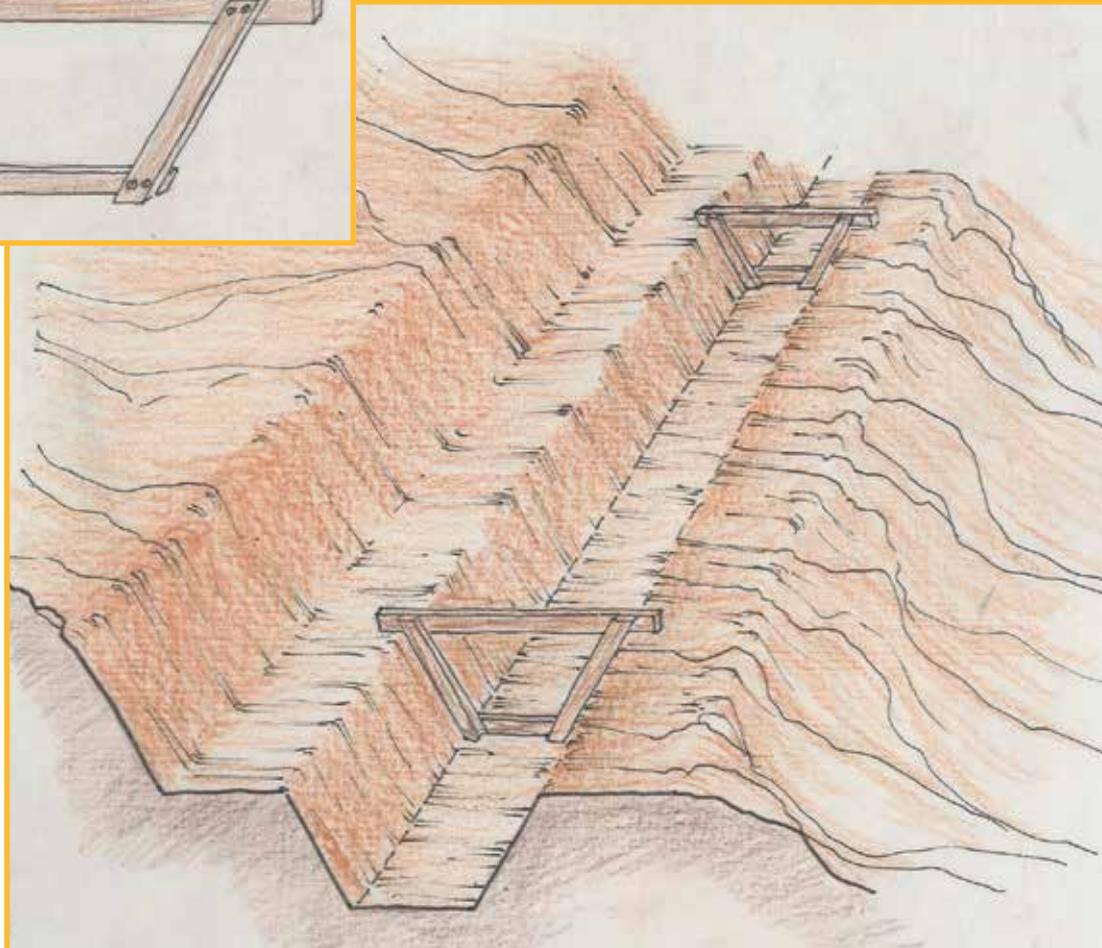
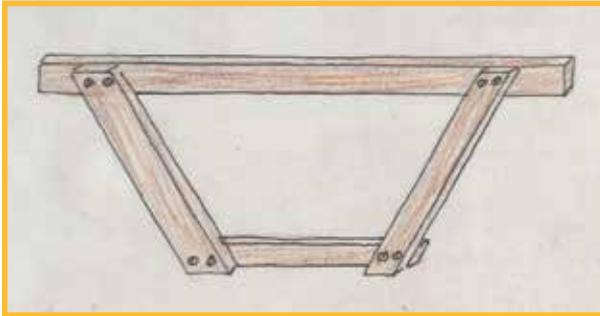
- » 1,2 a 1,5m³ de piedra (porque al momento de la construcción descartamos parte de la piedra).
- » 1,5 a 2 bolsas de cemento.
- » 0,3 a 0,5m³ de arena.

Un dato orientativo al momento de determinar el rendimiento del cemento en la construcción de canales con caudales de hasta 50 l/s, es que para construir entre 3 y 8 metros de canal necesitamos una bolsa de cemento (50kg).

De algunos relevamientos en terreno también podemos precisar que para construir un canal trapezoidal de 10 metros de longitud, 0,2m de base de fondo (b), 0,3m de tirante (y) y 0,4m de ancho de boca superior, con un espesor de pared aproximado de 15cm, se utilizaron las siguientes cantidades de materiales:

- » 1 m³ de piedra.
- » 2 bolsas de cemento.
- » 40 baldes de arena.
- » 3 jornales de un operario calificado.

Para revestir un canal trapezoidal de forma tal que respetemos las medidas finales, podemos utilizar marcos de madera u otro material, con la sección del canal a construir. Los colocamos en la excavación fijados mediante estacas y a distancias de entre 5 y 10 metros. Unimos los marcos mediante hilos guía del lado interno y colocamos las piedras por fuera de los hilos.



Colocación de marcos para control de la sección del canal.

Las ranuras que quedan al extraer los marcos las utilizaremos como juntas de dilatación para evitar fisuras.



Cuando hablamos de 1m^3 de piedra equivale a $1\text{m} \times 1\text{m}$ de base y 1m de altura.



Preparación del concreto o mortero.



Marcos para la construcción de canales trapezoidales.



Excavación.



Colocación de los marcos a nivel.





Calzado de las piedras con junta de cemento. Se observan los hilos que limitan la sección del canal, las piedras se colocan por fuera de los hilos.



Emboquillado de las piedras.



Construcción del piso. El hilo nos marca el nivel. En este caso el piso se hizo de hormigón simple, pero también se puede realizar con piedras.



Terminación del tramo de canal.

C. JUNTAS DE DILATACIÓN EN CANALES

En el material con que construimos el canal se pueden producir esfuerzos de tracción, así como contracciones y dilataciones a edades tempranas del material (como en el fraguado), que si bien pueden ser imperceptibles al principio, con el tiempo pueden generar fisuras y roturas y en consecuencia, pérdidas por infiltración.

Para mitigar estos daños colocamos juntas, que en este tipo de proyectos consisten en pequeñas aberturas de 1 a 3cm realizadas en todo el perímetro del canal, y que absorben o atenúan las alteraciones en el material.

En caso de revestir con el método de los marcos, podemos utilizar como juntas el espacio que queda al retirarlo. Cuando trabajamos con encofrado, debemos colocar un listón que al retirarlo deje un espacio que se utilizará como junta. Las juntas se colocan a una distancia variable, puede ser por ejemplo cada 5- 10 metros.

Para sellar e impermeabilizar el sitio de las juntas podemos utilizar brea en caliente (en forma líquida).

Para mejorar la adherencia de la brea, pintamos previamente las aberturas con pintura asfáltica. También podemos mezclar la brea con arena para aumentar su rendimiento (1 parte de brea con 2 a 3 de arena).



Roturas en el canal donde se produce infiltración y que con el tiempo pueden originar asentamientos y mayores roturas.



Juntas en canales.



Junta sellada con brea.

5.6 Obras complementarias para la conducción de agua por canales

Las obras complementarias son estructuras que permiten resolver el paso de la conducción a través de un accidente en el relieve (una quebrada, un desnivel). También son las estructuras de distribución de agua, como arquetas o partidores de distribución y compuertas.

A. OBRAS PARA SORTEAR UN DESNIVEL EN EL TERRENO

Es común que durante la traza de un canal, ocurran cambios de pendiente abruptos que provoquen el aumento de la velocidad del agua.

