INDAP
Ministerio de Agricultura

Gobierno de Chile

Manual de Pequeñas Obras de RIEGO en la Agricultura Familiar Campesina

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PRINCIPALES OBRAS DE RIEGO BONIFICADAS POR INDAP

SEGUNDA VERSIÓN

DIVISIÓN DE FOMENTO
DEPARTAMENTO DE RIEGO

2010

Presentación

Chile aspira a convertirse en una potencia agroalimentaria y forestal, desarrollando un sector que hoy representa un 8,5% del PIB y 12% del total de empleo. La superficie agrícola del país es de 5 millones de hectáreas, con un 25% de tierras bajo riego. No obstante el bajo porcentaje de superficie regada, el aporte del subsector es muy importante, ya que contribuye en más del 80% a las exportaciones de origen agrícola.

Los principales problemas que enfrenta la agricultura chilena son las sequías, escasez de recursos hídricos hacia el norte del país, aranceles a los productos de exportación, ingresos de productos subsidiados, fluctuaciones en la tasa de cambio y la volatilidad de precios.

Frente a este escenario, el Gobierno ha delineado las bases de una Política Agraria que apunta a generar condiciones que permitan aumentar los niveles de competitividad, productividad e inversión en infraestructura productiva. Constituye un lineamiento especial del Ministerio de Agricultura, el fortalecimiento de la política de fomento y seguridad de riego, junto con la regularización de los derechos de propiedad y aguas en la Agricultura Familiar Campesina.

Para cumplir con este objetivo estratégico, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) ha implementado un Programa de Riego, con instrumentos que apuntan a la solución de problemas específicos que afectan a los pequeños productores agrícolas y sus organizaciones, con la finalidad de aumentar la superficie regada, invertir en sistemas de riego de mayor eficiencia en el uso del agua, y capacitar a los usuarios para una mejor gestión de un recurso escaso como es el agua.

En la última década, la demanda de riego campesino se ha triplicado en términos de solicitudes y montos de inversión, con soluciones que van desde la simple adquisición de bombas, equipos y elementos de riego, hasta la ejecución de proyectos de riego o drenaje, tanto intraprediales como extraprediales, que requieren del apoyo de un profesional especialista.

Debido a la complejidad del tema del riego, y a la falta de personal técnico especializado en la mayoría de las agencias de área, INDAP ha decidido lanzar este Manual con el objetivo de aportar elementos técnicos que permitan definir el tipo de obra solicitada por los usuarios a través de los instrumentos de Riego Intrapredial, Riego Asociativo y obras de la Ley de Fomento. Esperamos que esta publicación, que tiene un enfoque eminentemente práctico, sirva de puente entre los manuales de diseño (comúnmente dirigidos a especialistas) y las cartillas de divulgación o folletos que muchas veces no se comprenden si no van acompañados de una breve explicación técnica para las personas que no son especialistas.

La presente publicación corresponde a una segunda versión, revisada, actualizada y aumentada del Manual de Pequeñas Obras de Riego (2000), tras recoger la experiencia de 10 años, aportada por los propios agricultores, técnicos y profesionales del agro. Se ha mantenido la estructura general de la obra, dividida en secciones que corresponden a las obras de captación, conducción, regulación, aplicación del riego y misceláneas. Hay un tratamiento más profundo de los contenidos técnicos en algunos de los capítulos, particularmente, el tema de canales y obras de arte. Se incorporan referencias a la normativa vigente, tanto de la Ley Nº 18.450 de Fomento al Riego como del Código de Aguas y otras regulaciones, que afectan de una u otra manera el diseño, ejecución o manejo de determinadas obras de riego o drenaje.

Mención especial merece un capítulo nuevo, dedicado a los sistemas de riego que utilizan energía no convencional, tales como paneles solares, molinos de viento, rueda hidráulica y ariete hidráulico.

A medida que este Manual sea utilizado en el trabajo cotidiano de los ejecutivos de Área, equipos técnicos de PRODESAL y proveedores de servicios de asesoría, surgirán un conjunto de dudas, comentarios y sugerencias, que esperamos sean canalizados en el espacio que para tales fines existe en el sitio web de INDAP.

Este manual, representa una excelente oportunidad para mejorar y expandir los sistemas de riego, aumentando la productividad de nuestros usuarios y potenciales usuarios, dando un uso eficaz y eficiente al escaso recurso hídrico del que disponemos. Esto, sin lugar a dudas, permitirá avanzar firmemente hacia nuestro objetivo de convertir a Chile en una Potencia Alimentaria y Forestal, y a nuestros campesinos y campesinas proporcionarles la sustentabilidad de largo plazo que tanto necesitan, pues en INDAP nuestro compromiso es con la pequeña agricultura.

RICARDO ARIZTIA DE CASTRO
DIRECTOR NACIONAL INDAP

Santiago, diciembre de 2010.

Índice

A. OBRAS DE CAPTACIÓN **1**

1. Pozo profundo 2
2. Norias 11
3. Punteras 15
4. Elevación mecánica 18

B. CANALES Y OBRAS DE ARTE **29**

5. Revestimiento de canales 30
6. Conducción entubada 42
7. Canoas 55
8. Sifón 60
9. Marco partidor 64
10. Aforadores 68
11. Compuerta 73

C. OBRAS DE REGULACIÓN **75**

12. Tranque acumulador 76
13. Estanques 83

D. SISTEMAS DE RIEGO **87**

14. Sistema de aducción californiano 88
    Método de riego superficial: Riego por surcos 96
15. Sistema de riego por goteo 103
16. Sistema de riego por microaspersión 114
17. Sistema de riego por aspersión 121
18. Control automático del riego 127

E. OBRAS MISCELÁNEAS Y SERVICIOS **132**

19. Revestimiento de tranques con geomembrana 133
20. Nivelación de suelos 138
21. Sistema de drenaje con dren topo 146
22. Rehabilitación de tranques y canales 152

F. SISTEMAS DE BOMBEO CON ENERGÍAS RENOVABLES **156**

23. Sistema fotovoltaico 157
24. Sistema hidráulico 165
25. Sistema eólico 169
26. Sistema de Ariete Hidráulico 174

ANEXO 1. Elementos y accesorios más utilizados en riego tecnificado 181

ANEXO 2. Detalles de Instalación de Estanques Australianos 190

ANEXO 3. Glosario 195

ANEXO 4. Presupuestos de obras de riego 200

A Obras de Captación

- POZO PROFUNDO
- NORIAS
- PUNTERAS
- ELEVACIÓN MECÁNICA

1 Pozo Profundo

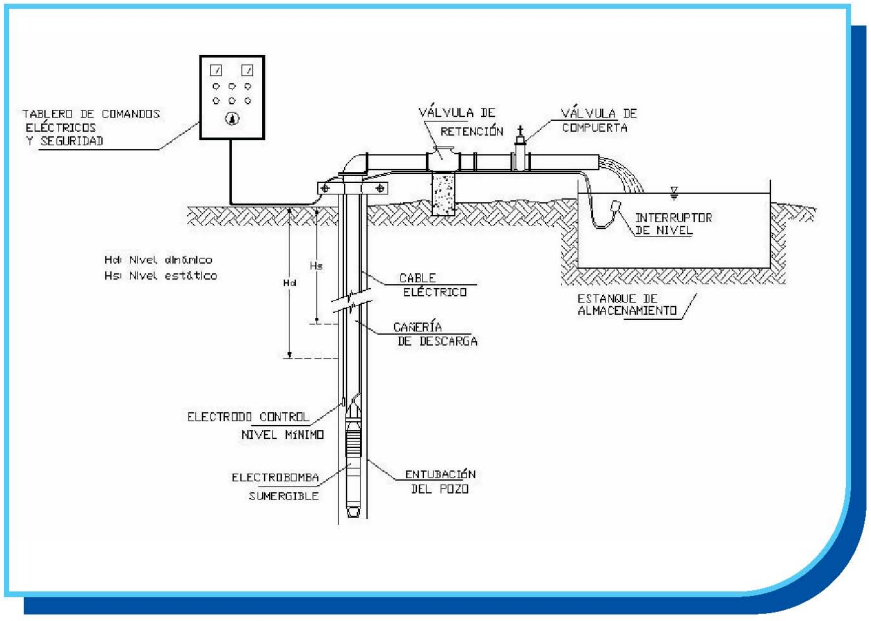


Figura 1. Obra de pozo profundo.

1. *Descripción de la obra*

El pozo profundo es una obra de captación de aguas subterráneas mediante un sondaje o perforación de pequeño diámetro (típicamente en 10 y 12”) y una profundidad variable, de 25 a 70 o más metros, según sea el tamaño del proyecto, el tipo de terreno, ubicación y espesor del *acuífero*. Las aguas se extraen mediante un equipo de bombeo con motor sumergido que requiere energía eléctrica, generalmente trifásica. En zonas sin electrificación se recurre a un generador de potencia.

2. *Componentes de la obra*

La construcción de un pozo profundo perforado comprende las siguientes etapas:

- Estudio previo.
- Perforación.
- Entubación.
- Engravillado.
- Desarrollo del pozo.
- Prueba de bombeo.
- Planos e informe final.

Estudio previo. En esta etapa se determina la mejor ubicación del punto de perforación, la profundidad estimada del pozo, caudal posible de obtener, niveles del agua (con y sin bombeo), y diámetro de la tubería definitiva. Para ello se recurre a mapas y estudios hidrogeológicos, catastros de pozos existentes e información del comportamiento de las napas en los últimos años.

Perforación. Es el conjunto de operaciones que permiten atravesar las capas que componen el subsuelo, hasta la profundidad establecida en el proyecto, dejando un espacio libre entre la pared del pozo y la cañería de entubación definitiva.

Durante la perforación, es recomendable guardar muestras del terreno atravesado en cajas ordenadas por estratos de profundidad, para realizar los análisis de granulometría con los cuales es posible determinar la ubicación de los acuíferos aportantes y dimensionar la abertura de las cribas. El sistema tradicional de perforación es mediante percusión. En los últimos años, se ha introducido en Chile los métodos de rotación con circulación directa, rotación con circulación inversa, rotación con aire reverso y rotopercusión.

Entubación. Faena que consiste en la colocación de la cañería de entubación definitiva, que debe contar con las cribas necesarias, instaladas frente a los acuíferos aportantes, según la estratigrafía del terreno perforado. El material de la entubación debe ser de primer uso y de muy buena calidad para que la obra de captación tenga una vida útil mínima de 20 años y sea posible efectuar trabajos de limpieza. Es muy importante que la tubería quede con una verticalidad perfectamente alineada para la correcta instalación de la bomba.

Engravillado. Esta labor consiste en rellenar el espacio que queda entre la pared del pozo perforado y la tubería definitiva con una gravilla de canto rodado lo más uniforme posible (jamás utilizar material chancado), de manera de formar un filtro que impida que las partículas de suelo entren al pozo durante el funcionamiento de la bomba. El espesor del filtro de gravas deberá ser de 7 a 20 cm, dependiendo este valor de la profundidad del pozo y de lo regular de la construcción de la perforación; recomendándose siempre un espacio anular superior a 7 cm. Por otro lado, valores mayores de 20 cm del espesor del filtro entorpecen las operaciones de limpieza y en ocasiones resulta casi imposible remover los residuos de lodos de perforación contenidos en los acuíferos al terminar la construcción. También es posible conformar un *filtro natural* con los mismos materiales de suelo que quedan alrededor del pozo, mediante inyección forzada de aire.

Desarrollo del pozo. Esta faena corresponde a la extracción de los materiales finos del acuífero en torno a las cribas para formar un filtro y eliminar así la posibilidad de entrada de sólidos al interior del pozo. Durante el desarrollo del pozo, los materiales finos son retirados mediante el *"cuchareo"* u otro procedimiento según cuál sea el método de perforación utilizado. Al momento de completar la prueba de bombeo, el pozo no debe quedar arrojando finos que reducen la vida útil del equipo de bombeo para la explotación del pozo.

Prueba de bombeo. Para esta prueba se debe instalar una bomba lo más profundo posible con una capacidad a lo menos de 30% superior al caudal esperado, para producir el agotamiento del pozo y calcular el caudal máximo de explotación. La prueba de bombeo se divide en prueba de gasto variable y prueba de gasto constante. La primera prueba consume habitualmente unas 12 horas, y consiste en registrar el tiempo y el nivel del agua en el pozo sometido a bombeo con caudales crecientes y debidamente estabilizados cada 2 horas aproximadamente, hasta llegar al caudal máximo. Las bases técnicas de los concursos de la Ley N°18.450 establecen observaciones de niveles en función del tiempo conforme a la siguiente escala: 0 - 5 - 10 - 15 - 30 - 45 y 60 minutos, y posteriormente, cada 30 minutos hasta que el nivel deprimido se estabilice, no excediendo de 12 horas por etapa.

La prueba de gasto constante, se realiza con un caudal que corresponde al 90% del gasto variable máximo, durante un período mínimo de 24 horas. La Comisión Nacional de Riego y la Dirección General de Aguas exigen estos tiempos en las pruebas de bombeo, con fines de presentación de proyectos a los concursos de la ley Nº 18.450 e inscripción de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas respectivamente. Una escala práctica es medir al minuto, 2, 3, 4, 5, 6; 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20; 25, 30, 35, 40; 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120; 150, 180, 210, 240... y más minutos en la misma secuencia.

Planos e informe final. Se debe exigir al contratista la entrega de un informe del pozo construido, bajo la firma de un profesional idóneo. Este informe debe contener los planos de construcción del pozo, el perfil del terreno y todos los registros de la prueba de bombeo, incluyendo las curvas de agotamiento. Normalmente se exige también un análisis de laboratorio para determinar la calidad del agua con fines de riego. Estos antecedentes son necesarios para la inscripción del pozo en la DGA (derechos de aprovechamiento) y también para postular proyectos a los concursos de la Ley de Fomento al Riego.

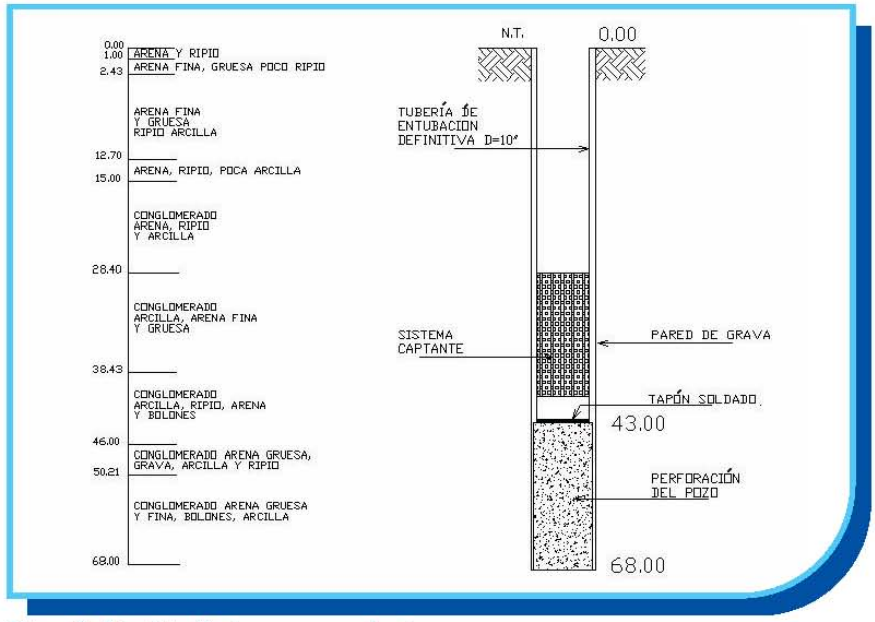


Figura 2. Estratigrafía de un pozo profundo.

3. *Aplicaciones más corrientes*

Los pozos profundos representan una buena solución técnica para abastecer de agua de riego en proyectos productivos de alta rentabilidad, que estén manejados por un grupo familiar o un grupo de 2 a 10 productores individuales, que dispongan de un terreno comunitario, o bien que sus predios individuales estén distribuidos en torno al pozo, y de esta manera reducir el costo por conducción del agua de riego (normalmente con tubería de PVC). No obstante lo anterior, la ubicación del pozo debe corresponder a las mejores posibilidades hidrogeológicas del sector, criterio técnico que debe primar sobre el costo de conducción.

Los proyectos de construcción y mejoramiento de pozos financiados por INDAP se han concentrado básicamente en las regiones de O'Higgins, del Maule y Metropolitana. Con la información disponible en más de 200 pozos se puede afirmar, a modo de conclusión, que los caudales obtenidos en la prueba de bombeo han resultado menores que los esperados, particularmente en el secano interior, con un rango de 2 a 10 l/s. En los pozos perforados en zonas de transición, entre el valle regado y el secano interior, el caudal promedio fluctúa entre 15 y 30 l/s. Excepcionalmente, se han obtenido caudales superiores a 50 l/s en algunos pozos ubicados en las comunas de Parral, Retiro, Peralillo, Palmira y Paine. Recientemente, se está incursionando en perforación de pozos para riego campesino en las regiones de Los Ríos y Los Lagos.

Una característica común en los proyectos de riego que contemplan captación de aguas subterráneas, es la instalación de un segundo *equipo impulsor* cuando la aplicación del riego se realiza a través de sistemas a presión (goteo, por ejemplo). En estos casos, el agua bombeada desde el pozo descarga libremente sobre un estanque tipo *australiano* o tranque.

Los fabricantes de bombas de pozo profundo no recomiendan que estos equipos se instalen directamente en conexión a los sistemas de riego presurizado como una forma de prolongar la vida útil de los equipos y reducir los costos de operación, mantenimiento y reparaciones.

4. *Los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas*

Las obras de captación de aguas subterráneas incorporan toda la superficie capaz de regar como superficie de nuevo riego. Para que los usuarios tengan el derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas y puedan utilizarlas sin riesgo de perderlas en el futuro, deben solicitar a la Dirección General de Aguas la inscripción de estos derechos en el conservador de bienes raíces a nombre de la comunidad de aguas en formación. Para ello es importante que los usuarios cuenten con la asesoría de un consultor con experiencia en el trámite administrativo de inscripción de derechos de aguas y formación de comunidades de aguas.

Antes de proyectar una obra de captación de aguas subterráneas se debe asegurar que el predio no se encuentre en zonas de prohibición o áreas de restricción declaradas por la Dirección General de Aguas.

Los proyectos de pozos que postulen a los concursos de la Ley 18.450 de Fomento al Riego deben cumplir con los siguientes requisitos:

- De acuerdo con el art. 19 del Reglamento, las faenas de perforación, desarrollo y prueba de bombeo, se deberán registrar previo a su construcción, en el registro que para tal efecto posee la DOH Regional, acreditación que deberá presentarse al momento de la postulación.

- Tratándose de proyectos de captaciones que no posean sus derechos inscritos, al momento de ingresar el proyecto se exigirá copia de la solicitud del derecho de aprovechamiento y certificación por parte de la DGA de que no se presentaron oposiciones. Previo a la orden de pago de la bonificación, se deberá adjuntar copia de las inscripciones de los derechos de aguas a nombre del solicitante.

- Aquellos(as) solicitantes que se acogieron a la regularización de los derechos de acuerdo al artículo 4º transitorio de la Ley Nº 20.017 que aprueba las modificaciones al Código de Aguas, deberán adjuntar copia del formulario de regularización ingresado en la oficina correspondiente. Previo a la orden de pago del certificado de bonificación, se deberá adjuntar copia de las inscripciones de los derechos de aguas a nombre del solicitante.

5. *Variantes*

El pozo profundo es una obra hidráulica que debe cumplir ciertas normas de diseño y construcción para que pueda servir al objetivo de captar las aguas subterráneas, de acuerdo con el tipo de terreno y calidad del *acuífero* que se quiere explotar, durante el mayor tiempo posible, con un mínimo de 20 años.

La definición anterior debiera ser válida para cualquier obra de captación contratada como "pozo". Sin embargo, no siempre es posible aplicar estos criterios frente a todas las variantes que existen para contratar o ejecutar este tipo de obras:

a) Método de perforación. Las máquinas perforadoras de pozos trabajan con uno de los siguientes sistemas: percusión, rotación o roto-percusión. También hay diferencias en las herramientas empleadas según el tipo de suelos (arenas, arcillas, gravas, roca). Por ejemplo, con los métodos en que se coloca la entubación definitiva a medida que se avanza en la perforación, no es posible conocer la ubicación de los acuíferos y se recurre al ranurado en un mayor porcentaje de la profundidad del pozo (60 - 80%), entregando una obra de dudosa calidad.

En cambio, el sistema de roto-percusión Barber va perforando y colocando una tubería provisoria, para posteriormente colocar la entubación definitiva con las cribas bien ubicadas y debidamente diseñadas.

b) Tipo de entubamiento. Si la cañería de habilitación definitiva es de acero tipo Yoder debe tener el diámetro adecuado al tamaño de la bomba de habilitación con un espesor mínimo de 6,35 mm. Debe evitarse el ranurado en las tuberías de acero, porque las aberturas son muy grandes, en comparación con las de una criba de Slot Nº 40[1], afectando así la vida útil del pozo por ingreso de sólidos.

c) Costos de inversión inicial. Los proyectos de captación de aguas subterráneas involucran dos grandes inversiones al inicio: a) la construcción del pozo y su habilitación hasta la prueba de bombeo; y b) la habilitación definitiva del pozo. Para los fines del presente manual, este segundo ítem será analizado en el capítulo de elevación mecánica.

1 Las *cribas* son rejillas de ranura continua que se fabrican mediante el enrollado de alambre estirado en frío, colocado en forma de espiral alrededor de un sistema circular de barras longitudinales. El N° de Slot equivale a la abertura o espacio que queda entre cada vuelta de la espira continua, expresada en milésimas de pulgada.(Slot 40 = 0,040” = 1 mm.)

Es muy frecuente que las empresas coticen la construcción de pozos mediante un precio de referencia por metro lineal de pozo perforado y entubado, sin habilitar. Pero este valor de referencia es muy variable, fluctuando entre $80.000 y $220.000 por metro, sin una clara especificación de las características de la obra. Si aplicamos estos valores a un pozo de 60 metros, se podría llegar al extremo de tener que decidir frente a una cotización de $4.800.000 y otra de $13.200.000, aparentemente por la misma obra.

Para facilitar la toma de decisiones, se debe exigir cotizaciones con desglose del presupuesto en las siguientes partidas:

a) Perforación. Se cotiza un precio por metro lineal de perforación. Los diámetros de perforación dependen del caudal esperado y de la profundidad del acuífero. El costo unitario de esta partida depende principalmente del tipo de terreno (duro o blando) y diámetro de entubación (8, 10 o 12"), en función de los equipos y herramientas requeridos.

b) Cañería de entubación definitiva. Tiene un precio por metro lineal de entubación, el cual varía según el material (acero), diámetro y espesor. El diámetro de la tubería debe permitir una holgura de 2" con relación al diámetro de la bomba, según se indica en la Tabla 1:

Tabla 1. Diámetros de cañería y bomba según caudal del pozo.

Caudal estimado (l/s)	Diámetro máximo de la bomba (pulgadas)	Diámetro mínimo de la cañería (pulgadas)
0 - 10	5	6 (interior)
9 - 24	6	8 (interior)
21 - 40	8	10 (interior)
36 - 80	10	12 (interior)

Fuente: “Manual de Obras Menores de Riego”. (1996). CNR/CIREN. Publ. 111.

2 El tiempo del desarrollo dependerá de la calidad del trabajo, pudiendo extenderse más de lo necesario si el sistema captante no ha sido bien diseñado por el Contratista. Por esta razón los mayores costos deben ser de cargo del Contratista.

c) Cribas. Se cotiza un precio por metro lineal. Como regla de la práctica, algunos contratistas calculan el tramo con cribas como el 30% del largo total del pozo o de la profundidad a partir de la cual aparece el agua. De acuerdo con la estratigrafía obtenida durante el sondaje, el tramo de cribas puede ser continuo o bien estar repartido, en dos o más secciones (las cribas se venden en largos de 3 y 6 metros).

d) Engravillado. Es una partida de obra cuyo costo depende del tamaño del sondaje, y se expresa en m^3 de gravilla de canto rodado consumidos en la operación. Se calcula un promedio de 0,15 - 0,20 m^3 por metro de profundidad.

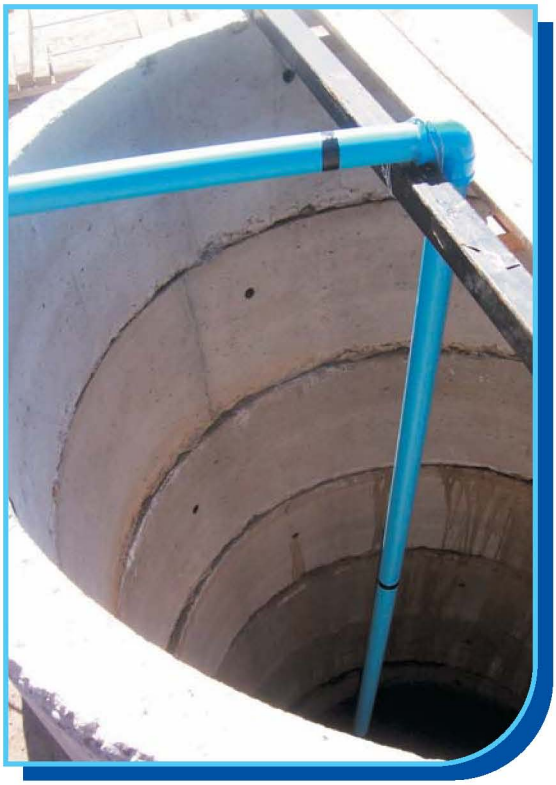
e) Desarrollo del pozo. El costo depende de la profundidad del sondaje, de los materiales y herramientas que se empleen, y de la duración de la faena. En promedio se ocupan 4 a 7 días. No obstante estas consideraciones, el precio de esta partida se debe cotizar en forma global[2].

f) Prueba de bombeo. El costo de esta partida depende de dos factores: a) El valor de arriendo de los equipos requeridos para la prueba; y b) La duración de la prueba. El tiempo mínimo exigido para la prueba de bombeo son 24 horas para el gasto constante y 12 horas para el gasto variable, razón por la cual las empresas de sondaje suelen determinar un costo global de uso de los equipos, incluido el combustible, y dividirlo por 36, para expresarlo como un precio unitario por hora. El costo global por uso de equipos portátiles depende principalmente de la disponibilidad de potencia en el lugar de la prueba (ya sea energía eléctrica trifásica instalada o un generador con capacidad suficiente).

g) Habilitación definitiva. Los costos de inversión en la obra de habilitación definitiva, así como los costos de operación y mantenimiento de pozos profundos serán tratados en el capítulo sobre elevación mecánica.

h) Análisis Físico-Químico y Bacteriológico. Se debe realizar el análisis de una muestra de agua del pozo de acuerdo a la N.Ch.1333 Of. 78 para agua de riego.

2 Noria



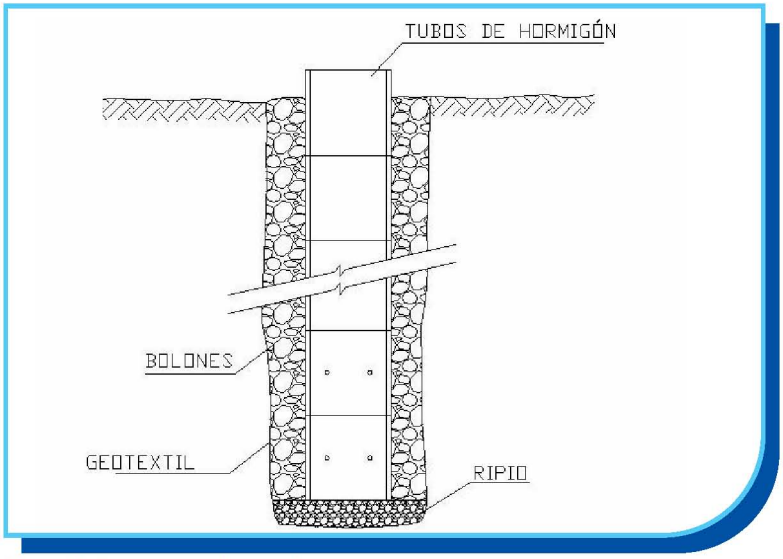


Figura 3. Pozo excavado o noria.

1. *Descripción de la obra*

A diferencia de los pozos profundos, la *noria* es una obra de captación de aguas subterráneas que no están contenidas en un acuífero, y que provienen de las filtraciones de cauces naturales o artificiales o de napas subsuperficiales de drenaje natural de suelos de posiciones más altas. La noria tradicional consiste en una excavación hecha a mano o con retroexcavadora, de sección más o menos circular y de gran diámetro (1-3 m). La profundidad de estos pozos fluctúa entre 5 y 15 metros, dependiendo de la estabilidad de las paredes y de la cantidad de agua que aflore durante los trabajos.

En períodos de sequía prolongada, o cuando se necesita contar con un mayor volumen de agua, las norias se pueden profundizar mediante una excavación de igual diámetro o bien haciendo un *barrenado*, con lo cual se puede alcanzar una profundidad total de 20 a 25 metros.

El revestimiento de la noria es aconsejable bajo cualquier condición de suelo para dar estabilidad a sus paredes o como medida de protección frente al desmoronamiento por causa de sismos.

En muchos sectores del secano interior y costero entre las regiones de Coquimbo y del Maule, los caudales captados con este tipo de obras son en general muy bajos, entre 10.000 a 100.000 litros por día (equivalente a un caudal continuo de 0,11 a 1,15 l/s).

En cambio, las norias ubicadas en zonas de posición baja, próximas a un río o estero, o al pie de un cerro[3] en regiones de mayor pluviometría, pueden captar caudales mucho más elevados y constantes, del orden de 2 a 6 l/s.

3 En algunos sectores de la precordillera de la región del Biobío, se han logrado excelentes resultados con otro tipo de obra de captación, que se conocen con el nombre de *pozos-zanja*. Éstas son en realidad trincheras, excavadas a poca profundidad, con un largo variable (entre 15 y 30 m), no se revisten y son aprovechadas directamente con equipos de bombeo portátiles.

2. *Componentes de la obra*

La noria con fines de riego consiste básicamente en los siguientes elementos:

- El pozo o excavación.
- La obra de revestimiento.
- La unidad de bombeo y sus accesorios.

La excavación del pozo se puede hacer en forma manual, al principio con un obrero y posteriormente con dos o tres jornales, que se relevan en turnos cortos entre la labor de superficie y la faena de excavación. A medida que aumenta la profundidad de la excavación, y con ello la la dureza del terreno, los rendimientos de la mano de obra bajan considerablemente, hasta 1-3 días por metro excavado. Por esta razón, en los casos en que se espera encontrar el agua a poca profundidad (6-9 metros), se opta por la excavación con máquina retroexcavadora, con rendimientos muy altos, del orden de 6 a 10 m^3 de excavación por hora, terminando la faena en el mismo día. Tiene la limitación de profundidad ya mencionada, además de problemas de nivelación vertical de los tubos de revestimiento, ya que la excavación con máquina tiene una forma muy irregular y resulta muy grande en comparación al diámetro de los tubos.

Para extraer las aguas de la captación se utilizan *bombas centrífugas*, con motor bencinero (cuando no se dispone de energía eléctrica) o motobombas de baja potencia (0,5 a 1,5 HP) conectadas a la red eléctrica domiciliaria. El inconveniente de este tipo de bombas es que sólo pueden funcionar con una *altura de aspiración* inferior a 6 metros, lo que dificulta su instalación en la superficie del terreno.

En la mayoría de los casos en que el nivel del agua en la noria se encuentra a una profundidad mayor de 6 metros, o desciende a este nivel durante el bombeo, se opta por colocar la bomba sobre una plataforma sostenida por cuerdas o cadenas y conectada a una polea para "bajar la bomba" a medida que desciende el nivel del agua en el pozo. Una segunda opción es instalar en superficie una bomba *centrífuga con inyector*, diseñada especialmente para aspirar a alturas mayores, aun cuando se reduce fuertemente el caudal impulsado. Otra opción, de mucha recurrencia actualmente, es la instalación de bombas sumergibles. Los tipos de bombas y sus accesorios están tratados en el capítulo de **elevación mecánica**.

3. *Aplicaciones más corrientes*

En extensas zonas del secano costero e interior, entre las regiones de Valparaíso y Biobío, es común que en los predios se construya más de una noria, para aprovechar las napas subsuperficiales en el riego de chacras, árboles frutales, flores y hortalizas, en muy pequeña escala, con una superficie inferior a 4 ha. En todos los casos, las norias van asociadas a un sistema de riego localizado (goteo o microaspersión), para aprovechar al máximo los pequeños caudales que se pueden extraer con este tipo de obras de captación.

4. *Variantes*

Las variantes están referidas principalmente al material de revestimiento y al método de construcción de las norias. Por ejemplo, si el terreno lo permite, se puede excavar primero hastala profundidad final y posteriormente ir bajando los tubos de hormigón con la ayuda de un tecle. En otros casos, el entubamiento es simultáneo con la excavación.

Cuando se utiliza cualquiera de los otros materiales de revestimiento (ladrillo, piedra emboquillada y hormigón), el pozo debe ser excavado previamente con máquina.

5. *Cotización o especificación de la obra*

En las cotizaciones o presupuestos de este tipo de obra se debe indicar el costo unitario de las siguientes partidas:

- Excavación a mano ($/m3). Especificar el tipo de terreno; número de trabajadores; herramientas empleadas; medidas de seguridad contempladas para realizar el trabajo.
- Excavación con máquina ($/m3). Especificar tipo de maquinaria y rendimiento en m3/h.
- Colocación de tubos de hormigón ($/ml). Análisis de precios unitarios.
- Arriendo de motobomba ($/día). Especificar tipo de bomba.
- Fletes y otros gastos.

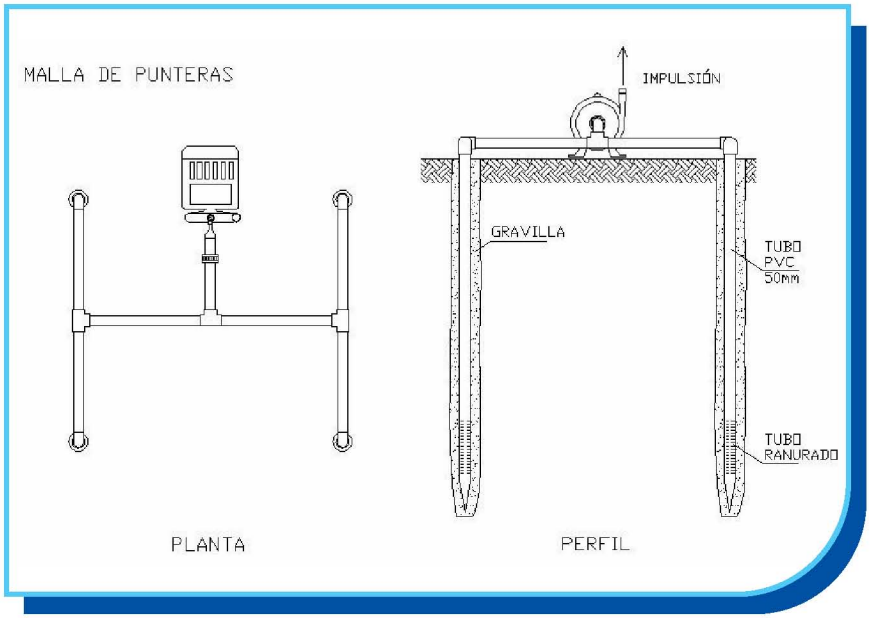


Figura 4. Malla de 4 punteras en H.

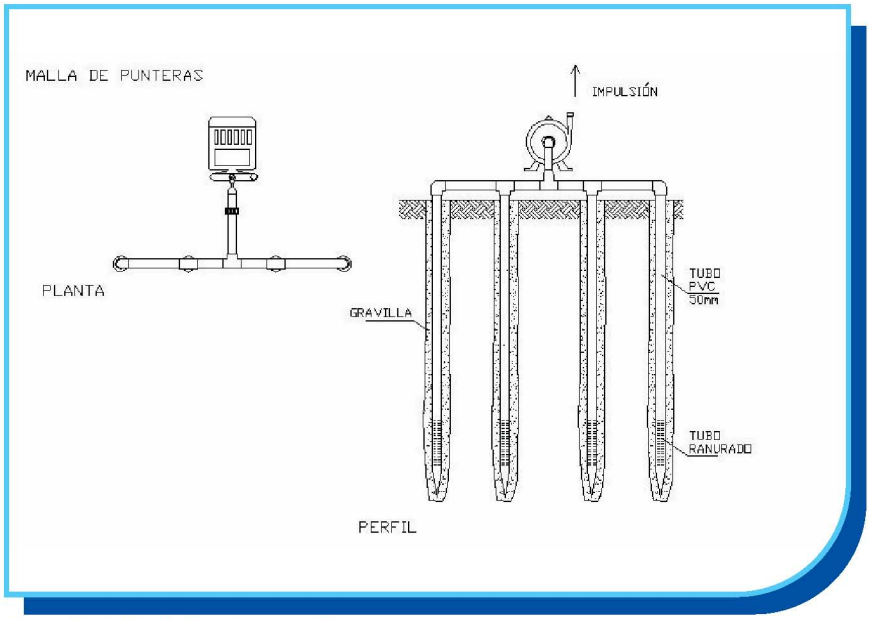


Figura 5. Malla de 4 punteras en T.