Para corregir esta situación podemos realizar dos tipos de estructuras:

- » Saltos
- » Rápidos

SALTOS

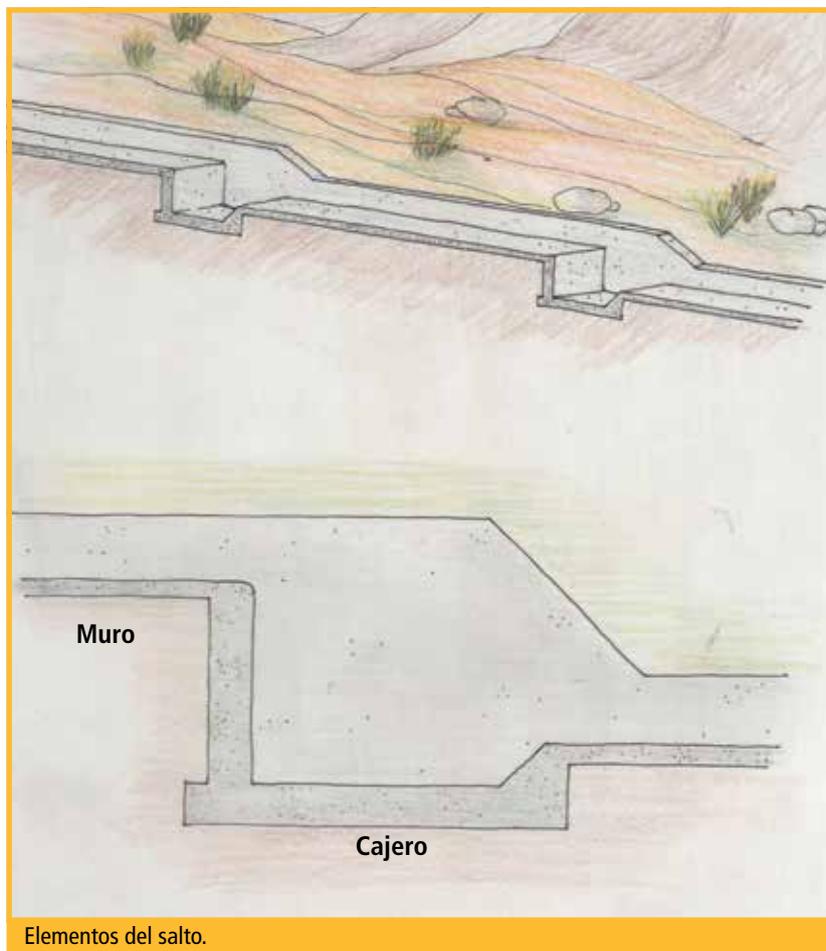
Se construyen en un desnivel o corte del terreno, realizando un escalón en el canal que pasará a un punto más bajo, retomando la pendiente proyectada.

De la misma forma, cuando la pendiente natural del terreno es muy marcada a lo largo de la traza del canal, debemos realizar pequeños escalones o saltos a fin de mantener la pendiente proyectada.



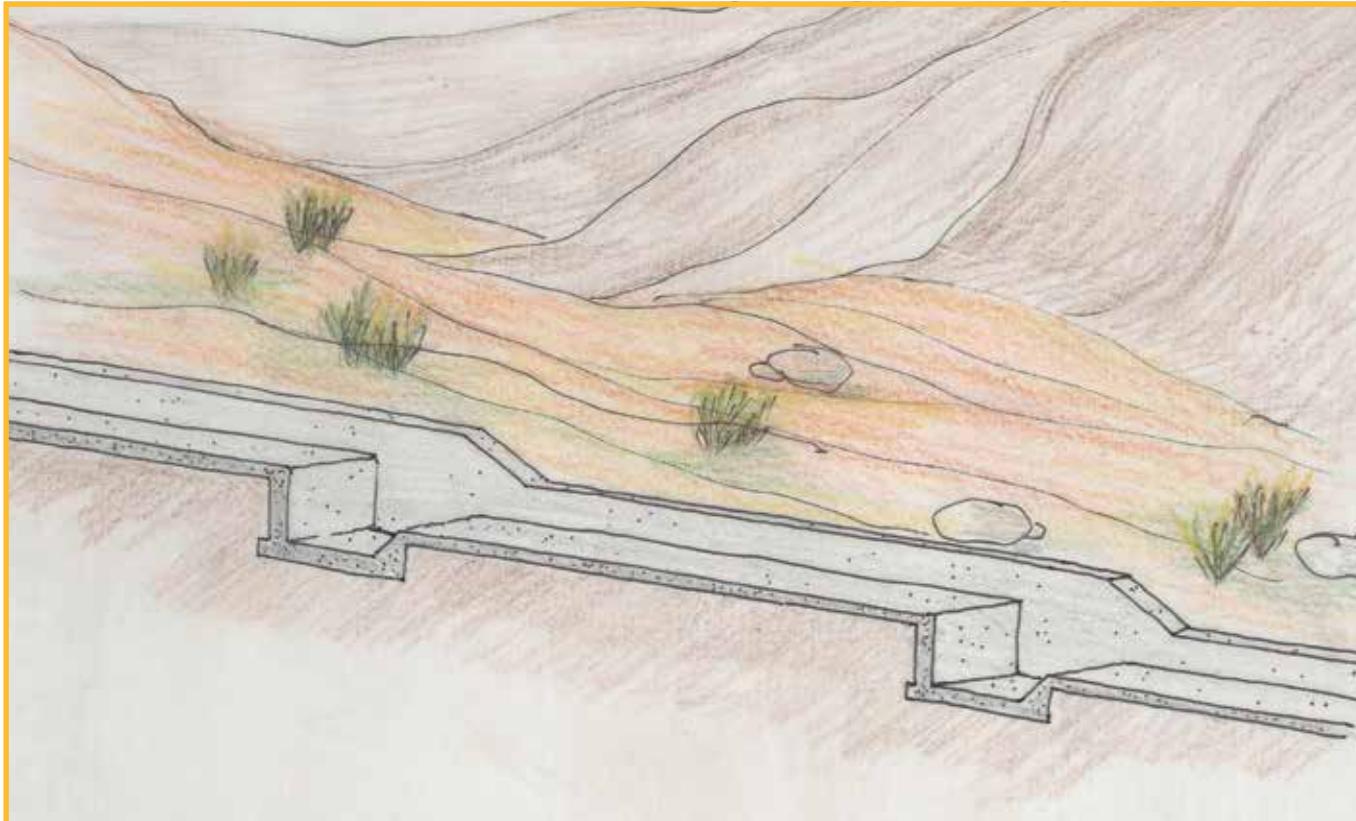
Mediante saltos podemos resolver cambios en la pendiente o mantener la pendiente de diseño.

La estructura consta del muro del salto, la cimentación tipo caja o cuenco amortiguador y las paredes laterales.



En general se construyen siguiendo el ancho del canal. La altura del muro o pared depende del desnivel que se quiera sortear hasta alcanzar la pendiente requerida. Precisan los mismos materiales del revestimiento y para su cálculo utilizamos las mismas proporciones.

Cuando nos encontremos con desniveles mayores es posible construir varios saltos escalonados.



Salto escalonado.

RÁPIDOS O RÁPIDAS

En aquellos lugares donde el cambio de pendiente es aún más acentuado, recurrimos a la construcción de un rápido (por ejemplo para sortear desniveles mayores a 4 ó 5 metros).

Su diseño es similar al de un canal. La diferencia radica en que cambia bruscamente la pendiente, aumentando la velocidad del agua, por lo tanto la sección será de menor tamaño.

Lo construimos con el mismo revestimiento del canal. En caso de canales de tierra o “acequias”, debemos revestir el tramo en cuestión con hormigón o piedra emboquillada para contrarrestar la erosión producida por las altas velocidades.

También podemos usar tuberías de un diámetro que asegure llevar el caudal de diseño. Para tal fin realizamos una boca o toma de entrada tipo caja, antes de ingresar a la tubería, para facilitar el ingreso del agua a la misma.

En la salida construimos por debajo del nivel de piso una caja o cámara que actúa como remanso, para aquietar el agua y que luego continúe por el canal con la velocidad calculada. Este remanso se puede construir profundizando el canal o bien dándole más altura a las paredes. El largo del canal en remanso para bajos caudales bastará con 2 a 3 metros de longitud.

Según algunos autores (Zurita Ruiz, 1996) el largo del remanso se puede calcular restando la altura del tirante del canal menos el tirante de la rápida, y multiplicando este resultado por 5.

$$L: (t_1 - t_2) * 5$$

L: largo de la cámara de amortiguación o remanso (m).