1. *Descripción de la obra*

La puntera[4] es un pozo de pequeño diámetro (4" a 6") perforado en el suelo hasta una profundidad variable, que fluctúa entre 6 y 18 metros, mediante el cual se capta aguas de drenaje subsuperficial o napas de poca profundidad en terrenos de posición baja. Los caudales captados en general son muy bajos (0.1 a 0.5 l/s).

2. *Componentes de la obra*

En los proyectos de captación mediante punteras es posible distinguir los siguientes componentes:

- Perforación del pozo.
- Instalación de las punteras.
- Tubería de succión.
- Equipo de bombeo.
- Tubería de impulsión.

Dependiendo del tipo de material de suelo, en la perforación del pozo se emplean los siguientes métodos: a) Barrenado del suelo con un tubo metálico ("calador") que se introduce manualmente por rotación; b) Inyección de agua a alta presión, la que es forzada hacia abajo por una cañería vertical, que se hinca en el terreno mediante pequeños golpes, tiene en un extremo la salida del agua, este extremo tiene la forma de un cincel. El agua retorna a la superficie por la parte exterior de la cañería y la pared del pozo. Este método de perforación es efectivo solamente en sedimentos sueltos de grano fino, y con profundidades entre 6 y 15 m; y c) Perforación con una máquina de roto-percusión. Éste último método es obviamente de mayor costo y se emplea en terrenos duros, con aguas a mayor profundidad.

La *puntera* más utilizada es una tubería formada por la unión soldada de 2 tubos de PVC hidráulico de 75 o 110 mm y clase 10, con ranuras en el tramo inferior. Se logra un ranurado uniforme y fino utilizando una sierra de hoja. En los suelos con arenas muy finas, el tramo ranurado se debe cubrir con una malla fina de acero que se fija mediante abrazaderas.

La *tubería de succión* es simplemente un tubo de PVC de diámetro variable (32, 40 o 50 mm) según la cantidad de agua extraída y el tamaño de la bomba.

4 Las punteras en su versión original son de acero inoxidable y llevan una rejilla de ranura continua (criba), que implica una gran área de captación. Este tipo de punteras son de alto costo y tienen poco uso en riego. Se emplean preferentemente para abatir la napa freática en suelos de fundación durante la construcción de obras civiles o edificios.

El *equipo de bombeo* es generalmente una motobomba eléctrica monofásica, apropiada para los bajos caudales obtenidos en la captación con punteras. También se instalan motobombas bencineras cuando no se dispone de energía eléctrica. El caudal de explotación de una puntera se debe determinar mediante pruebas de bombeo en la época de mayor demanda de riego.

La *tubería de impulsión* generalmente es de PVC en diámetros adecuados (entre 32 y 63 mm) según la distancia y el desnivel topográfico. Se utiliza para conducir el agua hasta un estanque o bien como línea principal de un sistema de riego a presión.

3. Variantes

Se conocen básicamente dos sistemas: a) la puntera simple, que corresponde a lo descrito anteriormente; y b) la malla de punteras, recomendable en el caso de que el rendimiento por puntera simple sea muy bajo. Esta variante consiste en dos o más punteras poco separadas entre sí, con las tuberías de succión conectadas a un tubo colector común generalmente de mayor diámetro, para sumar los caudales individuales y permitir la instalación de una sola bomba en el centro del mismo ("múltiple").

La profundidad en que se encuentra el nivel dinámico del agua en la puntera exige en algunos casos un cambio en el tipo de bomba. Para alturas de succión superiores a 7 metros se puede emplear una bomba centrífuga con inyector o bien una bomba sumergible de uso doméstico.

4. Aplicaciones más frecuentes

La captación de napas subsuperficiales mediante punteras es aprovechada en el riego de una superficie que generalmente no supera una hectárea, y su mayor aplicación la encontramos en el secano de la región del Biobío. Se han ejecutado una gran variedad de proyectos de riego tecnificado en pequeña escala, para hortalizas y flores en invernadero y frutales, bajo diferentes condiciones de suelo y pendiente (por ejemplo: cerezos con riego por goteo en laderas de cerro, sector Cayumanqui, región del Biobío; hortalizas al aire libre y en invernadero en las comunas de Empedrado y San Javier, región del Maule).

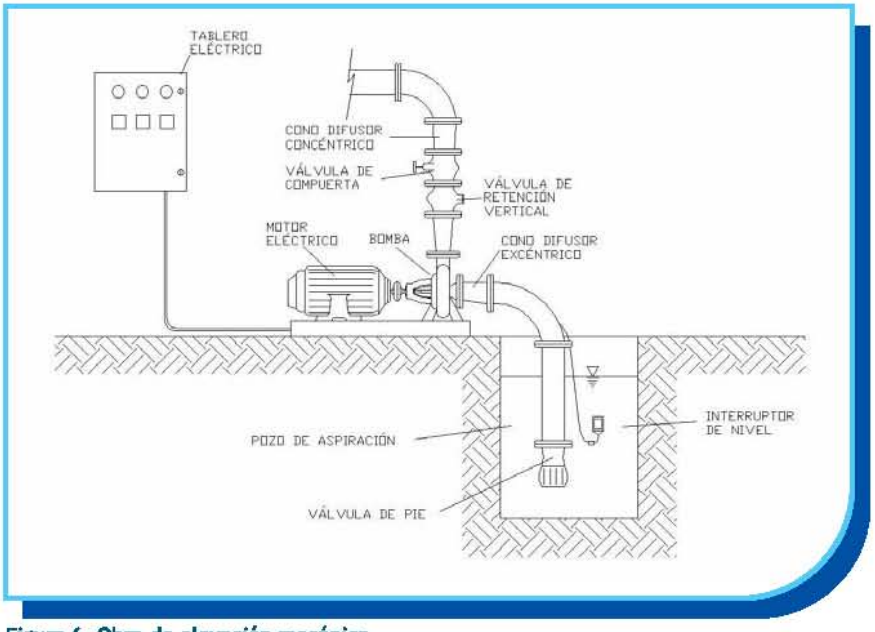


Figura 6. Obra de elevación mecánica

1. *Descripción de la obra*

La *elevación mecánica* es una obra de impulsión de agua mediante bombeo desde una fuente hídrica ubicada bajo el nivel de los terrenos a regar, como ocurre en todos los casos de captación de aguas subterráneas. Pero también estamos frente a una elevación mecánica cuando el bombeo se efectúa desde un canal o tranque para regar terrenos ubicados en una cota superior.

En la mayoría de los casos, el agua bombeada se descarga directamente a un canal o acequia de distribución del agua de riego, que se encuentra a una cota más elevada. En otros casos, el sistema de elevación mecánica se utiliza para llenar un tranque acumulador ubicado en una ladera alta, con el cual se riega por gravedad los terrenos que se encuentran bajo cota de la obra de toma. Una tercera posibilidad es que el agua depositada en un tranque (después de la elevación mecánica) sea *reimpulsada* a presión con otra motobomba para regar terrenos sobre la cota del tranque o, simplemente, para operar un sistema de riego localizado.

En general, se habla de *equipos de impulsión* cuando los equipos de bombeo están diseñados para entregar el agua a presión en una red de tuberías, como es el caso de los sistemas de goteo y aspersión, sin importar el nivel o cota de los terrenos que se riegan.

Se denomina *sistema de riego mecánico* a la combinación de una obra de captación e impulsión del agua mediante bombeo, no importando si existe desnivel topográfico entre la fuente y la superficie de riego. Para los fines del *Manual*, en este capítulo se analizará lo referido al segundo componente, es decir, impulsión.

La obra de impulsión o *elevación mecánica* propiamente tal consiste básicamente en una cámara de aspiración, una unidad de bombeo diseñada para cubrir los requerimientos de caudal y presión del sistema, y una tubería de impulsión hasta el punto de toma o de derivación.

2. *Componentes de la obra*

El sistema de riego con elevación mecánica consiste en los siguientes elementos:

- Obra de captación.
- Caseta de bombas.
- Equipo de elevación mecánica.
- Interconexiones hidráulicas.
- Instalaciones eléctricas o instalaciones para motores a combustión interna.

Obra de captación. Estas obras pueden ser pozos profundos, norias, acumulación de vertientes o drenes. En el caso de aguas superficiales (ríos, esteros, canales), se construye una cámara de aspiración para el equipo de bombeo, construida directamente sobre la fuente, o bien conectada a ella mediante una tubería de aducción[5] o tomas laterales.

Caseta de bombas. Ésta es una construcción destinada a proteger el equipo de elevación mecánica, válvulas, piezas especiales de acoplamiento, tableros eléctricos y otros elementos y accesorios contra la intemperie y acción de terceros (vandalismo). Este recinto debe ser ventilado y mantenerse limpio para evitar que se acumulen humedad, polvo, aceite, etc., que deterioran la maquinaria en breve plazo. Dependiendo de la disponibilidad de materiales y costo de la mano de obra, la caseta puede ser de madera, de ladrillo, de estructura metálica con malla, etc.

Equipo de elevación mecánica. Es el componente principal en este tipo de obras. El equipo de elevación mecánica está compuesto básicamente de dos elementos: *bomba hidráulica* y *motor*. Las bombas que se utilizan en la elevación mecánica son de dos tipos: *Bombas centrífugas de eje horizontal y bombas de pozo profundo*.

Dentro de las bombas centrífugas de eje horizontal se encuentran las bombas de alta presión, que impulsan bajos caudales a gran altura y las bombas de baja presión (conocidas como bombas de caudal), que impulsan grandes caudales a baja presión.

En el riego mecánico se emplean dos tipos de motores: los accionados por electricidad y los de combustión interna. Los motores eléctricos de baja potencia (hasta 2 HP), pueden funcionar con la corriente eléctrica domiciliaria (monofásica de 220 voltios); los motores de mayor potencia (sobre 3 HP), funcionan con corriente trifásica de 380 voltios. Los motores de combustión interna de baja potencia funcionan con gasolina; los de potencia media a alta funcionan con petróleo *diesel*. También existen bombas centrífugas especialmente diseñadas para ser acopladas al eje toma fuerza del tractor.

El mercado ofrece una gran variedad de marcas y modelos de bombas, con distintas combinaciones de motores, diámetro de *rodete*[6] y número de *etapas*[7]. Siendo éste un tema técnico muy especializado, hemos preferido describir y caracterizar los equipos de bombeo, agrupándolos en tres categorías:

5 En lecho de río o en terrenos con napa freática alta, se opta por una solución denominada *"pozo-dren"* (tubería de drenaje de longitud variable que descarga las aguas en una noria revestida).

6 El *rodete* o impulsor es una pieza con álabes, alojada dentro del cuerpo de la bomba, encargada de impulsar el agua mediante un movimiento rotativo. Una misma bomba puede equiparse con diferentes diámetros de rodete. A mayor diámetro del impulsor se logra una mayor altura de elevación.

7 Una bomba centrífuga *unicelular* tiene un solo impulsor. Las bombas centrífugas *multi-etapa* pueden tener entre 2 y 10 impulsores. A mayor N° de rodetes, aumenta la altura de elevación y la potencia. Por ejemplo, una bomba 1¼" x 1" de 5 etapas puede bombear 180 l/min (3 l/s) a una altura superior a 100 metros, y requiere un motor de 10 HP.

Grupo I: Bombas centrífugas con motor de combustión interna

Actualmente estos equipos los podemos diferenciar entre bombas de caudal y bombas de presión. Las bombas de caudal elevan el agua a una altura comúnmente no superior a 18 metros, lo cual impide o restringe su uso en los sistemas de riego presurizado (goteo, aspersión). Por lo tanto su mayor aplicación la encontramos en elevaciones mecánicas de poca altura y gran caudal, como por ejemplo, en la habilitación de norias de poca profundidad y para el llenado rápido de estanques. También es utilizada para elevar y conducir agua en sistemas de riego gravitacionales. La autonomía de funcionamiento de estas motobombas está restringida por la capacidad del estanque de combustible, y normalmente no supera las 3 horas. Las motobombas más comunes de este tipo son las de 2" x 2" para caudales entre 150 y 300 l/min; las de 3" x 3" para caudales entre 300 y 600 l/min; y bombas de 4" x 4" para caudales entre 500 y 1.000 l/min.

Dentro de este grupo también existen las bombas de alta presión, que generan una mayor altura pero un caudal inferior a las mencionadas anteriormente, generalmente con diámetros de 2" x 2" para caudales que van, por ejemplo, comúnmente desde 100 l/min con 45 m.c.a. a 400 l/min con una presión de 25 m.c.a.

Grupo II: Bombas centrífugas con motor eléctrico

Son bombas centrífugas unicelulares, de flujo radial, eje horizontal, aspiración axial y descarga vertical hacia arriba. Estas bombas ofrecen numerosas ventajas: tamaño reducido; caudal constante; presión uniforme; de operación continua (24 horas); bajo costo de mantenimiento y fáciles de regular. También se las conoce como *"bombas de presión"*, por la amplia gama de alturas de elevación que cubren. El costo de estas bombas es menor al de las motobombas bencineras.

Las bombas con motor monofásico son de baja potencia, (entre 0,5 y 2 HP) y pueden conectarse sin problemas a la red eléctrica domiciliaria. El rango de funcionamiento de estas bombas es para caudales de 30 a 180 l/min y alturas de elevación entre 15 y 35 metros. Cuando el sistema de elevación mecánica implica caudales superiores a 180 l/min o se requiere una presión mayor de 35 metros, la potencia requerida sube de 3 HP y por tanto el motor eléctrico debe ser *trifásico* (380 voltios).

En este grupo también existen las denominadas bombas de caudal, capaces de impulsar grandes caudales a baja presión. Por ejemplo 1.500 l/min pueden ser elevados a 6 metros. Estas bombas también pueden encontrarse en versiones monofásicas o trifásicas, dependiendo del caudal y altura requerida.

Generalmente los predios de los pequeños productores agrícolas no disponen de energía eléctrica trifásica, por lo que el costo de la electrificación debe sumarse a la inversión en equipos de bombeo.

Grupo III: Bombas de pozo profundo con motor sumergido

Son bombas verticales de turbina, que ocupan menos espacio que las anteriores (de voluta). Debido al diámetro limitado del impulsor, la altura alcanzada en la impulsión es pequeña, por lo que se utilizan varias etapas (bombas multicelulares) y se construyen de tal modo que se puede montar el número de etapas deseado añadiendo impulsores semejantes uno sobre otro. Son bombas de cuerpo cilíndrico que se alojan dentro de la cañería de captación en los pozos profundos. El motor se ubica debajo de la bomba y es lubricado por agua. Al arrancar el motor se pasa inmediatamente desde cero a las revoluciones de funcionamiento, lo que puede provocar arrastres que dañan el acuífero (de ahí la importancia del desarrollo del pozo y el uso de cribas).

En los pozos profundos con bajo rendimiento (típicamente habilitados en tubería de PVC), se emplean electrobombas sumergidas de 4" con capacidad máxima de 60 l/min (1 l/s) a 60 metros de profundidad en versión monofásica; y 180 l/min (3 l/s) a 60 metros de profundidad en versión trifásica. En los pozos profundos de mayor rendimiento, normalmente habilitados en cañería de acero, se emplean electrobombas sumergidas de mayor diámetro (6", 8" y 10").

Interconexiones hidráulicas. Las interconexiones hidráulicas consisten en los siguientes elementos: Cañería de aspiración; válvula de pie; curvas y terminales; válvula de retención; válvula de corta; y cañería de impulsión.

Instalaciones eléctricas. Las instalaciones eléctricas necesarias para operar una obra de elevación mecánica, con bombas centrífugas y motores eléctricos, son las siguientes: Extensión de línea de alta tensión; subestación eléctrica y transformador; empalme aéreo, equipos de medida y línea de enlace; tablero de comando de fuerza; y líneas de alimentación del motor.

En motores de combustión interna habrá que disponer de tambores para el almacenamiento de combustible.

Se debe exigir al proyectista o contratista la entrega de un plano de detalle con las interconexiones hidráulicas e instalaciones eléctricas, que permita cubicar y cotizar cada uno de los elementos que componen estas partidas.

Parámetros de funcionamiento de una bomba

Para dimensionar una bomba, los parámetros a determinar son:

Caudal. Es el volumen de agua bombeada por unidad de tiempo. Los catálogos de los fabricantes de bombas normalmente expresan el caudal en litros por minuto. El caudal es un dato básico para seleccionar una bomba, y no el diámetro, como corrientemente se cree.

Presión. Es la altura dinámica total (H) o carga manométrica del agua impulsada por la bomba. Se expresa comúnmente en metros de columna de agua (m.c.a.) o bar. Es el segundo dato de importancia para elegir una bomba. Existe una relación inversa entre caudal y presión.

Cálculo de presión. Se deben considerar las siguientes partidas, que sumadas corresponden a la altura dinámica total de la bomba:

- Altura de succión. (m.c.a.)
- Altura de elevación. (m.c.a.)
- Pérdidas de carga en la succión. (m.c.a.)
- Pérdidas de carga en la impulsión. (m.c.a.)
- Pérdidas de carga por singularidades. (m.c.a.)
- Pérdidas de carga en filtros, equipo de fertirriego. (m.c.a.)
- Presión de trabajo: es la requerida por los emisores (aspersores, microaspersores, goteros, etc.). (m.c.a.)

TABLA 2. Ejemplo de la sumatoria de las presiones requeridas por un sistema de riego por goteo.

Elemento	Pérdida de Carga (m.c.a.)
Gotero	10.0
Fricción dentro de tuberías	1.3
Singularidades (5% de fricción)	0.1
Altura de Succión	5.0
Altura de Impulsión	2.6
Filtro de Malla	3.0
Inyector Venturi	8.0
Altura Dinámica Total	**30.0**

Actualmente, existe en el mercado una amplia variedad de marcas y modelos de bombas, las cuales son capaces de impulsar diversos caudales en un amplio rango de presiones.

Selección de una bomba. Se debe determinar primeramente el caudal máximo (Q) y la altura dinámica total (H) del sistema de riego. Luego, con estos dos datos (Q - H) se busca el modelo de bomba que presente la curva característica más conveniente desde el punto de vista de la eficiencia. Para cada modelo de bomba se presenta la relación caudal-presión para diferentes tamaños de impulsor o rodete, y niveles de eficiencia expresada como porcentaje. Las curvas que representan estas relaciones se denominan "curvas de descarga de la bomba". Es muy común, actualmente, que cada fabricante ofrezca software de selección de bombas. Con respecto a la eficiencia de la bomba, se debe buscar el modelo que entregue el mayor valor.