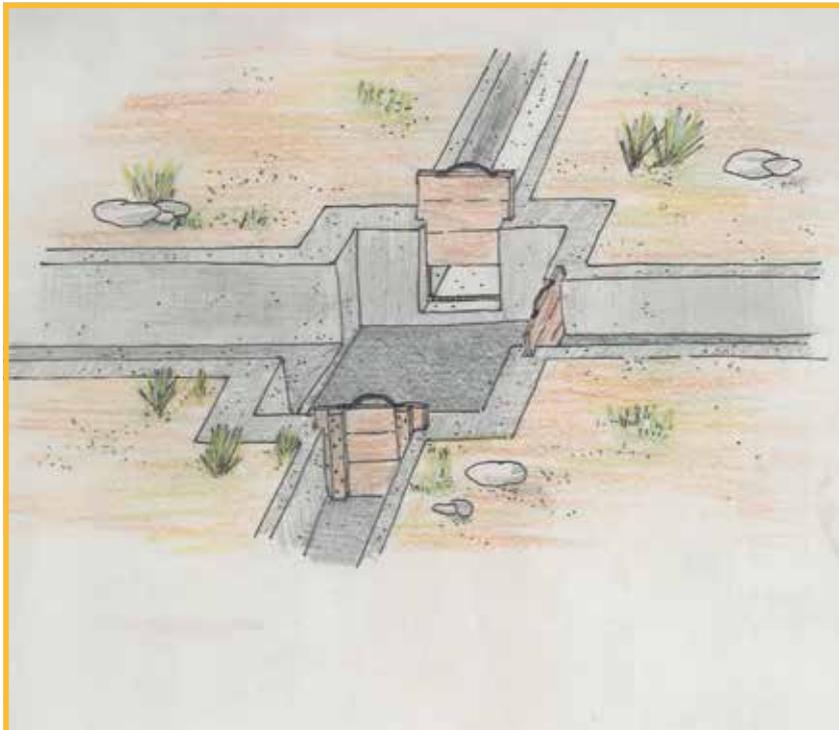
t₁: altura o tirante de agua en el canal (m).

t₂: altura o tirante de agua en la rápida (m).

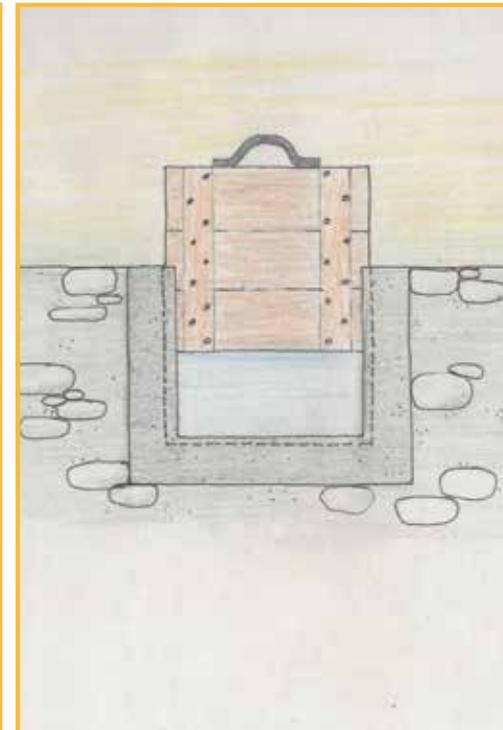
B. OBRAS PARA DERIVACIÓN DEL AGUA

Para la correcta distribución del agua en canales de derivación o en parcelas de cultivo utilizamos partidores o arquetas de distribución. En su diseño debemos calcular el tamaño de los nuevos canales de derivación o secundarios en que se partirá el canal principal.

Los partidores pueden construirse por medio de cajas distribuidoras de ladrillo, hormigón o piedra, con una salida para cada canal de derivación.

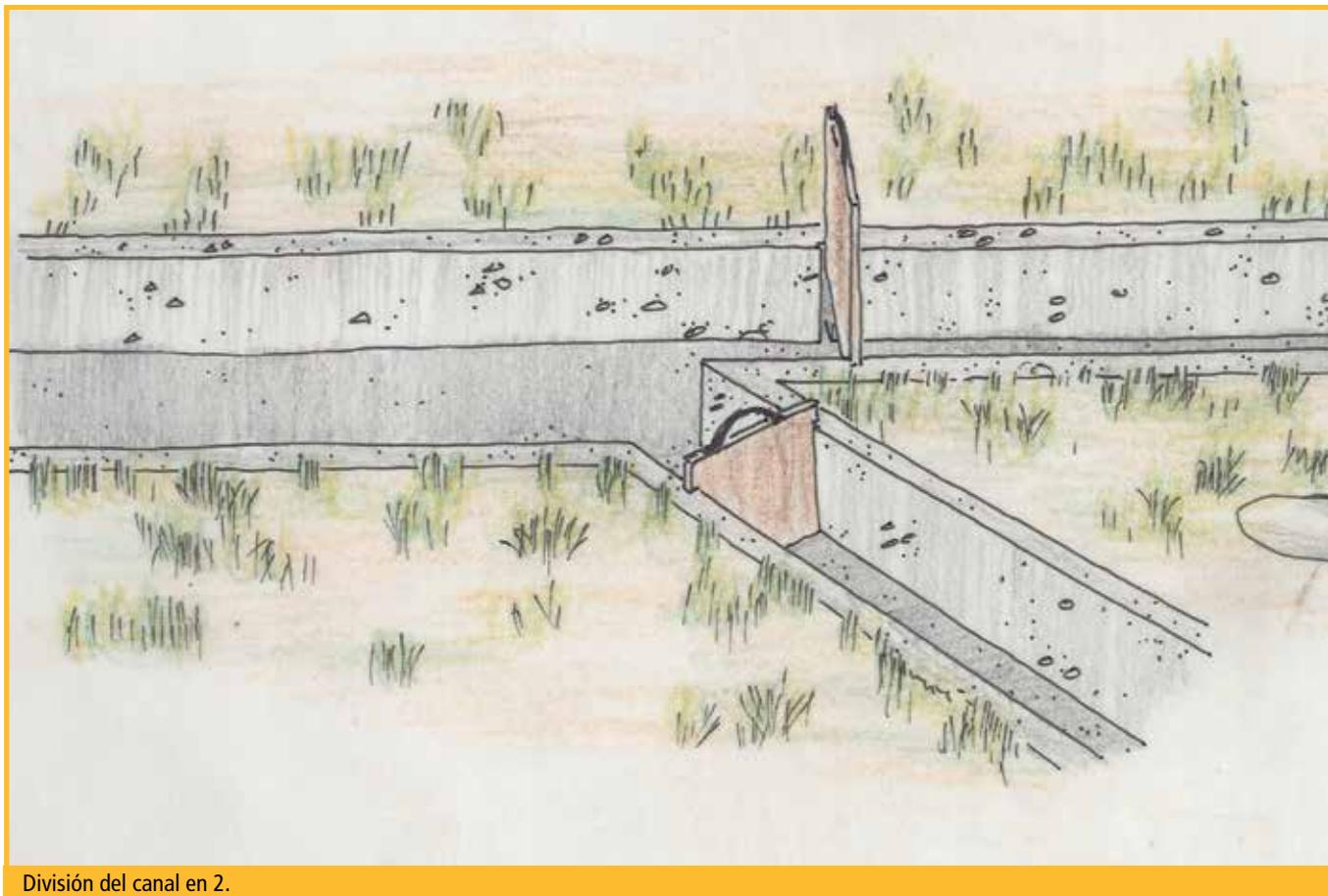


Arqueta de distribución o partidor.



Compuertas.

O también dividiendo el canal en dos.



División del canal en 2.

Los partidores están provistos de compuertas para regular el paso del agua y desviarla a otro canal.



Distintos tipos de compuertas.

Las compuertas tienen diversas formas, se construyen en hierro o madera, se deslizan en sentido vertical por ranuras o marcos hechos en el cajero del canal o caja de derivación. Van provistas de una manija para mejorar su manipulación y para fijarla en una posición, habitualmente tiene una varilla vertical con agujeros donde se traba con pernos en un marco, o también mediante una varilla roscada.