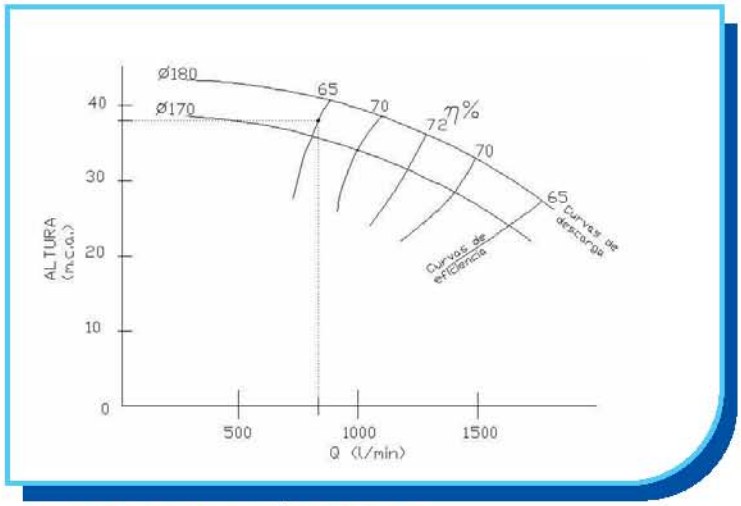


Figura 7. Curva de operación de la bomba.

Potencia. Se expresa en HP o Kilowatt y es directamente proporcional al producto del caudal por la presión (Q x H). Para estimar la potencia requerida, teniendo los datos de caudal en l/s, presión en m.c.a., y eficiencia η (expresada en tanto por uno) se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{Q * H}{75 * \eta} \qquad \text{Potencia (Kw)} = \frac{Q * H}{102 * \eta}$$

Ejemplo: Calcule la potencia teórica de una bomba proyectada para impulsar un caudal de 20 l/s con una altura dinámica total de 35 m.c.a. El equipo debe funcionar con una eficiencia mínima de 65%.

HP = (20 * 35) / (75 * 0,65) = 700 / 48,75 = 14,359 = 15 HP

O bien: HP = 700 / (102 * 0,65) = 10,55 = 11 Kw

Velocidad. Se expresa en revoluciones por minuto (RPM.). Los motores eléctricos vienen en dos presentaciones, en 1.450 RPM. y 2.900 RPM. Los de mayor velocidad se utilizan para aumentar la altura de elevación en una misma bomba.

Eficiencia. Se expresa como porcentaje (%). La eficiencia de las bombas centrífugas varía con el caudal y la presión, existiendo para cada modelo un punto de operación donde la eficiencia es óptima, normalmente entre 65 y 75%. La mayoría de los fabricantes de bombas entrega junto al catálogo la curva característica de cada modelo, incluyendo datos de Q, H, potencia, eficiencia, NSPH y amperaje. Los motores eléctricos tienen una eficiencia elevada (93-95%). La eficiencia del conjunto motobomba es el producto de ambas eficiencias. Ejemplo: eficiencia de la bomba 70%; eficiencia del motor eléctrico: 93%. Eficiencia global: 65% (0,70 x 0,93 = 0,65).

Altura Neta Positiva en la Aspiración (NSPH = Net Suction Positive Head). En una bomba centrífuga, cuando el agua entra en la tubería de succión se produce una disminución en la presión. Si esta presión es menor que la presión de vapor del agua a esa temperatura, se produce evaporación y el flujo será líquido y burbujas de vapor. Al llegar este flujo a la zona de impulsión (rodete y carcasa) se produce un aumento en la presión, donde las burbujas de vapor se revientan causando daños considerables en el rodete y carcasa, ya que actúan como verdaderos granos de arena a gran velocidad. Junto con esto, se genera un ruido anormal dentro de la bomba. Este fenómeno es conocido como cavitación. Para evitar la cavitación se debe calcular la altura total de carga a la entrada de la bomba.

La altura de succión será:

$$H_{succión} = 10 - NPSH - Hz$$

Donde:
10 es el valor máximo teórico de aspiración, equivalente a la presión atmosférica (10 m.c.a.).
Hsucción = Altura de succión (m).
NPSH = Altura de succión positiva neta disponible (m). Dato del catálogo de la bomba.
Hz = Pérdida de carga por fricción dentro de la tubería de succión.
(Normalmente no se considera por tener un valor muy bajo).

Ejemplo: Una determinada bomba tiene un NSPH de 3 m.c.a. para un caudal de 800 l/min. Se pide calcular la altura máxima de aspiración para esta bomba.

$$H_{succión} = 10 - 3 - 0$$
$$H_{succión} = 7 \text{ m}$$

Nos damos un margen de seguridad de 1,5 m, lo que significa que el eje de la bomba debe quedar a una altura máxima de 5,5 m con relación al espejo de agua.

Nota: Se recomienda que el diámetro de la tubería de succión sea mayor al diámetro de entrada de la bomba. Ejemplo: Si el diámetro de entrada de la bomba es de 1", la tubería de succión debe ser al menos 1½", preferentemente en 2".

Formas de conexión de las bombas

Cuando no podemos encontrar una bomba que cubra simultáneamente los requerimientos de presión y caudal para un determinado proyecto, se recurre a una combinación de bombas, las que se pueden conectar o acoplar en serie o en paralelo, según sea el objetivo que buscamos: Aumento de la presión o del caudal.

Bombas conectadas en serie. Esta forma de conexión se utiliza para aumentar la presión del conjunto (H = suma de presiones de cada bomba), limitando el caudal al de una bomba.

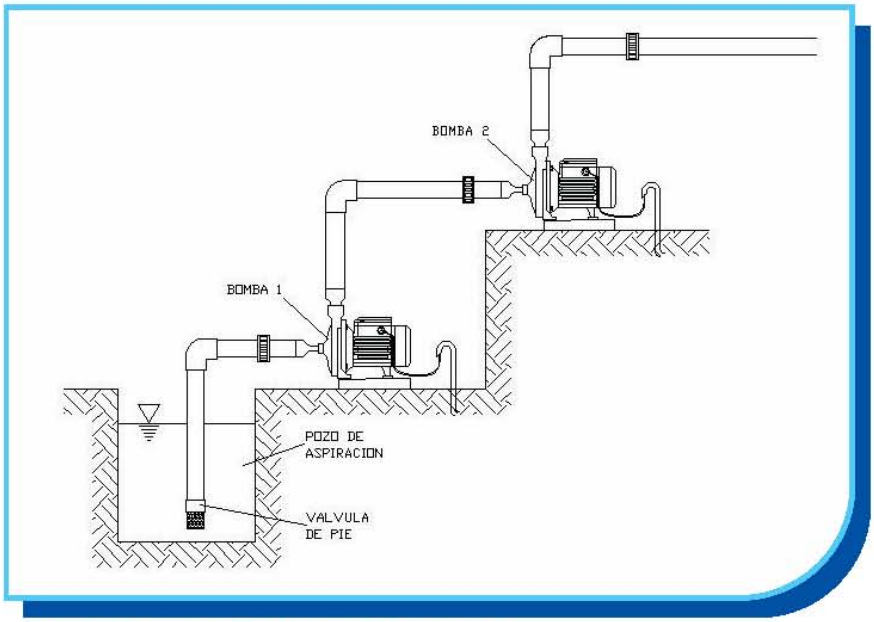


Figura 8. Esquema de bombas conectadas en serie.

Bombas conectadas en paralelo. Esta forma de conexión se utiliza para aumentar el caudal (suma de caudales de cada bomba), limitando la presión a la altura de elevación de una bomba.

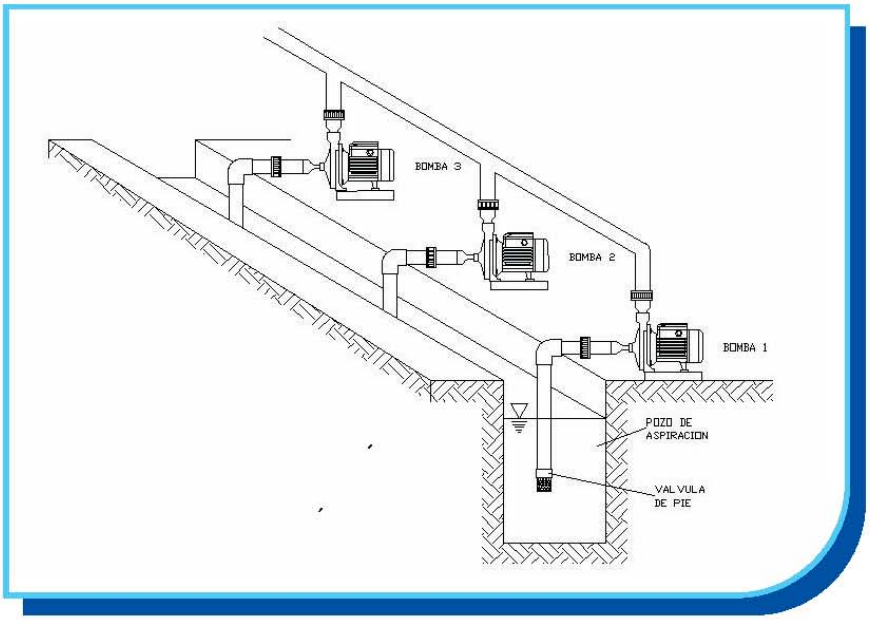


Figura 9. Esquema de bombas conectadas en paralelo.

4. *Aplicaciones más corrientes*

Los proyectos que contemplan una elevación mecánica tienen aplicaciones muy variadas, dependiendo del caudal disponible en la captación, la ubicación de los terrenos y el tipo de cultivos. A continuación se mencionan algunas tendencias regionales, asociadas a las opciones productivas de diferentes zonas agroecológicas.

En las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, son comunes los proyectos de elevación mecánica desde fuentes de aguas superficiales (ríos, esteros y canales), acompañados de un sistema de riego por aspersión móvil. También se utiliza la elevación mecánica desde pequeños embalses de temporada, con el fin de transformar terrenos de secano al regadío. En la región del Biobío, los sistemas de riego mecánico se utilizan en las captaciones de napas subsuperficiales mediante norias, punteras, vertientes y pozos-zanja, principalmente en cultivos de hortalizas y frutales. En las regiones de Valparaíso, Lib. B. O´Higgins, del Maule y Metropolitana, se han financiado más de 4.000 proyectos de riego, la mayoría de ellos consistentes en la habilitación de norias y algún sistema de riego localizado, como cintas de goteo y microaspersión. En la región del Maule es común encontrar proyectos de elevación mecánica desde fuentes de aguas superficiales.

5. *Cotización o especificación de la obra*

En los proyectos que contemplen una elevación mecánica, se deberá especificar el equipo de bombeo (tipo de motobomba, caudal y presión de diseño); las tuberías; válvulas y piezas especiales; caseta de bombeo (análisis de precios unitarios); instalaciones eléctricas.

- REVESTIMIENTO DE CANALES
- CONDUCCIÓN ENTUBADA
- CANOAS
- SIFÓN
- MARCO PARTIDOR
- AFORADOR
- COMPUERTA

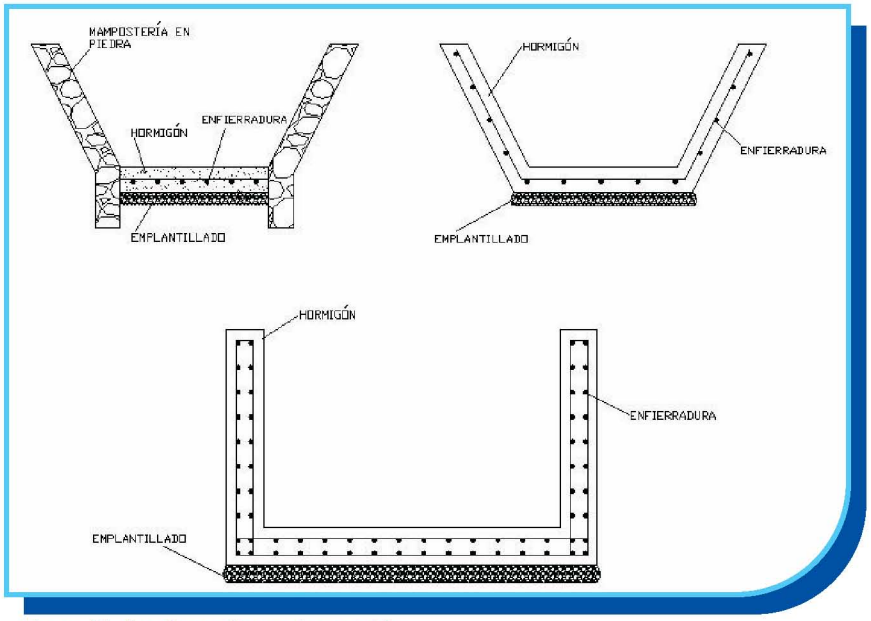


Figura 10. Secciones de canal revestido.

1. *Descripción de la obra*

El *revestimiento* de un canal es una obra de mejoramiento que consiste en cubrir las paredes y el piso con algún material de impermeabilización. En Chile, los canales se construyen en tierra y no suelen estar revestidos, lo que produce un crecimiento excesivo de malezas y pérdidas en la conducción en los tramos donde el terreno es más permeable.

Entre las pérdidas más importantes que ocurren en los sistemas de riego se cuentan las de conducción en los canales de tierra, producidas fundamentalmente por infiltración, las que pueden llegar en casos extremos hasta el 70% del total del agua derivada a los canales, según mediciones efectuadas sistemáticamente[1]. El revestimiento está indicado como una solución rentable en las zonas donde el agua de riego es escasa, o el reparto es mediante turnos, y también en las áreas de reconversión de cultivos, donde se requiere tener seguridad de riego durante toda la temporada. La elección del material para revestir el canal, debe considerar la disponibilidad y costo, los métodos constructivos y los objetivos que se busca con el revestimiento.

Para darnos una idea de la cuantía de las pérdidas en la conducción en canales no revestidos, se presenta una tabla recopilada de varias fuentes, con datos de filtraciones en l/m²/día para diferentes materiales de suelo.

TABLA 3. Pérdidas por filtraciones en canales no revestidos.

Clasificación	Tipo de material de suelo	Pérdida en l/m²/día	Referencia
Arcilla y Franco Arcilloso	Franco arcilloso cementado	104	Houk, 1956
	Franco arcilloso impermeable	76-107	Davis, 1952
	Arcilla y franco arcilloso	125	Houck, 1956
	Franco arcillo limoso volcánico (tipo trumao)	152-229	Davis, 1952
	Franco arcillo arenoso	229-305	Davis, 1952
Limo y Franco Limoso	Franco limoso	341	ICID, 1967
Arena y Areno-francoso	Franco arenoso	201	Houk, 1956
	Arena fina y media	216	USBR, 1965
	Ceniza volcánica con arena	299	Houk, 1956
	Franco arenoso	305-457	Davis, 1952
	Arena y ceniza volcánica con arcilla	366	Houk, 1956
	Suelo arenoso suelto	457-533	Davis, 1952
	Suelo arenoso con piedras	512	Houk,1956
Grava	Suelo arenoso con ripio	610-762	Davis, 1952
	Suelo con mucho ripio	914-1.829	Davis, 1952

Fuente: Irrigation Australia Ltd.

1 Informe de las Comisiones de Obras Públicas y de Agricultura, unidas, recaído en el proyecto de ley que modifica la ley N° 18.450. Exposición de Procivil. Boletín N° 6.392-09.

Un canal de tierra que conduzca 1 m^3/s y tenga filtraciones a razón de 300 $l/m^2/día$, podría perder 970.800 litros por km. Esto es 1,1% de pérdida de caudal por km. Para un tramo de 30 km, la pérdida es de 33% del caudal transportado, o sea, 330 l/s que no llegan a destino.

Los sistemas utilizados para revestir canales son muy variados:

- **Revestimiento con material de suelo:** (suelo compactado in situ; impermeabilización con arcilla; reperfilado de taludes; uso de sellantes de suelo).
- **Revestimiento con superficies duras:** (mampostería de piedra, ladrillo; losetas prefabricadas; canaletas prefabricadas de hormigón; shotcrete; canal entubado (*); asfalto; hormigón armado; geoceldas).
- **Geomembranas flexibles:** (HDPE; PVC; elastómeros).

(*) Aunque las tuberías no se clasifican como revestimiento, deben ser consideradas como alternativa de solución a los problemas de filtraciones en canales.

TABLA 4. Tabla de técnicas de revestimiento de canales.

Técnicas	Revestimiento con suelo				Revestimiento con superficie dura				Geomembranas	
Parámetros	Compactación in situ	Imp. Arcilla	Reperfilado	Sellantes	Hormigón	Shotcrete	Canal Entubado	Geoceldas	Expuesta	Cubierta
Reducción de filtraciones	MA	MA	M	MA	A	M	A	MA	MA	MA
Durabilidad	M	M	MA	B	MA	M	A	M	B	M
Mantenimiento	B	B	B	A	M	M	B	MA	MA	M
Costo	B	M	B	M	MA	A	MA	A	M	B

Leyenda B - Bajo; M - Medio; A - Alto; MA - Muy alto.
Verde - Más adecuado; Amarillo - Adecuado; Rojo - Menos adecuado.
Fuente: Irrigation Australia Ltd.

2. Componentes de la obra

La obra de revestimiento puede dividirse en tres etapas:

a) Preparación de la base.
b) Excavaciones y afinado de taludes.
c) Colocación del revestimiento.

Preparación de la Base. Se refiere al piso del canal que debe prepararse según los requerimientos específicos del material que se usará para revestir el canal. En el caso de losetas y hormigones, los muros de revestimiento deben apoyarse en un radier de hormigón simple y éste, a su vez, descansa sobre una base estabilizada de 10 cm de espesor. Cuando se emplean láminas de polietileno *(geomembranas)*, éstas se extienden directamente sobre el piso del canal que ha sido previamente nivelado y apisonado. En el caso de canaletas prefabricadas se debe preparar el encamado correspondiente.

Preparación de Taludes. Se refiere a las paredes del canal, las cuales pueden ser inclinadas para dar una sección trapecial, o bien verticales cuando la sección es cuadrada o rectangular. En la mayoría de los casos se aprovecha la forma natural que tiene el canal, por lo que se requiere un afinamiento de los taludes para que se produzca el contacto directo con el material de revestimiento. En otros casos, se debe realizar una excavación mayor con retroexcavadora, para proveer de un espacio amplio donde levantar los muros del canal revestido (por ejemplo, instalación de moldajes en el caso de hormigón armado).

Colocación del revestimiento. Esta es una faena muy variada, dependiendo del tipo de material utilizado. En el caso del revestimiento con geomembranas de polietileno, la operación es muy simple, ya que los tramos se logran con la simple extensión y anclaje de cada rollo (o paños) con diferentes anchos de cubierta, según requerimiento. En los casos de revestimiento con hormigón o mampostería, la colocación es mucho más lenta, y es muy dependiente de la disponibilidad y calificación de la mano de obra. Para los revestimientos prefabricados en hormigón la colocación es más rápida ya que el material viene listo para ser instalado. En el caso del revestimiento con el sistema de geoceldas, que se describe más adelante, se puede llegar a tener un avance más rápido que en el hormigonado tradicional.

3. *Aplicaciones más corrientes*

Los revestimientos en *mampostería* de piedra son muy usados en las regiones del norte del país, debido a la abundancia del material (bolón de río, piedra laja). Es un trabajo artesanal muy difundido y de aplicación corriente en acequias de paredes casi verticales, con dimensiones mínimas, entre 30 y 60 cm de ancho, para caudales que fluctúan entre 60 y 200 litros por segundo. Cuando los canales de conducción y distribución están trazados con mucha pendiente, se construyen saltos para reducir la velocidad del agua y de esta manera, alargar la vida útil de los revestimientos.

Los revestimientos con *losetas* o pastelones prefabricados son más comunes en las regiones de Valparaíso, Lib. B. O'Higgins, y Metropolitana. Se emplean corrientemente para revestir canales de mayor tamaño (ancho o sección) en tramos de gran longitud. La ejecución de este tipo de revestimiento es mucho más rápida que la mampostería en piedra o el hormigón.

El revestimiento con geomembranas de polietileno es una tecnología de bajo costo de inversión inicial y muy fácil de instalar, tiene una duración estimada de 10 años dependiendo de su cuidado.

Recientemente se ha introducido en el mercado un nuevo sistema de revestimiento de canales mediante **geoceldas**, un sistema de confinamiento celular fabricado en paneles de polietileno de alta densidad, estabilizados contra la radiación ultravioleta, y soldados mediante uniones ultrasónicas, que aportan una alta resistencia estructural. De esta forma se obtiene una estructura alveolar muy resistente que confina y retiene el relleno empleado en el sistema. La estructura, una vez extendida, forma una especie de alvéolos que pueden rellenarse con cualquier material (tierra, grava, hormigón, etc.).

Las paredes de las celdas tienen un acabado texturizado y perforado con el fin de producir una adecuada fricción entre el material de relleno y las geoceldas. Para la fijación del sistema a la superficie se emplean diferentes métodos de anclaje. La forma de anclaje más común consiste en la utilización de varillas corrugadas de diámetro y longitud variable que terminan en un clip de polietileno de alta densidad en la parte superior, para hincar sobre la superficie a tratar. El número de anclajes por unidad dependerá de las dimensiones de las varillas, la pendiente, y el tipo de celda que se instale.

La elección del tipo de geocelda, el material de relleno y la forma de anclaje dependerán de las necesidades técnicas de la obra.

Por tratarse de una obra lineal, donde el costo por metro lineal se multiplica por la longitud del trazado que mantenga una determinada sección, se debe presentar un análisis de precios unitarios para las siguientes partidas de obras:

- Estudio topográfico. Costo de nivelación por kilómetro de trazado.
- Replanteo topográfico. Normalmente, como ítem global.
- Excavaciones a mano. Especificar tipo de terreno.
- Excavaciones con máquina. Especificar tipo de maquinaria.
- Revestimiento para la sección tipo. Especificar tipo de material del revestimiento.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Cálculo de la flotabilidad

Antes de revestir un canal se debe estudiar en el terreno la existencia de napa freática; si ésta existe se debe calcular la flotabilidad de la sección revestida. En caso de producirse flotabilidad se debe considerar la instalación un sistema de drenaje, lo que elimina el riesgo de posteriores daños, como quebraduras, que se puedan presentar en el revestimiento.

Ecuación Básica

PESO DE HORMIGÓN > PESO DE AGUA DESPLAZADA

Si esto se cumple no es necesario colocar sistema de drenaje.

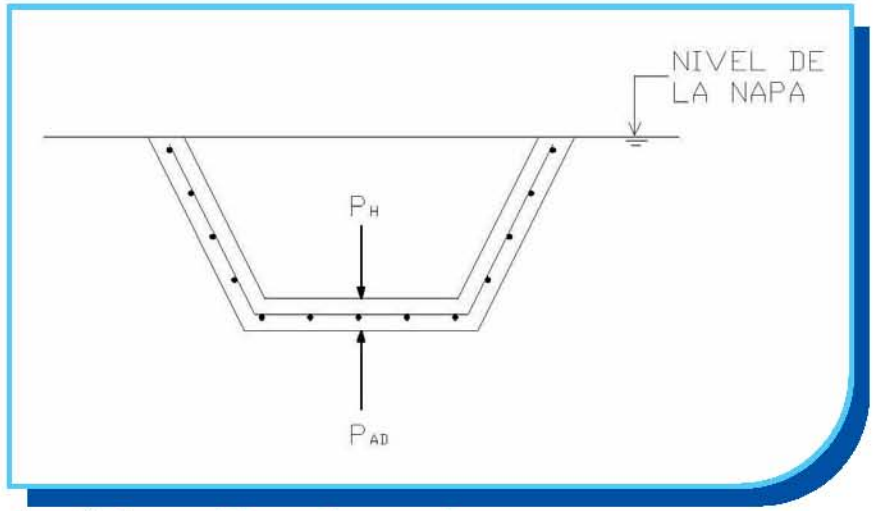


Figura 11. Diagrama de fuerzas sobre un canal.

P_H: Peso Hormigón
P_{AD}: Peso de agua desplazada

Ejemplo: Se tiene un canal rectangular de 1,0 m de base, 0,6 m de altura y 0,07 m de espesor. Con napa freática a la altura de la masa de canal.

Peso hormigón = 2,4 ton/m³ x volumen hormigón = 2,4 ton/m³ x 0,1638 m³ = 0,393 Ton

Peso agua desplazada = empuje =1,0 ton/m³ x volumen agua =1,0 ton/m³ x 0,6 m³ = 0,6 Ton

∴ Empuje Napa>Peso Hormigón ⟹ Requiere sistema drenaje

El peso del hormigón es menor que el peso del agua desplazada y, por tanto, se requiere un sistema de drenaje para que el canal revestido no flote y se produzcan roturas.

Sistemas de drenaje en canales

El sistema colector de drenaje consta de un dren compuesto de gravilla bajo el revestimiento por toda la sección, y el sistema conductor y evacuador que se compone por un tubo perforado que capta las filtraciones y las conduce como acueducto, con lo cual se evitan las subpresiones sobre el revestimiento. Para la evacuación del agua en este sistema se pueden ocupar clapetas. Es conveniente en estos sistemas utilizar **geotextil**.

Otro método de drenaje es el que deja pasar el agua al interior del canal mediante el uso de barbacanas con tapa.

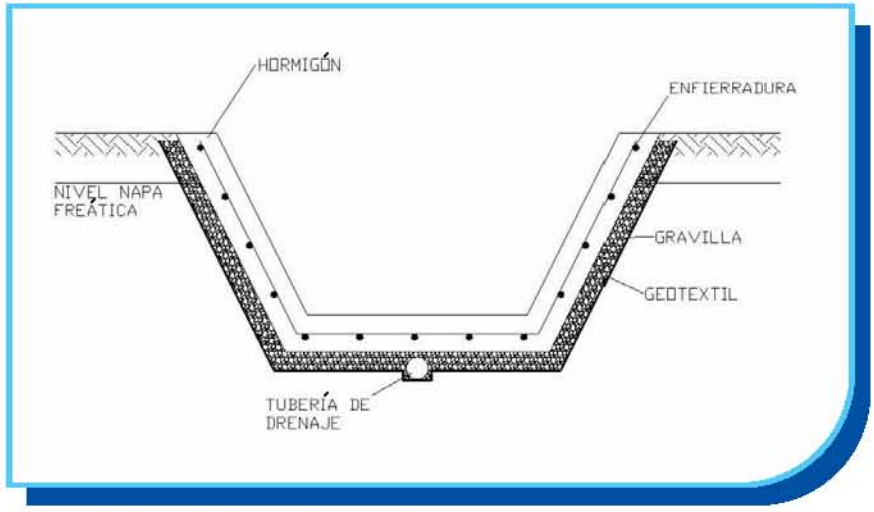


Figura 12. Sistemas de drenaje en canales.

Aspectos generales sobre el diseño hidráulico de canales

Caudal o Gasto: Es el volumen de líquido que pasa por una sección en la unidad de tiempo considerada. Ejemplo: l/s, l/min, m^3/seg.

Para un flujo uniforme y permanente, se expresa:

$$Q = V \times A$$

Q = Caudal (m^3/s)
V = Velocidad (m/s)
A = Área o sección (m^2)

La expresión más conocida y ampliamente usada por los diseñadores se conoce como *"fórmula de Manning"*

$$Q = \frac{1}{n} x\, R^{2/3}\, x\, S^{1/2}\, x\, A$$

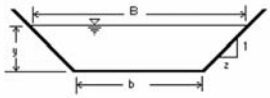
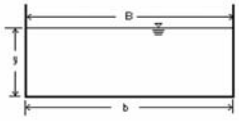
Q = Caudal (m^3/s)
n = Coeficiente de Rugosidad
S = Pendiente (m/m)
A = Área o sección (m^2)
R = Radio Hidráulico **(A / P)**

Además:

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:
A: Área o sección de escurrimiento, generalmente es la incógnita de diseño (m^2)
P: Perímetro mojado (m)

TABLA 5. Fórmulas de área, perímetro mojado y radio hidráulico para las secciones más comunes de canal revestido.

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio Hidráulico R	Ancho Espejo Aguas B
Trapezoidal 	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{(1+z^2)}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{(1+z^2)}}$	$b+2zy$
Rectangular 	$b \cdot y$	$b+2y$	$\frac{b \cdot y}{b+2y}$	b

Donde:
b: Ancho basal
y: Profundidad del flujo
z: Talud de las paredes

TABLA 6. Coeficiente de rugosidad o de Manning en canales revestidos.

Canales Revestidos		Mínimo	Medio	Máximo
Metal	Superficie lisa de acero corrugado	0,021	0,025	0,030
	Superficie lisa de acero sin pintar	0,011	0,012	0,014
Cemento	Superficie lisa	0,010	0,011	0,013
	Mortero	0,011	0,013	0,015
Hormigón	Platachado	0,011	0,013	0,015
	Alisado con regla	0,013	0,015	0,016
	Alisado con ripio a la vista en el fondo	0,015	0,017	0,020
Fondo de hormigón alisado con lados de:	Piedra acomodada en mortero	0,015	0,017	0,020
	Albañilería de piedra en bruto unida con cemento, enlucida	0,016	0,020	0,024
Albañilería	Empedrado cementado	0,017	0,025	0,030

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow.

TABLA 7. Coeficiente de rugosidad o de Manning en canales excavados y uniformes.

Canales Excavados y Uniformes		Mínimo	Medio	Máximo
Tierra, rectos y uniformes	Limpio recién terminado	0,016	0,018	0,020
	Limpio en uso	0,018	0,022	0,025
	Con pasto corto, poca maleza	0,022	0,027	0,033
Tierra con curvas y sin mantención	Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
	Con pasto y algo de maleza	0,025	0,030	0,033
	Gran cantidad de maleza o algas en canales profundos	0,030	0,035	0,040
	Fondo de tierra y lados de piedra en bruto	0,028	0,030	0,035
	Fondo de tierra y lados con maleza	0,025	0,035	0,040
	Fondo de guijarros y lados limpios	0,030	0,040	0,050
Excavado mecánicamente o dragado	Sin vegetación	0,025	0,028	0,033
	Lados con algo de vegetación y matorrales	0,035	0,050	0,060
Excavado en roca	Liso y uniforme	0,025	0,035	0,040
	Irregular, dentado	0,035	0,040	0,050
Canales sin mantención, malezas y matorrales sin cortar	Malezas densas de altura comparable con la profundidad del escurrimiento	0,050	0,080	0,120
	Fondo limpio, con matorrales en los lados	0,040	0,050	0,080
	Ídem, a niveles máximos de escurrimiento	0,045	0,070	0,110
	Matorrales densos a niveles altos de escurrimiento	0,080	0,100	0,140

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow. McGrawHill, 1994. 667 p.

TABLA 8. Coeficiente de rugosidad de Manning en otros materiales.

Material	n
Arcillo-limoso	0,020
Areno-arcilloso	0,020
Arenas-finas	0,020
Trumaos	0,020
Arenas gruesas	0,025
Piedra suelta	0,032
Geomembrana	0,012

Revancha o borde libre. Por el tipo de escurrimiento, se utiliza el criterio de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), que recomienda una revancha de 15% de la altura del agua, con un mínimo de 0,15 m y un máximo de 0,6 m.

Velocidad mínima. En general, para evitar el depósito de materiales en suspensión se recomienda diseñar un canal revestido con una velocidad mínima aceptable del orden de 0,7 a 1 m/s. En la tabla 5 se presenta las velocidades máximas para canales rectos.

TABLA 9. Velocidad máxima permisible en canales rectos.

Material	Velocidad (m/s)
Concreto	6,00
Roca en buen estado	4,50
Tosca	2,50
Ripio suelto	1,20
Tierra vegetal o arcillosa	1,00
Tierra arenosa	0,70
Arena	0,35

En canales de trazado sinuoso las velocidades máximas recomendadas deben reducirse para evitar socavación. Se recomiendan los siguientes porcentajes de reducción:

- Ligeramente sinuosos: 5%
- Moderadamente sinuosos: 13%
- Muy sinuosos: 22%

Transiciones

La transición en un canal es una estructura diseñada para cambiar la forma o el área de la sección transversal del flujo. La función de esta estructura es evitar pérdidas de energía excesivas, eliminar ondas cruzadas y otras turbulencias y dar seguridad a la estructura y al curso de agua.

Para tener una transición bien diseñada debe considerarse el ángulo máximo óptimo de 12,5° entre el eje del canal y la línea que conecte los lados del canal entre las secciones de entrada y de salida.

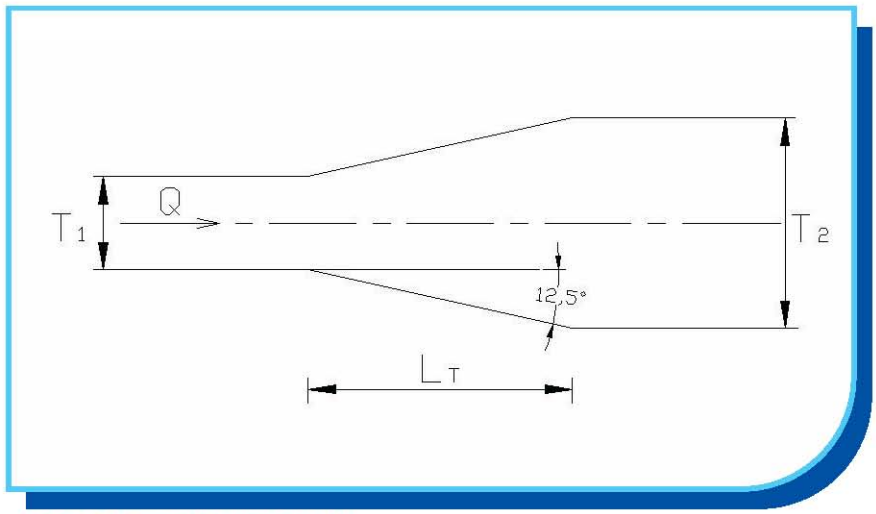


Figura 13. Transiciones en canales.

El largo de esta transición está dado por la siguiente expresión.

$$L_T = \frac{\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1)}{tan 12{,}5^\circ}$$

En el diseño de transiciones el nivel de aguas del canal inferior debe situarse bajo las del nivel de entrada, para no producir resaltos.

Además de los cálculos hidráulicos se debe hacer un completo análisis estructural de la obra, incluyendo los correspondientes estudios de mecánica de suelos.

6 Conducción Entubada

1. *Descripción de la obra*

Estas obras consisten en la utilización de tuberías para la conducción y distribución de agua. Es una tecnología muy difundida entre los pequeños productores, utilizando materiales como la tubería de polietileno de alta densidad y los tubos de PVC, que se comercializan en todo el país, en diámetros y espesores normalizados, lo cual facilita la instalación de válvulas, piezas especiales y derivaciones, con *fittings* del mismo material o de otros materiales (bronce, hierro fundido, fierro galvanizado, por ejemplo).

Este tipo de obras ofrece múltiples ventajas sobre las conducciones abiertas, entre ellas podemos mencionar las siguientes:

- Prevención de la contaminación emitida por el ser humano (desechos, basuras y aguas servidas arrojados a los canales de regadío).
- Reducción en los costos de mantenimiento (se evita la caída de material y se inhibe la existencia de algas).
- Se eliminan las pérdidas por evaporación e infiltración.

- Permite medir y controlar la entrega de agua a nivel predial.
- Además, si los sistemas son presurizados, se reducen o eliminan los costos energéticos para los regantes y abren posibilidades para realizar proyectos de generación hidroeléctrica.

2. *Tipos de conducción entubada*

Existen dos variantes de conducción entubada, la conducción presurizada y la conducción gravitacional.

a) La *conducción presurizada* consiste en transportar agua sometida a presión hidrostática, la que se puede obtener con la diferencia de cota entre el punto de captación (cota mayor) y punto de entrega (cota menor), o directamente desde una bomba impulsora, caso en que no es relevante la ubicación del punto de captación.

Este tipo de conducción tiene la ventaja de no necesitar un trazado con pendiente uniforme, ya que la tubería a presión puede seguir las irregularidades del terreno. En este tipo de conducción se aprovecha la presión que trae el fluido para reducir el gasto energético en sistemas de riego presurizado, por ejemplo aspersión o goteo.

b) La *conducción gravitacional entubada* consiste en transportar agua por medio de un acueducto o canal entubado con el fin de evitar pérdidas excesivas por filtraciones, cuando existe peligro constante de derrumbe de las paredes o en el caso en que la contaminación y desechos arrojados al canal provoquen severos problemas a la calidad de las aguas. En este tipo de conducción el agua no llena totalmente la tubería, de manera que ésta no queda sometida a presión hidrostática, además se requiere una pendiente regular del terreno.

3. *Componentes de la obra*

La obra de conducción entubada puede presentar todos o algunos de los siguientes componentes:

- Obra de toma.
- Tubería de conducción.
- Cámaras.
- Válvulas.

- La *obra de toma* es una obra civil, normalmente en hormigón armado, o estructura metálica con compuertas, diseñada para derivar el agua de riego desde un canal o tranque hacia la cámara de entrada de la tubería. En obras de menor envergadura (conducción simple, por ejemplo), esta estructura no existe, y entonces la tubería se conecta directamente a la fuente (tranques, canales o acequias), pasando a través de un simple pretil de tierra. En otros casos la toma puede ser una válvula de compuerta o válvula de mariposa que regula el flujo desde una tubería matriz. Para impedir el paso de objetos que puedan bloquear el ducto, es recomendable la instalación de rejillas de protección a la entrada de estas obras.

- La *tubería de conducción* es el componente principal de este tipo de obras. En el mercado existen tuberías fabricadas para su uso en conducción presurizada y tuberías destinadas exclusivamente a la conducción gravitacional. En las tablas 10 y 11 se presentan las características principales de distintos tipos de tuberías comercializadas en nuestro país.