Partidor y compuertas.



Partidor y compuertas.



C. PUENTES

Tal como vimos en el capítulo 4.6, cuando debemos superar depresiones en el terreno o quebradas recurrimos a la construcción de pequeños puentes.

Si bien hay casos en que se utilizan estructuras de hormigón, viguetas y losetas, éstos requieren el dimensionamiento de los cimientos, lo que escapa al objetivo de este manual.

Además, para esos tipos de proyectos con caudales menores a 100 l/s, el paso de quebradas se resuelve mediante puentes colgantes utilizando tuberías de distintos diámetros según el caudal a conducir¹⁶, lo que facilita su diseño y construcción. Los procedimientos se explican en el apartado 4.6.2.



Cajero de entrada a un puente mediante tuberías.



Puente colgante en Andalgalá, Catamarca.

¹⁶ Por ejemplo, para construir un puente de 10 metros de luz que transporte 40 l/s de caudal, necesitamos una tubería de 300mm de diámetro. Si necesitamos llevar mayor caudal, optaremos por instalar 2 tuberías en forma paralela.



Puentes en canales.

D. SIFONES INVERTIDOS

Para sortear una depresión en el terreno, una pequeña quebrada o bien en el cruce de un camino, construimos sifones invertidos. Se realizan con tuberías, caños de hormigón, mampostería, en forma de “U”, atravesando el sitio con un nivel menor y retomando el canal una vez recuperada la cota o nivel original.

Tiene una boca de entrada, un ducto enterrado por donde pasa el agua y una boca de salida. Es importante que tanto la salida como entrada de agua estén al mismo nivel, para evitar rebalses.

A photograph of a rural landscape. In the foreground, a stone-lined irrigation channel flows through a field. A person wearing a blue hoodie and jeans stands on a dirt path to the right, holding a walking stick. A black dog is running in the middle ground. In the background, another person is visible, and the landscape is dotted with trees and shrubs. Distant mountains are visible under a clear sky. The word "Bibliografía" is overlaid in white, italicized text on the left side of the image.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- » AGÜERO PITTMAN, R. (1997). Agua Potable para Poblaciones Rurales. Lima, Perú: Asociación Servicios Educativos Rurales (SER)
- » BASTIAAN, T. VILLEGAS E. y GUAMÁN L. (2000). Atajados, su diseño y construcción. La Paz, Bolivia: Plural Editores.
- » Manual técnico de SUPERTUBO HDPE y SUPERJUNTA - PLASTIFORTE SRL. Bolivia, 2004.
- » MEDINA, J. (2011). Sistemas Estructurales: Cables. Venezuela: Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad de Los Andes, Julio.
- » Programa Memoria y Cómputos para el Diseño de Puentes Colgantes. Tarija: Colaboración del Ingeniero Civil Luis Franco, 2011.
- » SALDARRIAGA, J. (2009). Hidráulica de Tuberías. México: Alfaomega Grupo Editor.
- » SEGURA, J. (1993). Trazo y revestimiento de canales. Lima, Perú: ITDG.
- » VÁZQUEZ VILLANUEVA, A. (2000). Manejo de Cuencas Altoandinas. Tomo 1. Perú: Universidad Agraria La Molina.
- » VILLÓN BÉJAR, M. (2000). Hidráulica de Canales. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- » ZURITA RUIZ, J. (1996). Obras Hidráulicas. Barcelona, España: Editorial CEAC.



Anexos

ANEXO 1: PERÍODO DE DISEÑO: ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA A FUTURO DE LA POBLACIÓN, EJEMPLO DE CASO.

Para estimar el volumen diario requerido a futuro por una población, introducimos el concepto de **Periodo de Diseño** que puede definirse como “el tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por su capacidad en la conducción del caudal deseado o por la existencia física de las instalaciones” (Agüero Pitman, 1997). Existen diversos métodos para estimar la población a futuro, en nuestro caso tomaremos la de Crecimiento Aritmético.

La fórmula de crecimiento aritmético es

$$Pf = Pa (1 + r * t)$$

Dónde:

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

r = Coeficiente de crecimiento anual.

t = Tiempo en años.

Estimación de coeficiente de crecimiento anual (r)

$$r = \frac{Pa - Pi}{Pi * dt}$$

Dónde:

Pi = Población inicial.

Dt = años transcurridos entre Pa y Pi.

» Por ejemplo:

En una comunidad compuesta por 20 familias, que suman un total de 100 personas, a partir de datos censales se determinó que 10 años atrás la población era de 70 habitantes. El sistema se diseñó para un período de 25 años y a partir de datos de comunidades cercanas que ya cuentan con sistema de abastecimiento de agua para consumo, se determina un consumo diario por persona de 70 litros.

Primero estimamos el coeficiente de crecimiento anual:

$$r = \frac{Pa - Pi}{Pi * dt} = \frac{100 - 70}{70 * 10} = 0,043$$

Luego calculamos la población a futuro, en nuestro ejemplo a 25 años:

Pf: Pa (1 + r * t) = 100 (1 + 0,043 * 25) = 208 habitantes.

Demanda de agua a 25 años = 208 habitantes * 70 litros/día = 14.560 l/d

ANEXO 2: CAUDALES APROXIMADOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS, POR DIÁMETRO DE TUBERÍA, PARA DISTINTAS VELOCIDADES *

| Diámetro Nominal (exterior) de la tubería (mm) | Diámetro Nominal (exterior) de la tubería (pulgadas) | Caudal mínimo litros/segundo (Velocidad=0,6m/s) | Caudal medio litros/segundo (Velocidad=2m/s) | Caudal máximo Litros/segundo (Velocidad=3,5m/s) |
|--|--|---|--|---|
| 12 | ½ | 0,04 | 0,13 | 0,22 |
| 19 | ¾ | 0,12 | 0,40 | 0,70 |
| 25 | 1 | 0,23 | 0,76 | 1,33 |
| 38 | 1½ | 0,58 | 1,92 | 3,37 |
| 50 | 2 | 1,04 | 3,47 | 6,07 |
| 63 | 2½ | 1,70 | 5,65 | 9,90 |
| 75 | 3 | 2,44 | 8,14 | 14,25 |
| 90 | | 3,82 | 12,72 | 22,27 |
| 100 | | 4,25 | 14,18 | 24,81 |
| 110 | | 5,20 | 17,32 | 30,31 |
| 140 | | 8,46 | 28,21 | 49,36 |
| 160 | | 11,03 | 36,77 | 64,35 |
| 200 | | 17,37 | 57,91 | 101,34 |
| 250 | | 27,14 | 90,48 | 158,34 |

* Para el cálculo se utilizaron diámetros internos según espesor de tuberías K4 (PN 4)

ANEXO 3: EJEMPLOS DE FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

Una de las fórmulas más utilizadas para calcular las pérdidas de carga (H_f) es la de Hazen-Williams

$$h_f = \frac{10,67 * L + Q^{1,85}}{C^{1,85} + D^{4,87}}$$

Dónde:

H_f : pérdida de carga o energía (m)

L = Longitud de la tubería (m)

Q = Caudal (m^3/h)

C = Coeficiente de Hazen Williams (adimensional). En el caso de polietileno es = 140.

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

También presentamos la fórmula de Veronesse-Datei, apropiadas para tuberías de polietileno y PVC, materiales con los que se trabaja habitualmente.

$$h_f = 0.00092 * \frac{Q^{1,8}}{D^{4,8}} * L$$

Dónde:

H_f : pérdida de carga o energía (m)

Q: caudal (m^3/s)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

ANEXO 4: PÉRDIDAS DE CARGA POR METRO LINEAL EN TUBERÍAS

| Caudal | Diámetro de la tubería en milímetros (mm) y pulgadas (") | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 12mm | 19mm | 25mm | 40mm | 50mm | 63mm | 75mm | 90mm | 100mm | 110mm | 160mm | |
| l/s | m ³ /s | ½" | ¾" | 1" | 1 ½" | 2" | 2 ½" | 3" | | | | |
| 0,1 | 0,0001 | 0,096 | 0,011 | 0,003 | | | | | | | | |
| 0,25 | 0,00025 | 0,501 | 0,055 | 0,015 | 0,002 | 0,001 | | | | | | |
| 0,5 | 0,0005 | | 0,192 | 0,052 | 0,007 | 0,002 | 0,001 | | | | | |
| 0,75 | 0,00075 | | 0,399 | 0,107 | 0,015 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | | | | |
| 1 | 0,001 | | 0,670 | 0,179 | 0,026 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | | | | |
| 1,25 | 0,00125 | | | 0,268 | 0,038 | 0,010 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | | | |
| 1,5 | 0,0015 | | | 0,372 | 0,053 | 0,013 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | | | |
| 1,75 | 0,00175 | | | 0,491 | 0,070 | 0,018 | 0,006 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | | |
| 2 | 0,002 | | | 0,624 | 0,089 | 0,022 | 0,007 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| 2,25 | 0,00225 | | | 0,772 | 0,110 | 0,028 | 0,009 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | |
| 2,5 | 0,0025 | | | 0,933 | 0,133 | 0,033 | 0,011 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | |
| 2,75 | 0,00275 | | | | 0,158 | 0,040 | 0,013 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | |
| 3 | 0,003 | | | | 0,185 | 0,047 | 0,015 | 0,007 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | |
| 3,25 | 0,00325 | | | | 0,214 | 0,054 | 0,018 | 0,008 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | |
| 3,5 | 0,0035 | | | | 0,244 | 0,061 | 0,020 | 0,009 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | |
| 3,75 | 0,00375 | | | | 0,276 | 0,070 | 0,023 | 0,010 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | |
| 4 | 0,004 | | | | 0,311 | 0,078 | 0,026 | 0,011 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | |
| 4,25 | 0,00425 | | | | 0,346 | 0,087 | 0,029 | 0,012 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | |
| 4,5 | 0,0045 | | | | 0,384 | 0,096 | 0,032 | 0,014 | 0,006 | 0,003 | 0,002 | |
| 4,75 | 0,00475 | | | | 0,423 | 0,106 | 0,035 | 0,015 | 0,006 | 0,004 | 0,002 | |
| 5 | 0,005 | | | | 0,464 | 0,117 | 0,038 | 0,017 | 0,007 | 0,004 | 0,003 | |
| 5,25 | 0,00525 | | | | 0,507 | 0,127 | 0,042 | 0,018 | 0,008 | 0,005 | 0,003 | |
| 5,5 | 0,0055 | | | | 0,551 | 0,138 | 0,046 | 0,020 | 0,008 | 0,005 | 0,003 | 0,001 |
| 5,75 | 0,00575 | | | | 0,597 | 0,150 | 0,049 | 0,021 | 0,009 | 0,005 | 0,003 | 0,001 |
| 6 | 0,006 | | | | 0,644 | 0,162 | 0,053 | 0,023 | 0,010 | 0,006 | 0,004 | 0,001 |
| 6,25 | 0,00625 | | | | 0,693 | 0,174 | 0,057 | 0,025 | 0,010 | 0,006 | 0,004 | 0,001 |
| 6,5 | 0,0065 | | | | 0,744 | 0,187 | 0,062 | 0,027 | 0,011 | 0,007 | 0,004 | 0,001 |
| 6,75 | 0,00675 | | | | 0,796 | 0,200 | 0,066 | 0,029 | 0,012 | 0,007 | 0,005 | 0,001 |
| 7 | 0,007 | | | | 0,850 | 0,214 | 0,070 | 0,031 | 0,013 | 0,008 | 0,005 | 0,001 |

ANEXO 5: LONGITUDES EQUIVALENTES. VALORES DE PÉRDIDA DE CARGA (EN METROS) SEGÚN LOS ACCESORIOS DEL SISTEMA POR TUBERÍAS*.

| Clase de resistencia aislada | Diámetro de las tuberías | 1/2" 12mm | 3/4" 18mm | 1" 25mm | 1 ¼" 31mm | 1 ½" 38mm | 2" 50mm | 2 ½" 63mm | 3" 75mm | 4" 100mm | 5" 125mm |
|---|------------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|-------------|
|  | Conexión de unión | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,15 | 0,20 |
|  | Cono de reducción | 0,30 | 0,50 | 0,65 | 0,85 | 1,00 | 1,30 | 2,00 | 2,30 | 3,00 | 4,00 |
|  | Codo de 90° | 0,50 | 0,63 | 0,76 | 1,01 | 1,32 | 1,71 | 1,94 | 2,01 | 2,21 | 2,94 |
|  | "Te" derivación en ramal | 2,50 | 3,00 | 3,60 | 4,10 | 4,60 | 5,00 | 5,50 | 6,20 | 6,90 | 7,70 |
|  | Válvula de compuerta abierta | 0,18 | 0,21 | 0,26 | 0,36 | 0,44 | 0,55 | 0,69 | 0,81 | 1,09 | 1,44 |
| | Válvula de globo | 4,95 | 6,25 | 8,25 | 10,8 | 13,0 | 17,0 | 21,0 | 25,0 | 33,0 | 39,0 |

*Adaptado de afta, cap. 5- pérdidas de carga

ANEXO 6: CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERÍA A PARTIR DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

| Paso 1 | Paso 2 | Paso 3 | Paso 4 | Paso 5 |
|---|---|---|---|--|
| Con el dato de caudal y la tabla de velocidades admisibles ubicamos un diámetro aproximado. | Con el dato de caudal y diámetro aproximado, se ingresa a la tabla de pérdidas de carga para identificar la pérdida de carga por cada metro de tubería. | El valor de la pérdida de carga por metro se la multiplica por la longitud total de la tubería a utilizar para obtener las pérdidas totales en metros de columna de agua. | A la pérdida de carga calculada en la tubería se le debe sumar la pérdida de carga generada por los accesorios. También es posible calcularlas elevando entre un 5 a 15% el valor de las pérdidas calculadas para la tubería. | Finalmente es necesario comparar las pérdidas de carga totales de la conducción con el desnivel del terreno. Si el valor del desnivel es mayor al calculado para las pérdidas de carga, entonces el diámetro elegido es el correcto. |

Ejemplo de cálculo:

Determinar el diámetro de la tubería para conducir un caudal de 1 l/s desde la captación (punto A) hasta el almacenamiento (punto B), ubicado por debajo de la conducción. La distancia de la traza es de 700m y el desnivel de 35m. El sistema se regula con una válvula de compuerta colocada inmediatamente antes del almacenamiento.

PASO 1. En la tabla de velocidades admisibles para un caudal medio, ubicamos nuestro caudal de diseño y seleccionamos el diámetro de tubería.

| Caudal medio - Litros/segundo | Diámetro de la tubería (mm) | Diámetro de la tubería (") |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 0,13 | 12 | 1/2 |
| 0,40 | 19 | 3/4 |
| 0,76 | 25 | 1 |
| 1,92 | 38 | 1 1/2 |
| 3,47 | 50 | 2 |
| 5,65 | 63 | 2 1/2 |
| 8,14 | 75 | 3 |

Como se aprecia el caudal podría ser conducido a partir de una tubería de 1" (25,4mm) ó 1 1/2" (38mm). Esto será considerado como una primera aproximación a partir de la cual calcularemos las pérdidas de carga.

PASO 2. Luego calculamos las pérdidas de carga por metro. Podemos obtener la información a partir de la siguiente tabla. El valor de referencia siempre es el caudal a transportar y el mayor diámetro de tubería que calculamos (1 1/2" ó 38mm). En el cruce de las filas y columnas obtenemos las pérdidas de carga por metro.

| Caudal | | Diámetro de tubería | | | | |
|--------|-------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| l/s | m ³ /s | 12mm | 19mm | 25mm | 38mm | 50mm |
| | | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 1/2" | 2" |
| 0,1 | 0,0001 | 0,0963 | 0,0106 | 0,0028 | 0,0004 | 0,0001 |
| 0,25 | 0,00025 | 0,5012 | 0,0552 | 0,0148 | 0,0021 | 0,0005 |
| 0,5 | 0,0005 | 1,7453 | 0,1923 | 0,0515 | 0,0074 | 0,0018 |
| 0,75 | 0,00075 | 3,6210 | 0,3989 | 0,1069 | 0,0153 | 0,0038 |
| 1 | 0,001 | 6,0774 | 0,6695 | 0,1793 | 0,0256 | 0,0064 |
| 1,25 | 0,00125 | 9,0815 | 1,0005 | 0,2680 | 0,0383 | 0,0096 |
| 1,5 | 0,0015 | 12,6090 | 1,3891 | 0,3721 | 0,0531 | 0,0134 |

De esta manera, para 1 l/s y un diámetro de 1 ½" las pérdidas de carga serán de 0,0256 metros por cada metro lineal de tubería.