TABLA 10. Dimensiones y presiones máximas para distintos tipos de tuberías a presión.

Tubo o Material	Diámetro Nominal	Presión máxima nominal (m.c.a.)	Aplicación
PVC Agrícola	200 a 400 mm	25	Cond. presurizada
PE Presión	1½" a 4"	60	Cond. presurizada
PVC Hidráulico	20 a 400 mm	100	Cond. presurizada
PVC Hidráulico	63 a 250 mm	160	Cond. presurizada
HDPE	50 a 1.200	80	Cond. presurizada
HDPE	20 a 560 mm	160	Cond. presurizada
HDPE	20 a 500 mm	200	Cond. presurizada

TABLA 11. Diámetros de tuberías para conducción gravitacional.

Tubo o Material	Diámetro Nominal	Presión máxima	Aplicación nominal (m.c.a.)
PVC Estructurada	250 a 800 mm	Atmosférica	Gravitacional
Cemento comprimido	300 a 1.000 mm	Atmosférica	Gravitacional
Acero corrugado	300 a 1.000 mm	Atmosférica	Gravitacional
HDPE Estructurada	63 a 1.200 mm	Atmosférica	Gravitacional

- Las *cámaras* se construyen normalmente en albañilería de ladrillo estucado, y llevan una tapa de hormigón tipo alcantarillado (caso de acueducto o tubería sin presión). Cuando la tubería está sometida a presión, las cámaras se construyen en acero o polietileno de alta densidad, ya que estos materiales cumplen mejor el requisito de estanqueidad. Según la posición en que están ubicadas y la función que cumplen, estas cámaras reciben distintos nombres: cámara de *entrada* (al inicio de la conducción); de *entrega* (para la distribución predial); de *vaciado* (se ubica en el punto más bajo de la conducción); y de *registro* (para la inspección y limpieza de la tubería en los tramos intermedios, normalmente cada 200-400 metros). Los sistemas de conducción simple no llevan cámaras.

- Las *válvulas* son dispositivos que permiten el control y regulación del flujo de agua en una red hidráulica. En los sistemas de conducción entubada, es común la utilización de los siguientes tipos de válvulas:

a) ***Válvula de corta o llave de paso***. En conducciones de pequeño diámetro se emplean válvulas de bola y de compuerta. En sistemas de gran diámetro se emplean válvulas Meplat y de mariposa.

b) ***Válvula de seguridad***. Permite la salida automática de cierta cantidad de agua, con el fin de evitar un aumento excesivo de la presión.

c) ***Válvula reductora de presión***. Produce una pérdida de carga localizada cuando la presión en la red sobrepasa el valor previsto.

d) ***Válvula de flotador***. Sirve para cortar el paso del agua en un depósito cuando el nivel del agua en el mismo alcanza una determinada altura.

e) ***Ventosa***. Las ventosas son válvulas que permiten la salida del aire presente en las conducciones de agua. Como regla general se debe tomar los siguientes criterios: instalar ventosas en todos los puntos altos del trazado; en los cambios de pendiente; y a lo menos cada 400 metros. El diámetro de entrada de la ventosa no debe ser inferior al 25% del diámetro interior de la tubería.

Consideraciones de Diseño

Conducción Gravitacional. Este tipo de conducción puede operar con flujo a sección llena o parcial. En la selección del tipo de tubería se deben considerar los siguientes aspectos:

- Caudal de diseño
- Pendiente del tramo
- Diámetro interno de la tubería
- Coeficiente de Manning

Para diseñar y calcular los sistemas de conducción gravitacional se utiliza, al igual que en los canales, la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} x\, R^{2/3}\ x\, S^{1/2}\ x\, A$$

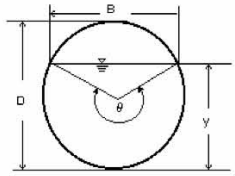
Q = Caudal (m^3/s)
n = Coeficiente de Rugosidad
R = Radio Hidráulico (A / P)
S = Pendiente (m/m)
A = Área o sección (m^2)
P = Perímetro mojado

Además:

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:
A: Área o sección de escurrimiento, generalmente es la incógnita de diseño (m^2)
P: Perímetro mojado (m)

TABLA 12. Fórmulas de área, perímetro mojado y radio hidráulico para la sección circular.

Área A	Área A	Perímetro mojado P	Radio Hidráulico R	Ancho Espejo Aguas B
	$\frac{1}{8}(\theta - sen\theta)D^2$	$\frac{1}{2}\theta \cdot D$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{sen\theta}{\theta}\right)D$	$2\sqrt{y(D-y)}$

Donde:
y: Profundidad del flujo D: Diámetro del tubo θ: Radianes

La sección de máxima eficiencia se da cuando y = 0.8D.

Al momento de seleccionar una tubería para conducción gravitacional se debe tener en cuenta que no se necesita una tubería de alta presión, cuyo costo es más elevado.

Conducción presurizada. En el diseño de la conducción presurizada se debe considerar el caudal máximo del sistema, el diámetro interno de la tubería, la velocidad del agua en el ducto y las pérdidas de carga debido a la fricción.

Para el cálculo del área se utiliza la siguiente expresión:

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

Donde:
A: Área (m^2)
D: Diámetro (m)
π: 3,14159

El caudal que circula por la tubería se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = A * V$$

Donde:
Q: Caudal (m^3/s)
A: Área (m^2)
V: Velocidad (m/s)

Por lo tanto la velocidad es una variable que depende del caudal y del diámetro de la tubería, y se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Para evaluar las pérdidas de carga se utiliza generalmente la fórmula de Hazen & Williams representada en la siguiente expresión:

$$J = 10.665 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.869}} * L$$

Donde:
J: Pérdida de carga (m.c.a.)
Q: Caudal (m^3/s)
D: Diámetro interno de la tubería (m)
C: Coeficiente de rugosidad (adimensional)
L: Longitud de la tubería (m)

Las tuberías deben calcularse de forma tal que la velocidad del agua se mantenga en el rango de 0,8 a 1,5 m/s, y excepcionalmente hasta los 2 m/s. Una velocidad superior a 2 m/s aumenta el riesgo de generar golpes de ariete. El golpe de ariete es un fenómeno conocido por la gente, porque se produce en las instalaciones de agua potable, en forma de martilleo, cuando se abre o cierra con rapidez una llave de paso en una tubería que conduzca agua a alta velocidad.

Algunos métodos para atenuar el golpe de ariete.

- En primer lugar, adoptar velocidades del fluido menores a 2 m/s.
- Calcular la sobrepresión e instalar una tubería suficientemente resistente. Si la sobrepresión es importante, este método conduce a una solución extraordinariamente cara. De todas formas, en cualquier caso, la tubería deberá resistir la sobrepresión y la depresión que se produzcan.
- Al aumentar el diámetro de la conducción, se reduce el valor de la velocidad y proporcionalmente los valores de sobrepresión y depresión. También es un método muy caro, pero se emplea con frecuencia en conducciones menores.
- Adoptar válvulas de cierre y apertura lentas.
- Adoptar válvulas de retención.
- Usar estanques hidroneumáticos.
- Instalar chimeneas de equilibrio, que consisten en un ducto vertical conectado a la tubería de conducción, de altura mayor que la equivalente a la presión que soporte la tubería.

TABLA 13. Coeficiente de rugosidad de Manning en tuberías.

Material	Coeficiente de Manning (n)
Tubería estructurada de HDPE	0,010
Tubería estructurada de PVC	0,009
Tubería de HDPE	0,009
Tubería de Hormigón	0,013

TABLA 14. Coeficiente de rugosidad Hazen & Williams.

Material	Coeficiente de rugosidad (c)
Tubería de PVC	150
Tubería de HDPE	150
Aluminio	130
Acero	140
Hormigón Vibrado	130
Polietileno	120
Polietileno (Plansa Vinilit)	150

4. Aplicaciones más corrientes

a. Conducción simple

La conducción simple mediante tuberías de plástico es una tecnología muy conocida y utilizada por los pequeños productores. En las tablas 15 y 16 se presenta la variación del caudal en función de la pendiente (desnivel en metros por 100 m) y el diámetro para dos tipos de tubería: polietileno corriente (PE) y PVC hidráulico, respectivamente.

Ejemplo: Se tiene un desnivel de 15 metros para un trazado de longitud 1.000 metros. ¿Cuál es el caudal máximo posible de conducir con tubería de PE corriente de 3"?

Pendiente (%) = Desnivel (m) / distancia (m) * 100 = 15/1000*100 = 1,5 %
Resp.: Hasta 3,2 l/s.

TABLA 15. Caudal en litros por segundo según diámetro y pendiente - Tubería PE corriente.

Pendiente (%)	PE 1”	PE 2”	PE 3”	PE 4”
0,5	0,08	0,6	1,8	5,5
1,0	0,14	0,9	2,6	8,3
1,5	0,17	1,1	3,2	10,0
2,0	0,19	1,3	3,8	12,5
5,0	0,33	2,2	6,1	18,0
10,0	0,50	3,3	9,0	27,5

Fuente: Catálogo General Rekdor S.A. (España). (1987).

TABLA 16. Caudal en litros por segundo, según diámetro, tipo de tubería y pendiente.

Pendiente (%)	Tubo PVC Hidráulico clase 4			Tubo Agrícola clase 2.5	
	D 110 mm	D 140 mm	D 200 mm	D 315 mm	D 400 mm
0,4	4	10	26	89	114
1,0	8	17	43	145	273
1,6	11	20	55	187*	352*
2,2	14	25	67	223*	418*
2,8	16	30	75	254*	476*
5,0	21	42	104	N.R.	N.R.

Fuente: Duratec-Vinilit S.A. Basado en fórmula de Hazen-Williams. (*) Velocidad superior a 2 m/s, se debe tomar precauciones. N.R. Uso no recomendado.

b. Conducción tipo alcantarillado o acueducto

Este tipo de obra consiste en reemplazar un tramo del canal por una tubería de gran diámetro, siendo muy común el uso de tubos de cemento comprimido, con base plana. Es muy utilizado este sistema en cruces de caminos con tráfico vehicular. Debido al elevado peso de estos tubos, y frente a obras emplazadas en lugares de difícil acceso o estrechez para las faenas de instalación, se puede optar por otros materiales que son más livianos y fáciles de instalar, aún cuando requieran asesoría especializada, como es el caso de los tubos de polietileno de alta densidad (HDPE), tubos de PVC, etc.

TABLA 17. Caudal y velocidad en sección completa, según Manning, para distintos diámetros de tubos de hormigón.

Pendiente m/m	Diámetro: 300 mm		Diámetro: 400 mm		Diámetro: 500 mm		Diámetro: 600 mm		Diámetro: 800 mm		Diámetro: 1000 mm	
	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V(m/s)	Q (l/s)	(m/s)
0,0015	37,5	0,53	80,7	0,64	146,2	0,74	237,8	0,84	512,1	1,02	928,6	1,18
0,0020	43,2	0,61	93,1	0,74	168,9	0,86	274,6	0,97	591,4	1,18	1072,2	1,37
0,0025	48,4	0,68	104,1	0,83	188,8	0,96	307,0	1,09	661,2	1,32	1198,8	1,53
0,0030	53,0	0,75	114,1	0,91	206,8	1,05	336,3	1,19	724,3	1,44	1313,2	1,67
0,0040	61,2	0,87	131,7	1,05	238,8	1,22	388,3	1,37	836,3	1,66	1516,4	1,93
0,0050	68,4	0,97	147,3	1,17	267,0	1,36	434,2	1,54	935,0	1,86	1695,3	2,16
0,0060	74,9	1,06	161,3	1,28	292,5	1,49	475,6	1,68	1024,3	2,04	1857,2	2,36
0,0070	80,9	1,14	174,2	1,39	315,9	1,61	513,7	1,82	1106,4	2,20	2006,0	2,55
0,0080	86,5	1,22	186,3	1,48	337,7	1,72	549,2	1,94	1182,7	2,35	2144,5	2,73
0,0090	91,7	1,30	197,6	1,57	358,2	1,82	582,5	2,06	1254,5	2,50	2274,5	2,90
0,0100	96,7	1,37	208,3	1,66	377,6	1,92	614,0	2,17	1322,4	2,63	2397,6	3,05
0,0120	105,9	1,50	228,1	1,82	413,6	2,11	672,6	2,38	1448,6	2,88	2626,4	3,34
0,0140	114,4	1,62	246,4	1,96	446,8	2,28	726,5	2,57	1564,6	3,11	2836,9	3,61
0,0160	122,3	1,73	263,4	2,10	477,6	2,43	776,7	2,75	1672,7	3,33	3032,7	3,86
0,0180	129,7	1,84	279,4	2,22	506,6	2,58	823,8	2,91	1774,1	3,53	3216,7	4,10
0,0200	136,8	1,93	294,5	2,34	534,0	2,72	868,3	3,07	1870,1	3,72	3390,7	4,32

Los valores destacados no son recomendables por encontrarse fuera del rango óptimo de velocidades al interior de tuberías.

Otro material utilizado en el transporte gravitacional son las tuberías estructurales de PVC, cuyo perfil estructurado, enrollado helicoidalmente le da una gran resistencia al aplastamiento, hermeticidad y bajo peso. Se suministra en tiras de 6 metros y su unión se realiza a través de adhesivo de secado lento para PVC.

TABLA 18. Caudal y velocidad en sección completa, según Manning, para distintos diámetros de tubería estructural de PVC.

Pendiente m/m	Diámetro: 250 mm		Diámetro: 300 mm		Diámetro: 400 mm		Diámetro: 500 mm		Diámetro: 600 mm		Diámetro: 800 mm	
	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V(m/s)	Q (l/s)	(m/s)
0,0015	33,3	0,7	54,1	0,8	116,5	0,9	211,2	1,1	343,5	1,2	739,8	1,5
0,0020	38,4	0,8	62,5	0,9	134,5	1,1	243,9	1,2	396,6	1,4	854,2	1,7
0,0025	42,9	0,9	69,8	1,0	150,4	1,2	272,7	1,4	443,5	1,6	955,0	1,9
0,0030	47,0	1,0	76,5	1,1	164,8	1,3	298,7	1,5	485,8	1,7	1046,2	2,1
0,0040	54,3	1,1	88,3	1,2	190,3	1,5	345,0	1,8	560,9	2,0	1208,0	2,4
0,0050	60,7	1,2	98,8	1,4	212,7	1,7	385,7	2,0	627,1	2,2	1350,6	2,7
0,0060	66,5	1,4	108,2	1,5	233,0	1,9	422,5	2,2	687,0	2,4	1479,5	2,9
0,0070	71,9	1,5	116,9	1,7	251,7	2,0	456,3	2,3	742,0	2,6	1598,1	3,2
0,0080	76,8	1,6	124,9	1,8	269,1	2,1	487,8	2,5	793,3	2,8	1708,4	3,4
0,0090	81,5	1,7	132,5	1,9	285,4	2,3	517,4	2,6	841,4	3,0	1812,0	3,6
0,0100	85,9	1,7	139,7	2,0	300,8	2,4	545,4	2,8	886,9	3,1	1910,1	3,8
0,0120	94,1	1,9	153,0	2,2	329,5	2,6	597,5	3,0	971,6	3,4	2092,4	4,2
0,0130	97,9	2,0	159,3	2,3	343,0	2,7	621,9	3,2	1011,2	3,6	2177,8	4,3

Los valores destacados no son recomendables por encontrarse fuera del rango óptimo de velocidades al interior de tuberías.

También existe en el mercado de la conducción gravitacional la tubería estructurada de HDPE. Ésta se fabrica en largos de 6 y 12 metros y admite varios tipos de unión de acuerdo a la aplicación (termofusión con aporte de material, campana con anillo de goma, electrofusión, unión roscada). Puede conectarse a redes o fittings de HDPE u otros materiales utilizando bridas y flanges de conexión.

TABLA 19. Caudal y velocidad en sección completa, según Manning, para distintos diámetros de tubería estructurada de HDPE.

Pendiente m/m	Diámetro: 400 mm		Diámetro: 600 mm		Diámetro: 800 mm		Diámetro: 900 mm		Diámetro: 1000 mm		Diámetro: 1200 mm	
	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)	Q (l/s)	V(m/s)	Q (l/s)	(m/s)
0,0015	105	0,8	309	1,1	666	1,3	911	1,4	1207	1,5	1963	1,7
0,0020	121	1,0	357	1,3	769	1,5	1052	1,7	1394	1,8	2267	2,0
0,0025	135	1,1	399	1,4	860	1,7	1177	1,8	1558	2,0	2534	2,2
0,0030	148	1,2	437	1,5	942	1,9	1289	2,0	1707	2,2	2776	2,5
0,0035	160	1,3	472	1,7	1017	2,0	1392	2,2	1844	2,3	2998	2,7
0,0040	171	1,4	505	1,8	1087	2,2	1488	2,3	1971	2,5	3206	2,8
0,0045	182	1,4	535	1,9	1153	2,3	1579	2,5	2091	2,7	3400	3,0
0,0050	191	1,5	564	2,0	1216	2,4	1664	2,6	2204	2,8	3584	3,2
0,0055	201	1,6	592	2,1	1275	2,5	1745	2,7	2312	2,9	3759	3,3
0,0060	210	1,7	618	2,2	1332	2,6	1823	2,9	2414	3,1	3926	3,5
0,0065	218	1,7	644	2,3	1386	2,8	1897	3,0	2513	3,2	4086	3,6
0,0070	227	1,8	668	2,4	1438	2,9	1969	3,1	2608	3,3	4240	3,7
0,0075	234	1,9	691	2,4	1489	3,0	2038	3,2	2699	3,4	4389	3,9
0,0080	242	1,9	714	2,5	1538	3,1	2105	3,3	2788	3,5	4533	4,0

Los valores destacados no son recomendables por encontrarse fuera del rango óptimo de velocidades al interior de tuberías.

c. Conducción presurizada

La conducción entubada es una solución técnica utilizada en los siguientes casos:

- Pequeñas vertientes ubicadas en lo alto de un cerro, donde la conducción es comúnmente a través de polietileno de baja densidad, conocido comúnmente como Plansa.
- Conducción y distribución de aguas de riego en sistemas de baja presión, utilizando las tuberías de PVC agrícola en sistemas de riego californiano.
- Conducción y distribución de aguas desde estanques y tranques acumuladores mediante tuberías de PVC hidráulico o tubería de HDPE.
- Conducción de aguas mediante impulsión mecánica.

d. Conducción entubada con entregas prediales

La conducción entubada con cámaras de entrega predial se plantea como una solución frente a dos tipos de problema: a) filtraciones en canales abiertos, con pérdidas excesivas; y b) baja eficiencia en la distribución de un caudal pequeño entre muchos regantes.

En el caso particular de los sistemas de riego con elevación mecánica desde pozos, canales o tranques, la tendencia actual es ir reemplazando la conducción abierta por tuberías. De esta manera se eliminan las pérdidas por conducción y se riega una mayor superficie con el caudal disponible, lo cual reduce fuertemente el costo de operación por hectárea regada.

5. Obras tipo de conducción entubada

A continuación se entrega las características y especificaciones de diversas obras de conducción entubada:

- **Obra tipo I:** Conducción simple con tubo PVC clase 4. Los componentes principales son: A) Una cámara de entrada en albañilería de ladrillo, con dimensiones 0,60 x 0,60 x 1,20. B) Tubo agrícola de diámetro 200 mm. C) Un collarín de arranque con una llave de paso. Los datos del diseño son los siguientes: caudal máximo 60 l/s; pendiente 2%; longitud total del trazado 300 m.

- **Obra tipo II:** Acueducto con tubería de HDPE. Los componentes principales son: A) Obra de toma en polietileno de alta densidad; B) Cuatro cámaras de registro en polietileno de alta densidad; C) Tubo diámetro 400 mm. Los datos del diseño son los siguientes: caudal máximo 150 l/s; pendiente 0,5%; longitud total del trazado 600 m.

- **Obra tipo III:** Conducción entubada y válvulas de entrega predial, con tubería de PVC hidráulico. Los componentes principales son: A) Una obra de toma en hormigón armado; B) Tres cámaras de registro en acero, con dimensiones 0,60 x 0,60 x 1,20. C) Dos válvulas Meplat 250 mm; D) Tubo de PVC hidráulico clase 4 y diámetro 250 mm; E) Dos ventosas. Los datos del diseño son los siguientes: caudal máximo 100 l/s; pendiente 1,5%; longitud total del trazado 600 m.

7 Canoas

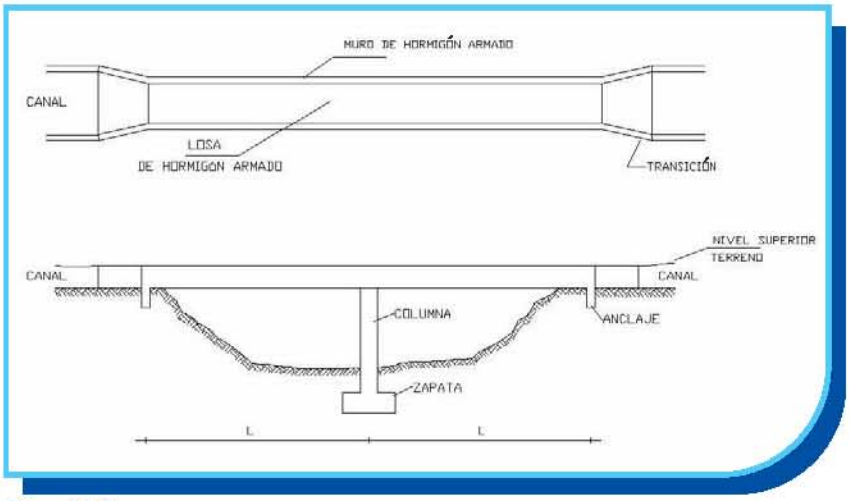


Figura 14. Canoa.

1. Descripción de la obra

La canoa es una estructura hidráulica que sirve para cruzar una depresión del terreno que corta el paso de un canal, con características similares a las de un puente por donde pasa el agua del canal o acequia. Esta depresión del terreno puede ser un cauce natural (esteros, quebradas) o artificial (otro canal o acequia).

Para el diseño de estas estructuras se debe considerar una pendiente similar a la que tiene el canal funcionando con altura normal y una velocidad del agua que impida la sedimentación en el fondo de la canoa.

2. Componentes de la obra

La canoa consiste básicamente en los siguientes elementos:

- Cámaras de transición (entrada y salida).
- Sección principal (la canoa propiamente tal).
- Columnas y pilares.
- Anclajes y zapatas.

Cámaras de transición. La obra de entrada y salida en general consisten en una transición de mayor ancho que la sección de la canoa, construida en hormigón armado. Estas transiciones

se diseñan con el mismo método utilizado para las transiciones en los canales, cuyo largo esta dado por la siguiente expresión:

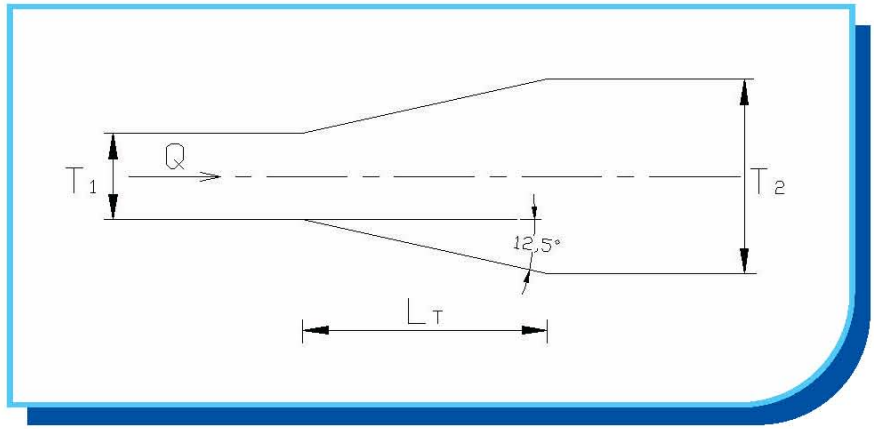


Figura 15. Transiciones en canoas.

El largo de esta transición está dado por la siguiente expresión.

$$L_T = \frac{\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1)}{tan 12{,}5^o}$$

En el diseño de transiciones, el nivel de aguas del canal inferior debe situarse bajo el nivel del agua en la entrada, para no producir resaltos.

Sección Principal. Es la *canoa* propiamente tal. Es una estructura de conducción uniforme, similar a un tramo de canal revestido, muchas veces de gran peso y volumen de material (p. ej.: hormigón armado), la cual se soporta en los extremos (estribos), ya sea simplemente apoyada o empotrada.

Las canoas empotradas se utilizan generalmente en longitudes menores a 5 metros y las simplemente apoyadas para mayores longitudes y en casos de utilizar materiales afectos a dilatación térmica.

Pilares. Son los elementos que soportan el peso y las solicitaciones de una viga (canoa, en este caso). Normalmente se construyen en hormigón armado y se intercalan en el tramo intermedio entre los dos estribos, a la distancia indicada según el cálculo estructural de la canoa. Estos pilares deben descansar sobre zapatas de fundación.

Anclajes y zapatas. Los anclajes son construidos en hormigón, y su función es entregar mayor estabilidad a la construcción, evitando las socavaciones a la entrada y salida de la canoa. Las zapatas son las bases de hormigón que están en contacto con el terreno natural, y sobre las cuales descansan los pilares que sostienen la sección principal.

3. Normas de diseño y construcción

- La velocidad del flujo en la canoa debe mantenerse entre 1 y 3 m/s, con el objeto de evitar la sedimentación en la canoa. Si por alguna razón la velocidad alcanza un valor de 5 m/s, se debe considerar la instalación de disipadores de energía al final de la obra. Se recomienda que la velocidad no exceda el valor crítico.
- La canoa debe ser lo más ancha posible para evitar su obstrucción con elementos como troncos y/o basuras de gran tamaño.
- Previo al diseño se debe realizar un acabado análisis hidráulico del canal.
- Se debe construir un pedraplén cuando la canoa descarga directamente en un canal de tierra. Esto evita la erosión del canal.
- Se debe considerar la estabilidad del suelo en los extremos de la canoa, para lo cual se debe extraer el material orgánico y compactar el suelo.
- Los elementos de construcción de la canoa deben ser capaces de soportar su propio peso, el peso y la presión del agua, tránsito de personas y animales, sismos, vientos y los cambios de temperatura.

En el diseño estructural de la canoa se deben presentar los siguientes cálculos estructurales:

- Diseño y cálculo estructural del piso.
- Diseño y cálculo estructural de las paredes.
- Diseño y cálculo estructural de los pilares.
- Diseño y cálculo estructural de las zapatas.
- Juntas de dilatación.

Aplicaciones más corrientes y materiales empleados

Es una obra común en todo el valle regado entre las regiones de Valparaíso y del Biobío, y tiene gran importancia en la conducción y distribución de las aguas de riego en comunidades de aguas. Con mucha frecuencia, encontramos canoas fabricadas en madera de pino sin tratar o canoas

confeccionadas con tambores de latón. Este tipo de soluciones artesanales se deterioran con facilidad, y al cabo de unos años, colapsan.

Resulta mucho más económico invertir en estructuras de mayor duración, como son las canoas de hormigón armado y las de *media caña* de acero corrugado[2]. Este último tipo de canoas se utiliza para tramos cortos y caudales no superiores a 200 l/s.

Es importante mencionar la legislación vigente en torno a la construcción de ciertas obras hidráulicas (cuadro 1).

Cuadro 1. Legislación en la construcción de ciertas obras hidráulicas.

Del Código de Aguas:
LIBRO TERCERO
Título I
DE LA CONSTRUCCIÓN DE CIERTAS OBRAS HIDRÁULICAS

Art. 294. Requerirán la aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo al procedimiento indicado en el Título del Libro Segundo, la construcción de las siguientes obras:

a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5 metros de altura;
b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo;
c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite, y
d) Los sifones y canoas que crucen cauces naturales.

Quedan exceptuados de cumplir los trámites y requisitos a que se refiere este artículo, los Servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, los cuales deberán remitir los proyectos de obras a la Dirección General de Aguas, para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

Art. 295. La Dirección General de Aguas otorgará la autorización una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas.

Un reglamento especial fijará las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de dichas obras.

De la Ley 19.300

LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE

Artículo 10. Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, son los siguientes: a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas;

2 El acero corrugado se comercializa en planchas curvas, las que se unen con pernos para formar cilindros o tubos continuos, comúnmente empleados en las alcantarillas de obras viales.

8 Sifón

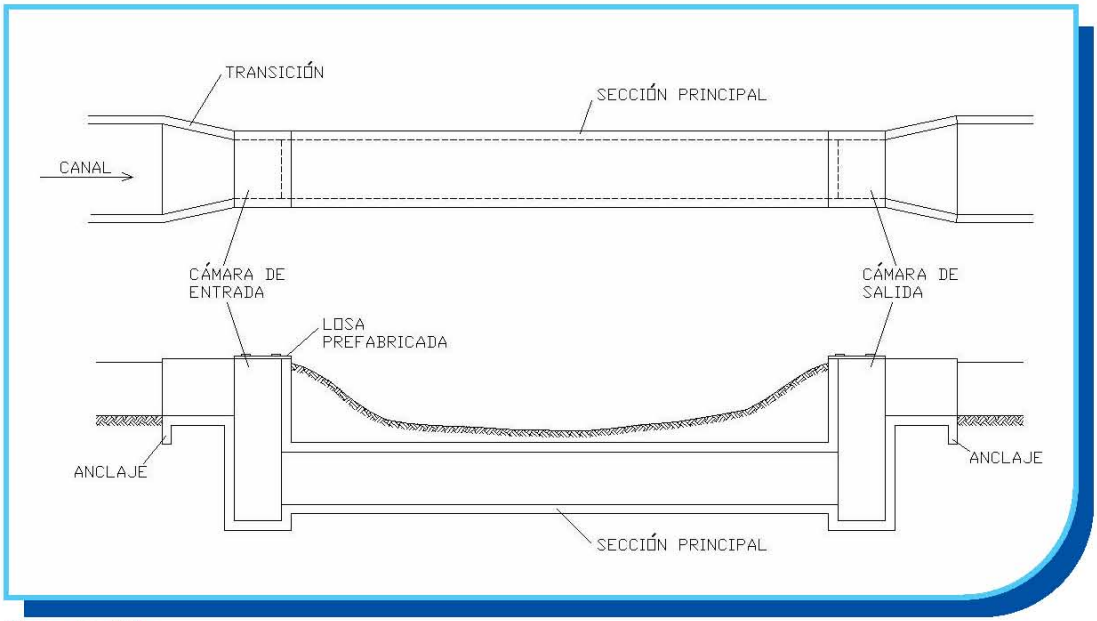


Figura 16. Sifón.

1. *Descripción de la obra*

El sifón es una obra de conducción de agua que permite atravesar, por medio de tuberías, un obstáculo que se desea salvar, ya sea éste un canal, camino, cauce natural, quebrada, etc. La tubería está sometida a presión en toda su longitud, alcanzando el valor máximo en el punto más bajo del sifón.

Entre el punto de entrada y el de salida del sifón, debe existir una diferencia de cota para que exista flujo de agua, además se deben considerar las pérdidas de carga debido al roce del agua con las paredes del tubo y las pérdidas producidas por las transiciones propias de la obra.

2. *Componentes de la obra*

El sifón consiste básicamente en los siguientes elementos:

- Cámaras de entrada y salida.
- Sección principal (tubería).
- Anclajes.

Las cámaras de entrada y salida pueden ser obras construidas en albañilería, hormigón armado, losetas prefabricadas u otros materiales resistentes y de baja rugosidad. Su función es tomar las aguas desde un canal para encauzarlas a la entrada de la tubería del sifón, reduciendo al máximo la pérdida de energía que se genera y minimizando las turbulencias y erosión. Por lo tanto actúan como estructuras de transición. El diseño de estas cámaras incluye un pozo de decantación para detener el material de arrastre grueso que pueda entrar al sifón. Es recomendable la instalación de rejas para evitar el paso de objetos de mayor tamaño.

La sección principal consiste en una tubería de PVC rígido cuando los caudales no exceden de 300 litros por segundo y el terreno es adecuado para su instalación. Para caudales mayores o en caso de condiciones extremas del terreno, se prefiere utilizar otros materiales, tales como: tubería de acero soldado; y tubos de cemento comprimido, preferentemente de base plana. En el caso de instalar tuberías de hormigón se debe considerar que las presiones al interior del ducto no deben superar los 9 m.c.a.

Los anclajes son secciones de hormigón armado o vigas que se entierran en el suelo con el objeto de dar la estabilidad necesaria a la estructura de las cámaras de entrada y salida, como también a la sección principal.

Para el adecuado diseño de un sifón se debe contar con el plano topográfico del sector, y si el diseño lo requiriera, analizar los parámetros mecánicos del suelo como ángulo de fricción, densidad, tensión admisible del suelo, etc.

3. *Parámetros de diseño*

Se deben considerar los siguientes parámetros de diseño:

- ***Caudal del canal***. Máximo y mínimo.
- ***Disponibilidad de carga***. Está dada por la diferencia de cota entre los niveles de entrada y salida de agua.
- ***Pérdidas de carga***. Se deben considerar las pérdidas de carga producidas en las transiciones, cámara de entrada y por roce al interior del ducto. Se debe tener en cuenta la disminución de la velocidad del agua debido a la fricción dentro de la tubería, ya que se pueden generar problemas de embanque.
- ***Longitud del ducto***. En general no debe ser mayor a 20 metros, en caso de superar esta longitud, se debe realizar un estudio detallado del caso.
- ***Velocidad***. Se deben considerar las velocidades de sedimentación y arrastre de partículas. En general se recomienda una velocidad no inferior a 2,5 m/s al interior del ducto.
- ***Materiales de construcción***. Estos influyen directamente en los costos, criterios constructivos y mantenimiento. Tienen distintos coeficientes de rugosidad, lo que influye directamente en la velocidad del flujo.

4. *Aplicaciones más corrientes*

Es una estructura común en los sistemas de conducción y distribución extrapredial, como una solución de cruce de caminos, esteros, quebradas y también de canales de mayor envergadura. En los dos últimos casos, cuando se atraviesan cauces, es recomendable estudiar también la posibilidad de construir una canoa, comparando los costos y los materiales más adecuados al tipo de terreno.

Antes de ejecutar una obra de este tipo, al igual que las canoas, se debe considerar el artículo 294 letra d), del Código de Aguas y el artículo 10 letra a), de la ley 19.300, Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

5. *Presupuesto detallado de la obra.*

Por tratarse de una obra lineal, donde el costo por metro lineal se multiplica por la longitud de la obra principal (tubería), se debe presentar un análisis de precios unitarios para las siguientes partidas de obras:

- Estudio topográfico. Costo de nivelación por kilómetro de trazado.
- Replanteo topográfico. Normalmente, como ítem global.
- Excavaciones a mano. Costo por m3. Especificar tipo de terreno.
- Excavaciones con máquina. Costo por m3. Especificar tipo de maquinaria.
- Colocación de tubería de gran diámetro. Costo por metro lineal. Especificar tipo, clase, diámetro.
- Obras de transición (entrada y salida).

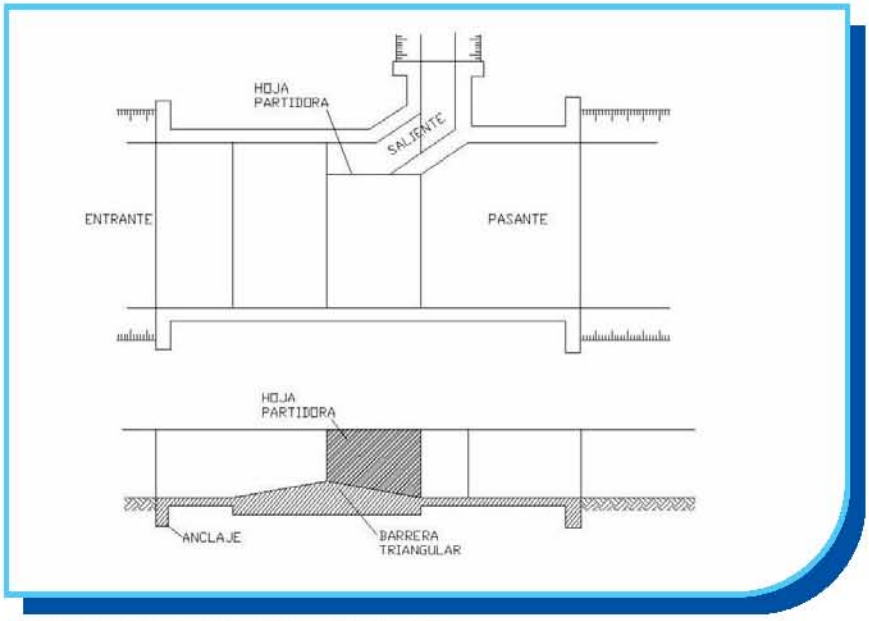


Figura 17. Marco partidor de barrera triangular.

1. *Descripción de la obra*

El marco partidor es una estructura hidráulica que sirve para dividir aguas de diversos propietarios en un canal de riego. El reparto de aguas se hace en forma proporcional a las acciones o derechos de aprovechamiento de cada regante.

Para que esta obra de partición proporcional funcione correctamente se debe lograr una altura constante de las aguas, en un instante dado, a todo lo ancho de la sección del marco. Esto implica que la base de la obra debe estar perfectamente nivelada.

2. *Componentes de la obra*

El marco partidor consta básicamente de tres partes:

- La barrera.
- La hoja partidora.
- El cuerpo o estructura.