PASO 3. Estamos en condiciones de calcular las pérdidas de carga de la tubería. Siguiendo con nuestro ejemplo debemos multiplicar la pérdida de carga por metro por la longitud de la tubería (700m).

Pérdidas de carga totales en tubería:

$$0,0256 \text{ m/m} * 700\text{m} = 17,92\text{m de pérdida de carga}$$

PASO 4. Calculamos de pérdida de carga generada por los accesorios. En este punto recurrimos a la tabla de longitudes equivalentes (Anexo 5) para identificar la pérdida de carga de la válvula y las 7 conexiones (7 rollos de 100 metros).

Pérdida de carga de la válvula de 1½" = 0,44m (ver tabla Anexo V).

Pérdida de carga de 7 conexiones: $0,05 * 7 = 0,35\text{m}$ (ver tabla Anexo V).

Pérdida de carga por accesorios: $0,44\text{m} + 0,35\text{m} = 0,79$

También podemos calcular las pérdidas de carga por accesorios aumentando en un 5 % el valor de las pérdidas de carga de la tubería, que sería 0,89 metros.

PASO 5. Sumamos todas las pérdidas de carga de la tubería y la de los accesorios para obtener la pérdida total de carga (Hf).

$$H_f = 17,92\text{m} + 0,79\text{m} = 18,71\text{m de columna de agua}$$

En el caso que calculemos las pérdidas de carga por accesorios a partir de un porcentaje de las producidas en la tubería, podemos sumar un 5%:

$$H_f = 17,92\text{m} + 0,89\text{m} \text{ (0,89 es el 5 \% de 17,92)} = 18,81\text{m de columna de agua}$$

PASO 6. Comparamos las pérdidas de carga calculadas para la conducción con el desnivel existente del terreno.
Pérdida de carga calculada en la conducción: 18,7m
Desnivel existente entre la captación y el almacenamiento: 35m

Conclusión: los 18,7m de pérdidas de carga calculadas son menores que los 35m de desnivel, por lo tanto la tubería de 1½" podrá transportar en forma segura el caudal de diseño.

Si las pérdidas de carga fueran mayores al desnivel, seleccionamos el diámetro inmediatamente superior disponible y realizamos nuevamente los cálculos.

Por último podemos determinar la disponibilidad de energía remanente o residual al final de la conducción. De acuerdo a lo descripto, considerando las pérdidas de carga con tubería de 1½" a la salida de la conducción, existirá un remanente de energía residual resultante de la diferencia entre el desnivel del terreno y las pérdidas totales de carga.

$$\text{Para 1 } \frac{1}{2}\text{": } 35\text{m} - 18,7\text{m} = 16,3\text{m}$$

En definitiva los 16,3m calculados corresponden a los metros de columna de agua (m.c.a) a la salida de la tubería. Estos m.c.a. es suficiente para que el agua suba a la altura de un tanque cisterna.

» Metodología 2

| Paso 1 | Paso 2 | Paso 3 | Paso 4 | Paso 5 |
|--|--|---|---|---|
| Dividir el desnivel o "carga de altura" por la longitud de la conducción. Ambos valores deben estar expresados en metros. Se obtiene el desnivel unitario por cada metro de la conducción. | A partir del dato de caudal (izquierda) se ingresa a la tabla de pérdidas de carga. De forma simultánea se compara el desnivel unitario en relación a las pérdidas de carga unitarias de cada diámetro de tubería, hasta encontrar un valor menor al desnivel unitario. A partir de la tabla es posible obtener el diámetro apropiado. | Al valor de la pérdida de carga unitario obtenido en el paso 2, es necesario multiplicarlo por la longitud total de la tubería, a fin de obtener las pérdidas totales en metros de columna de agua. | A la pérdida de carga en la tubería se le debe sumar la pérdida de carga generada por los accesorios. También es posible calcularla aumentando en un 5 a un 15 % el valor de las pérdidas producidas en la tubería. | Finalmente se comparan las pérdidas de carga totales de la conducción con el desnivel existente en el terreno. Si el desnivel es mayor significara que el diámetro seleccionado conducirá el caudal requerido. Si las pérdidas de carga son mayores se elegirá el diámetro inmediatamente superior. |

Ejemplo de cálculo:

Calcular el diámetro de la tubería para conducir determinado caudal desde la cámara de carga de la captación (punto A) hasta el almacenamiento (punto B) ubicado por debajo de la conducción. El caudal a trasladar es de 1 l/s, la distancia que deberá recorrer el agua es de 700m y el desnivel calculado es de 35m entre ambos puntos. El sistema se regula con una válvula de compuerta colocada inmediatamente antes del almacenamiento.

PASO 1. Dividimos el desnivel por la distancia.

$$35\text{m}/700\text{m} = 0,05 \text{ m/m (0,05m de desnivel por cada metro de distancia)}$$

PASO 2. Entramos en la tabla con el caudal de 1 l/s y vamos comparando sucesivamente los valores de pérdida de carga (Hf) unitarios con el desnivel (Dh) unitario, en este caso 0,05 m/m, hasta que llegamos a un valor menor al Dh unitario.

| Caudal | | Diámetro de tubería | | | | |
|--------|-------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| l/s | m ³ /s | 12mm | 19mm | 25mm | 38mm | 50mm |
| | | ½" | ¾" | 1" | 1 ½" | 2" |
| 0,1 | 0,0001 | 0,0963 | 0,0106 | 0,0028 | 0,0004 | 0,0001 |
| 0,25 | 0,00025 | 0,5012 | 0,0552 | 0,0148 | 0,0021 | 0,0005 |
| 0,5 | 0,0005 | 1,7453 | 0,1923 | 0,0515 | 0,0074 | 0,0018 |
| 0,75 | 0,00075 | 3,6210 | 0,3989 | 0,1069 | 0,0153 | 0,0038 |
| 1 | 0,001 | 6,0774 | 0,6695 | 0,1793 | 0,0256 | 0,0064 |
| 1,25 | 0,00125 | 9,0815 | 1,0005 | 0,2680 | 0,0383 | 0,0096 |
| 1,5 | 0,0015 | 12,6090 | 1,3891 | 0,3721 | 0,0531 | 0,0134 |

Así, al observar la tabla encontramos que:

- » Para un diámetro de 19mm corresponde 0,669 m/m > 0,05 m/m (es mayor a nuestro desnivel unitario)
- » Para un diámetro de 25mm corresponde 0,179 m/m > 0,05 m/m (es mayor a nuestro desnivel unitario)
- » Para un diámetro de 38mm corresponde 0,0256 m/m < 0,05 m/m (es menor a nuestro desnivel unitario)

Entonces, si comparamos las pérdidas de carga por metro y para un caudal de 1 litro/segundo, el primer valor menor a 0,05 m/m es 0,0256 m/m, que corresponde a un diámetro de tubería de 38mm o 1½".

PASO 3. Para calcular las pérdidas de carga totales (H_f) multiplicamos por la longitud del sistema, es decir por 700m.

$$H_f = 0,0256 \text{ m/m} * 700\text{m} = 17,92\text{m de pérdida de carga.}$$

A este valor le sumamos un 10% por perdidas de carga por accesorios

$$17,92\text{m} + 1,79 = 19,71\text{m}$$

Este valor es menor al desnivel total, por lo tanto el diámetro de tubería de 38mm podrá llevar nuestro caudal de diseño. Si las pérdidas de carga fueran mayores al desnivel, seleccionamos el diámetro inmediatamente superior disponible y se vuelven a realizar los cálculos; en este ejemplo se probaría con 2”.

Como explicamos, esta metodología si bien es sencilla, en algunos casos al seleccionar el diámetro podemos sobredimensionarlo y la conducción trabajaría parcialmente llena (flujo libre).

Además desconoceremos el valor de las pérdidas de carga y no será posible calcular los m.c.a. a la salida.

ANEXO 7: CÁLCULO DEL DIÁMETRO EN LA TUBERÍAS CON EL USO DE TABLAS

Como explicamos, esta metodología si bien es sencilla, en algunos casos al seleccionar el diámetro podemos sobredimensionarlo y la conducción trabajaría parcialmente llena (flujo libre).

Además desconoceremos el valor de las pérdidas de carga y no será posible calcular los m.c.a. a la salida.

En la tabla, se ingresa a partir del caudal de diseño en litros/segundo, y se selecciona el rango de desnivel y distancias de nuestro proyecto. Para mayor seguridad, se selecciona dentro del rango donde se encuentran nuestros datos, el valor inmediato superior.

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 0,25 l/s | 10 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | 20 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 |
| | 40 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 60 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 |
| | 80 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 |
| | 100 | 12 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 |
| | 120 | 12 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 |
| | 150 | 12 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 180 | 12 | 12 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 |
| | 200 | 12 | 12 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 |
| 0,5 l/s | 10 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 |
| | 20 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 40 | 19 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 |
| | 60 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 |
| | 80 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 100 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 120 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 150 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 180 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 |
| | 200 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 |

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 0,75 l/s | 10 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 |
| | 20 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
| | 40 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 60 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 |
| | 80 | 19 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 |
| | 100 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 |
| | 120 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 |
| | 150 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 180 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| | 200 | 19 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 1 l/s | 10 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 20 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |
| | 40 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| | 60 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 80 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 |
| | 100 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 |
| | 120 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 |
| | 150 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 |
| | 180 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 |
| | 200 | 19 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 |

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 1,5 l/s | 10 | 38 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 |
| | 20 | 38 | 38 | 40 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 40 | 25 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |
| | 60 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
| | 80 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| | 100 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 120 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 150 | 19 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | 180 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 |
| | 200 | 19 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 |
| 2 l/s | 10 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 110 |
| | 20 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 40 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 60 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |
| | 80 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
| | 100 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
| | 120 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| | 150 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| | 180 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |
| | 200 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 |

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 2,5 l/s | 10 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 | 160 |
| | 20 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| | 40 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 60 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 |
| | 80 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| | 100 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |
| | 120 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
| | 150 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
| | 180 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| | 200 | 25 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| 3 l/s | 10 | 50 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 |
| | 20 | 38 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 |
| | 40 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 60 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 80 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 |
| | 100 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 |
| | 120 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |
| | 150 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 |
| | 180 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
| | 200 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 3,5 l/s | 10 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 | 160 | 160 | 160 |
| | 20 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 110 |
| | 40 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| | 60 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 80 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 100 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 |
| | 120 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 |
| | 150 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 |
| | 180 | 25 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |
| | 200 | 25 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 |
| 4 l/s | 10 | 63 | 63 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 110 | 160 | 160 | 160 |
| | 20 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 |
| | 40 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| | 60 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 80 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 100 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 120 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 |
| | 150 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 |
| | 180 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 |
| | 200 | 38 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 |

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 5 l/s | 10 | 63 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | 20 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 | 160 |
| | 40 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 |
| | 60 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| | 80 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 |
| | 100 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 120 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 150 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 |
| | 180 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 |
| | 200 | 38 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 |
| 7 l/s | 10 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 | 200 | 200 |
| | 20 | 63 | 62 | 72 | 78 | 83 | 87 | 95 | 100 | 109 | 122 | 130 | 141 |
| | 40 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 110 | 160 |
| | 60 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 |
| | 80 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 |
| | 100 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| | 120 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| | 150 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 |
| | 180 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |
| | 200 | 38 | 38 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 |

| Caudal en litros por segundo | Desnivel en metros | Longitud de la conducción en metros | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| 10 l/s | 10 | 90 | 90 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 200 | 200 | 250 |
| | 20 | 63 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 | 200 |
| | 40 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 | 160 | 160 | 160 |
| | 60 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 | 160 |
| | 80 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 |
| | 100 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 |
| | 120 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 |
| | 150 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 |
| | 180 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 |
| | 200 | 38 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 |
| 15 l/s | 10 | 90 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 |
| | 20 | 75 | 90 | 100 | 110 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 | 200 | 200 | 200 |
| | 40 | 63 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | 60 | 63 | 63 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | 80 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 100 | 110 | 160 | 160 | 160 |
| | 100 | 50 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 100 | 160 | 160 | 160 |
| | 120 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 | 160 |
| | 150 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 110 | 160 |
| | 180 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 90 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 |
| | 200 | 50 | 50 | 63 | 63 | 75 | 75 | 75 | 90 | 90 | 100 | 110 | 160 |

ANEXO 8: CÁLCULO DE Z EN TALUDES

En un canal trapezoidal cuya base de fondo (b) mide 0,2m y la altura de agua o tirante es de 0,2m.
Si se construye un talud de 0,5 ($z = 0,5$), significa que

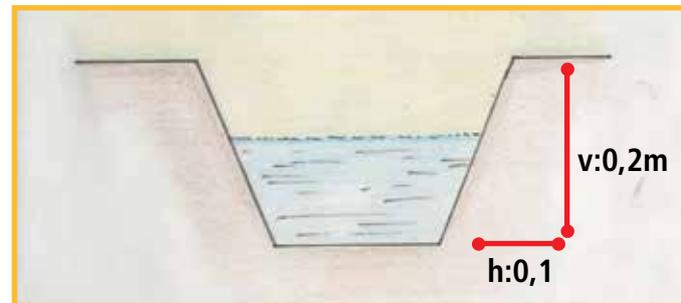
$$\text{Talud } (z) = \frac{\text{horizontal}}{\text{vertical}} = 0,5$$

Se conoce que v (vertical) es la altura del tirante ($t = 0,2\text{m}$)
Hay que encontrar el valor de la horizontal (h)

$$h = z * v$$

$$h = 0,5 * 0,2 = 0,1\text{m}$$

Esto implica que el valor de la horizontal es de 0,1m (10cm)



Si z fuera 1; $z = 1$, entonces $h = 1 \times 0,2 = 0,2\text{m}$

ANEXO 9: CÁLCULO MANUAL DE LA SECCIÓN EN UN CANAL RECTANGULAR

Considerando el ejemplo descrito en el apartado “Caudal de diseño”, necesitamos diseñar un canal que transporte un caudal de 30 l/s, en una distancia de 4 km y con una pendiente del 1%, que es equivalente a 10cm cada 10 metros (0,1m) o 1cm por metro (0,01 m).

Afectamos el caudal de diseño por una eficiencia en la conducción del 80%, suponiendo que el 20% se podría perder en cambios de turnado, aperturas y pérdidas en compuertas, evaporación, entre otras causas.

Dividimos el caudal de diseño por 0,8 (80%) y determinamos que el caudal a conducir es:

$$30/0,8: 37,5 \text{ l/s}$$

Por lo tanto diseñaremos el sistema para un caudal de 38 l/s.

$$38 \text{ l/s} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$$

PASO 1. Según el tipo de revestimiento del canal, elegimos una velocidad dentro de los límites máximos

| Material del canal | Velocidad límite máximas |
|---|--------------------------|
| Tierra franca | 0,6 m/s |
| Tierra arcillosa | 0,9 m/s |
| Revestimiento de piedra y mezcla simple | 1 m/s |
| Revestimiento de mampostería con concreto | 2 m/s |
| Revestimiento de hormigón | 3 a 5 m/s |

Como el canal será revestido con hormigón, la velocidad máxima admisible es 3 m/s. Ensayamos con una velocidad de 1 m/s (Tratamos de diseñar con velocidades bajas de entre 0,9 a 1,5 m/s).

PASO 2. Con la velocidad definida y el caudal de diseño obtenemos una aproximación a la sección del canal.

$$\text{Caudal (Q) = Sección (S) * velocidad (V)}$$

entonces $S = \frac{Q}{V}$ Sección = $\frac{0,038 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,038 \text{ m}^2$

PASO 3. Definimos una base de fondo (b) y una altura de agua o tirante (y)

Si el canal es rectangular, la sección es igual a:

$$S = b * y$$

Probamos con una base (b) de fondo de 0,3m, calculamos y despejando:

$$y = \frac{S}{b} = \frac{0,038 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} = 0,126 \text{ m} = 0,13 \text{ m}$$

Quedará un canal rectangular de 0,3m de base de fondo y 0,13m de tirante (13cm)

PASO 4. Con la fórmula de velocidad propuesta por Manning obtenemos la velocidad del agua para esa base de fondo y ese tirante.

$$V: 1/n * i^{1/2} * R^{2/3}$$

Para obtener ese dato necesitamos averiguar el valor del radio hidráulico (R) y buscar por tabla el valor de n, así es posible desarrollar los siguientes pasos:

4.1. Calculamos el radio hidráulico (R)

$$R = \frac{b * y}{b + 2 * y} \qquad R = \frac{0,3 * 0,13}{0,3 + 2 * 0,13} = 0,0696$$

4.2. Seleccionamos un coeficiente de rugosidad n (depende de las paredes del canal y se obtiene por tablas)

Tomamos n = 0,015 (revestimiento de hormigón)

Con los datos obtenidos calculamos la velocidad del agua en el canal

$$V: 1/0,015 * 0,01^{1/2} * 0,07^{2/3} = 1,128 \text{ m/s}$$

Redondeamos a 1,13 m/s

PASO 5. Para probar si lleva el caudal, volvemos a calcular la ecuación de continuidad.

$$\begin{aligned} Q &= S * V \\ Q &= (b * y) * V \\ Q &= (0,3\text{m} * 0,13\text{m}) * 1,13 \text{ m/s} = 0,043 \text{ m}^3/\text{s} = 43 \text{ l/s} \end{aligned}$$

El resultado indica que conduciríamos un caudal mayor al de diseño = 43 l/s

Deberíamos disminuir la base o el tirante, buscando no sobredimensionar el diseño del canal. De todos modos podemos considerar un margen de seguridad y dejar el tamaño calculado.

Le damos un resguardo (r) de 1/3 del tirante

$$\begin{aligned} R &= 0,13\text{m} / 3 = 0,04\text{m} = 4\text{cm} \\ \text{La altura total del canal será: } &0,13\text{m} + 0,04\text{m} = 0,17\text{m} \sim 0,2\text{m} \end{aligned}$$

ANEXO 10: CÁLCULO MANUAL DE LA SECCIÓN EN CANAL TROPEZOIDAL

Como el canal de nuestro proyecto será revestido con piedras y junta de concreto (cemento y arena), la velocidad máxima admisible puede alcanzar hasta 2 m/s. Esto implica que podríamos empezar nuestros cálculos con una velocidad de 1 m/s.

» Utilizamos la ecuación de continuidad

$$\text{Caudal (Q)} = \text{Sección (S)} * \text{velocidad (V)}$$

$$\text{entonces } S = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Sección} = \frac{0,038 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,038 \text{ m}^2$$

» Completamos el cálculo probando con una base (b) de 0,3m, un tirante (y) de $b/3=0,1\text{m}$, entonces $y=10\text{cm}$. Definimos una relación de talud $z=1$ (ver apartado elementos de un canal)

» Considerados estos datos, calculamos la sección hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico:

$$\text{Sección hidráulica (S)} = (b + z*y) * y$$

$$S = (0,3\text{m} + 1 * 0,1\text{m}) * 0,1\text{m}$$

$$S = 0,04\text{m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado (PM)} = b + 2*y*\sqrt{1 + z^2}$$

$$\text{PM} = 0,3\text{m} + 2 * 0,1 * \sqrt{1 + 1^2}$$

$$\text{PM} = 0,6\text{m}$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = \frac{S}{\text{PM}} = \frac{(b+zy) * y}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \quad R = \frac{0,04\text{m}^2}{0,3\text{m} + 2 * 0,1\text{m} * \sqrt{1+1^2}} = 0,0686$$

- » Aplicamos $n = 0,017$ (mampostería de piedra)

$$V: 1/n * i^{1/2} * R^{2/3}$$
$$V = 1/0,017 * 0,01^{1/2} * 0,0686^{2/3}$$
$$V = 0,9857$$

- » Evaluamos la posibilidad de conducir el caudal con la sección y velocidad obtenidas

$$Q = 0,04\text{m}^2 * 0,9857 \text{ m/s} = 0,039 \text{ m}^3/\text{s} = 39 \text{ l/s}$$

Concluimos que llevará el caudal de diseño.

- » También es importante calcular el espejo de agua y resguardo

$$\text{Espejo de agua} = b + 2 * z * y$$
$$0,3\text{m} + 2 * 1 * 0,1\text{m}$$
$$\text{Espejo de agua} = 0,5\text{m}$$

$$\text{Resguardo (r)} = 0,1\text{m} / 3 = 0,03\text{m} = 3\text{cm}$$

Este canal nos llevará el caudal de diseño, aunque su base es muy ancha con un tirante muy corto. Por eso, se puede seguir haciendo cálculos probando distintas bases y tirantes.

Recordemos que un caudal de máxima eficiencia es $y=2R$, y que la eficiencia se vincula con menor excavación y materiales para llevar el caudal.

Familiar
Colección
Agricultura Familiar

- Agricultura*
01. Energías Renovables para el Desarrollo Rural
 02. Ferias de la Agricultura Familiar de la Argentina
 03. Atlas Población y Agricultura Familiar en el NOA
 04. Fondos Rotatorios. Una Herramienta para la Agricultura Familiar
 05. Atlas Población y Agricultura Familiar en la región PAMPEANA
 06. Atlas Población y Agricultura Familiar en la región NEA
 07. “Del productor al consumidor” Apuntes para el Análisis de las Ferias y Mercados de la Agricultura Familiar en Argentina
 08. Sistemas de Captaciones de Agua en Manantiales y Pequeñas Quebradas para la región Andina
 09. Atlas. Población y Agricultura Familiar en la Región CUYO.
 10. Systèmes de captage d’eau de sources et de petits cours d’eaudans la région andine.
 11. Atlas. Población y Agricultura Familiar en la Región PATAGONIA.
 12. **Manual. Sistemas de conducción de agua para la Región ALTOANDINA.**

Sistemas de conducción de Agua
para la **Región ALTOANDINA**

Desde las organizaciones de la Agricultura Familiar, una de las dos principales demandas planteadas -junto a la problemática de la tierra- tiene que ver con el acceso al agua en comunidades rurales para su uso integral, esto es consumo doméstico como productivo.

El INTA junto a otras instituciones y organizaciones vinculadas al desarrollo rural en los territorios, buscan contribuir a resolver esta problemática desde distintas estrategias. En este sentido, este libro se convierte en una herramienta fundamental para técnicos de campo, extensionistas, profesionales, funcionarios y organizaciones sociales. Esta edición es la continuación programada del primer Manual ya publicado (de una serie de cuatro), los cuales abordarán el acceso al agua para la agricultura familiar en la región alto andina desde un enfoque integral.

En este segundo manual, se aborda el diseño de sistemas de conducción de agua y se pone a disposición de manera práctica y sencilla, los elementos necesarios para el diseño de obras de conducción de agua en comunidades rurales alto andinas. Estos sistemas se caracterizan por el aprovechamiento de las condiciones topográficas o de relieve, el funcionamiento de los mismos por gravedad, la conducción de bajos caudales según las fuentes disponibles, y el abastecimiento múltiple a poblaciones dispersas.

La obra que se da a conocer, es el resultado de distintas experiencias de diseño y construcción de estos sistemas. Rescata y sistematiza las distintas posibilidades para resolver de forma efectiva los condicionantes que surgen al momento de diseñar -sistemas de conducción de agua en regiones de montaña. Este Manual además, **incluye un DVD con un software** diseñado especialmente para facilitar los cálculos necesarios en el diseño de canales o tuberías para los sistemas de conducción que tratamos.

Esta publicación, acerca de manera sencilla y comprensible, contenidos teóricos y saberes prácticos, evaluados a partir de múltiples obras de agua realizadas en muchos años de trabajo, por diversas instituciones y organizaciones que trabajan en el territorio junto al sector de la agricultura familiar.

ISBN 978-987-521-430-9



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Rivadavia 1439 (C1033AAE) - Buenos Aires