La *barrera* es un vertedero de base ancha, normalmente de sección rectangular, que atraviesa perpendicularmente la sección del marco. Se diseña para producir el escurrimiento crítico en las aguas que se quiere dividir.

La *hoja partidora* o "aguja" de partición se construye con una lámina de fierro que enfrenta las aguas que se quiere dividir en forma proporcional.

El *cuerpo* del marco es la estructura soportante de la obra, consiste en un piso, paredes y aletas de transición. Actualmente el material más utilizado es el hormigón armado.

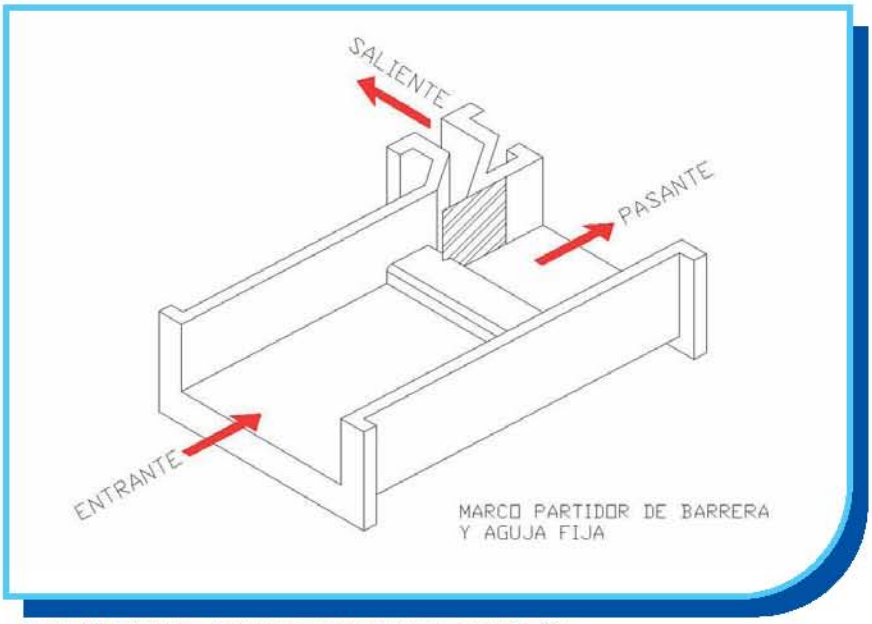


Figura 18. Estructura de marco partidor de barrera y aguja fija.

3. *Aplicaciones más frecuentes*

Este tipo de estructuras se utiliza corrientemente en los canales que no están sometidos a un régimen de turnos y se adapta a la gran variabilidad de los caudales captados en los ríos. Para su aplicación es necesario conocer los derechos de cada uno de los regantes y la proporción de éstos respecto del total.

Los marcos partidores forman parte de los proyectos de mejoramiento de canales y obras de distribución extrapredial que comúnmente se presentan a los concursos de la Ley de Riego. Pero como se trata de obras de bajo costo, también se pueden solicitar como una solución puntual en canales derivados que presenten conflictos por el reparto de las aguas.

Los marcos partidores más conocidos son los marcos de *barrera rectangular*, pero presenta la desventaja de la disminución paulatina de la velocidad hacia las paredes, lo que impide hacer que los derivados tengan en la sección de partición anchos proporcionales a los derechos. Sin embargo, en la actualidad el diseño preferido se basa en una *barrera triangular*, técnicamente denominado marco repartidor de resalto, cuya barrera de sección triangular en la dirección del escurrimiento, permite anchos proporcionales a los derechos.

Un caso especial de partidor se da cuando se necesita extraer un derecho muy pequeño con relación al caudal total que conduce un canal (p. ej.: un 10% de los derechos). En este caso, no resulta colocar una punta partidora con un saliente tan pequeño, ya que las ramas, hojas y basura que flotan en el canal quedarían rápidamente atrapados en la hoja partidora. En estos casos conviene colocar dicho saliente en forma de una *ranura o boquera lateral*. Esta boquera se dispone como un vertedero de pared gruesa con entrada redondeada.

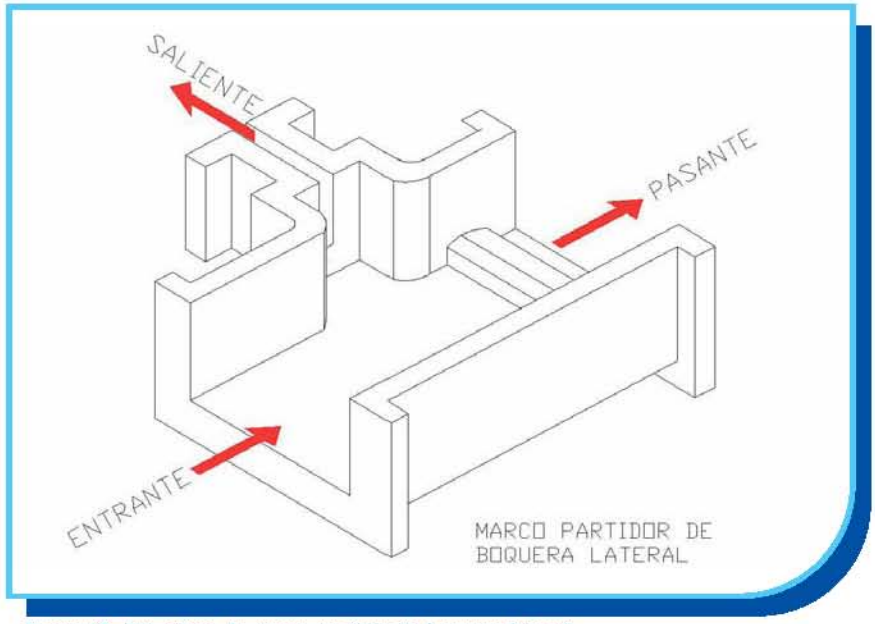


Figura 19. Estructura de marco partidor de boquera *lateral*.

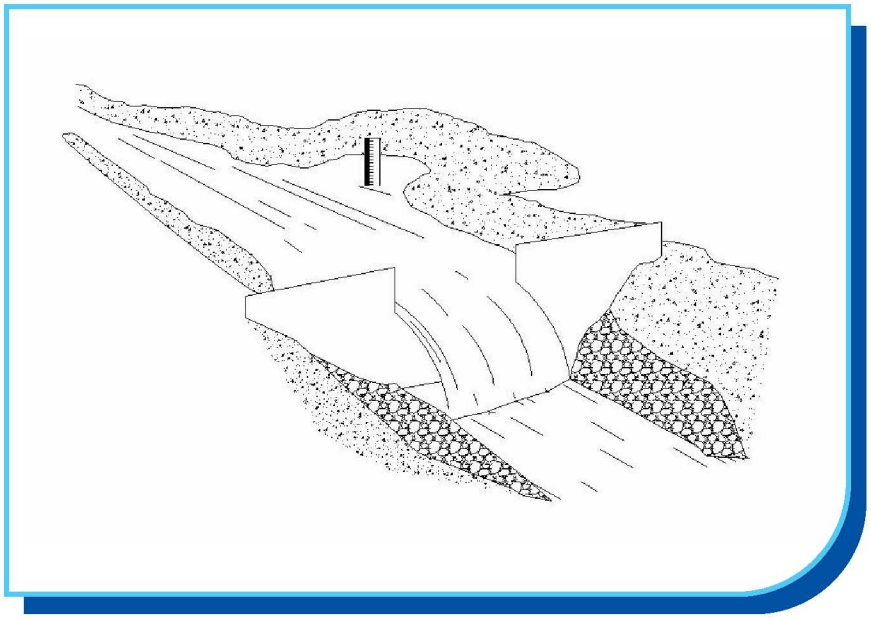


Figura 20. Instalación de vertedero rectangular de cresta viva.

1. *Definición de la obra*

Los aforadores son estructuras especiales de medición de caudal en canales abiertos. Se utilizan básicamente tres tipos de estructuras: los *vertederos*, la *canoa Parshall* y la *canoa aforadora de fondo plano*.

En este capítulo describiremos más detalladamente los vertederos, ya que son estructuras de bajo costo y fácil instalación, que se instalan en el interior del canal, en perpendicular al flujo de agua. Los de mayor uso son los vertederos de cresta viva, con tres tipos de sección: triangular, rectangular, trapezoidal (llamado también vertedero *Cipolletti*).

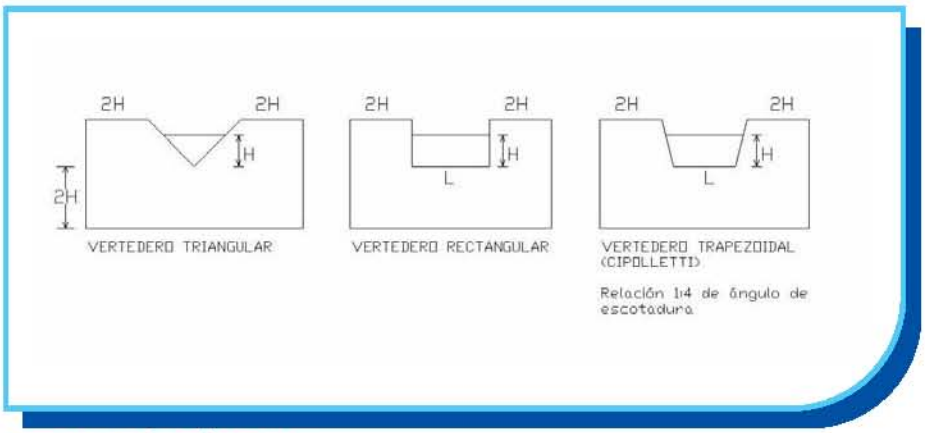


Figura 21. Vertederos de cresta viva.

Pasos a seguir para la instalación de los vertederos:

- Buscar y despejar un tramo recto de canal, de por lo menos 10 veces el ancho de la cresta.
- La cresta y las paredes por las que se derrame el agua deben ser agudas y de un espesor inferior a ¾ de pulgada. Si está hecho en madera, los bordes deben ser biselados.
- La velocidad del agua que se aproxima al vertedero debe ser lenta, en lo posible inferior a 0,15 m/s.
- La distancia entre la cresta y el fondo del canal, debe ser superior a dos veces la carga de agua (H) que se desea leer. La distancia desde las paredes del canal a la abertura del flujo del vertedero debe ser también superior a dos veces la carga.
- Instalar una estaca a 1,5 m aguas arriba del vertedero, dejando su extremo superior al nivel de la cresta del vertedero. Luego se instala en esta estaca, una regla graduada, donde posteriormente se medirá la altura del agua.

De los tres tipos de vertederos mencionados, el triangular es el más preciso para medir pequeños caudales. El vertedero triangular de 90º (Tabla 20) es el más recomendable ya que con sólo medir la altura de agua se puede conocer el caudal, debiendo tomar en consideración lo siguiente:

- La altura no debe ser inferior a 6 cm para el caudal previsto y no debe exceder de 60 cm.
- Para vertederos rectangulares y trapeciales, la altura no debe exceder de un tercio de la longitud del vertedero.

Para el cálculo del caudal se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = 1.40 * H^{5/2} * 1000$$

Donde:
H es la altura del agua en el vertedero, expresada en metros.

Tabla 20. Caudales (l/s) para un vertedero triangular de 90º.

H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)
0,04	0,4	0,20	25,0
0,05	0,8	0,22	31,8
0,06	1,2	0,24	39,5
0,07	1,8	0,26	48,3
0,08	2,5	0,28	58,1
0,09	3,4	0,30	69,0
0,10	4,4	0,32	81,1
0,12	7,0	0,34	94,4
0,14	10,3	0,36	108,9
0,16	14,3	0,38	124,6
0,18	19,2	0,40	141,7

Para el vertedero Trapezoidal o Cipolletti, el caudal se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 1.859 * L * H^{3/2}$$

Donde:
Q: Caudal (l/s).
L: Largo de la cresta (m).
H: Altura de carga de agua (m).

Para el vertedero Rectangular, el caudal se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 184 * (L - 0.2 * H) * H^{3/2} * 1000$$

Donde:
Q: Caudal (l/s).
L: Largo de la cresta (m).
H: Altura de carga de agua (m).

La *canoa Parshall* es una estructura de aforo que no necesita caída libre del agua y no produce elevación del nivel del agua en el canal, por lo que se adapta a canales de poca profundidad y poca pendiente. Las mediciones de caudal con esta canoa son muy precisas y no se ven afectadas por los cambios en la velocidad del agua en el canal. Actualmente existen en el mercado canoas Parshall de fibra de vidrio, de bajo costo y fáciles de instalar, capaces de medir caudales que van desde los 0,2 hasta 1.250 l/s. De manera opcional se les puede incorporar indicadores y registradores electrónicos disponibles en el mercado.

La *canoa aforadora de fondo plano horizontal* corresponde en realidad a una modificación del diseño de la canoa Parshall.

2. *Componentes de la obra*

Por tratarse de estructuras muy pequeñas, los detalles de construcción se presentan en los planos de diseño.

3. *Aplicaciones más corrientes*

Debido al sistema de distribución proporcional de los derechos de aguas, que se lleva a cabo a través de los marcos partidores, los caudales de entrega a puerta de predio son muy variables. La cantidad de agua varía a lo largo de la temporada de riego e, incluso, a lo largo del día, en la misma proporción en que varía el caudal en la fuente principal (río o estero). La única forma de conocer la disponibilidad real de agua para el riego es realizando aforos.

El uso de aforadores es una práctica que se ha extendido últimamente en la red de canales terciarios y derivados, particularmente en aquellos sistemas con un número muy elevado de regantes. Conociendo el caudal disponible en un período dado (mes, semana o día) se puede planificar la superficie de cultivo, programar los riegos y manejar el agua durante los períodos en que hay déficit por los ciclos de sequía tan comunes en nuestro país.

11 Compuerta

1. *Descripción de la obra*

Es una estructura hidráulica utilizada en todo tipo de canales para controlar el flujo de agua. Las compuertas de admisión permiten la entrada del agua a un canal o derivado. Las compuertas de descarga pertenecientes al canal propiamente tal tienen por finalidad proteger tanto al canal como a las obras de lluvias de invierno que entran al cauce y también permitir aislar determinados sectores del sistema en casos que se produzcan accidentes.

Las compuertas de descarga pueden ser de dos tipos:

a) De descarga total. Son las que permiten cortar y vaciar totalmente el canal y que consisten en la mayor parte de los casos de compuertas frontales al canal que permiten aislar la parte situada aguas abajo y compuertas laterales que permiten extraer del canal el gasto existente aguas arriba.

b) De descarga parcial. Son las que sólo cuentan con una o más compuertas laterales que permiten vaciar una parte del gasto que lleva el canal.

Las compuertas pueden ser sistemas con hojas metálicas, tornillos y mecanismos de accionamiento mecánico o simplemente tablones que pueden ser colocados o removidos manualmente. La mayoría de las compuertas se instalan en perfiles empotrados en marcos de hormigón armado. Se denomina compuerta tipo jardín aquéllas de tamaño muy reducido (40 cm de ancho), que por su peso reducido pueden ser removidas manualmente.

2. *Aplicaciones más frecuentes*

Las compuertas se utilizan en los sistemas de riego extrapredial, a lo largo del país, son de construcción muy variada, dependiendo del ancho y altura del canal. Forman parte de las obras de mejoramiento del riego en todos los proyectos comunitarios.

3. *Presupuesto o cotización*

Las obras de arte (sifón, canoa, caída vertical o inclinada, alcantarilla, compuerta) se cotizan por unidad, adjuntando el análisis de precios unitarios que debe incluir el precio de todos los materiales, la cubicación justificada en un plano, y el rendimiento de la mano de obra, equipos o maquinaria empleados en su fabricación.

- TRANQUE ACUMULADOR
- ESTANQUES

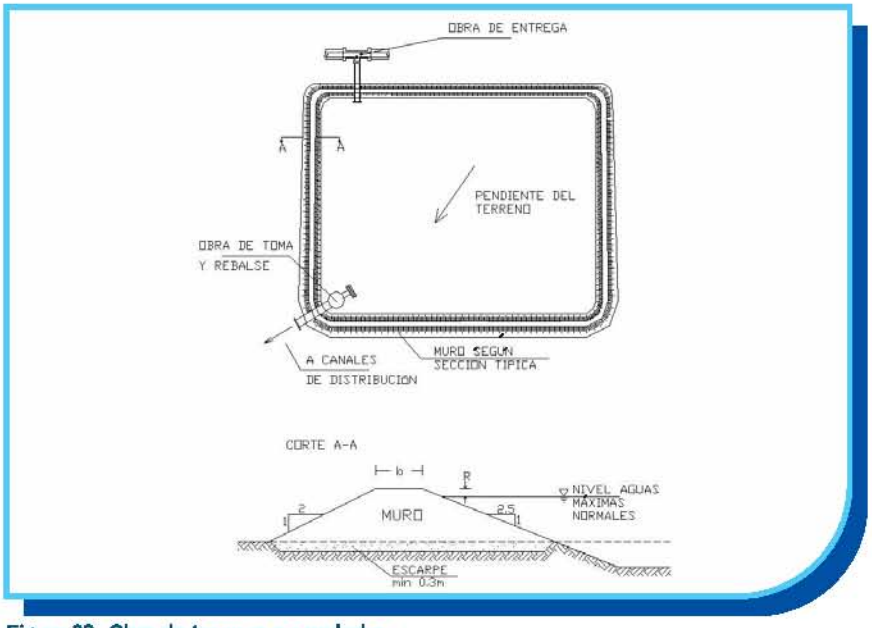


Figura 22. Obra de tranque acumulador.

1. Definición de la obra

El tranque acumulador es un embalse de regulación corta, destinado a almacenar aguas de riego con el objeto de abastecer y regular el consumo de uno o más predios, especialmente cuando el canal esté sometido a turnos de entrega.

En los acumuladores nocturnos se almacena el agua durante la noche y se utiliza al día siguiente con mayor eficiencia, ya que se evita las enormes pérdidas de agua asociadas al riego nocturno. Se acumula agua durante 12 ó 14 horas para entregarla en 10 ó 12 horas de riego diurno efectivo. Los tranques de acumulación de fin de semana además de almacenar durante la noche, acumulan agua durante las 24 horas del día domingo para entregarla en forma diurna durante los seis días siguientes.

Los tranques permiten el establecimiento de sistemas de riego más eficientes y controlados.

2. Componentes de la obra

Los tranques o acumuladores se componen generalmente de las siguientes obras:

- Decantador.
- Poza de inundación.
- Muros.
- Obras de entrega.
- Obras de toma y rebalse.

Decantador. Obra diseñada a la entrada del acumulador para reducir la velocidad del agua, durante un intervalo suficiente para que las partículas suspendidas en ésta se depositen gravitacionalmente, evitando así una acumulación excesiva de sedimentos al interior del tranque.

Poza de inundación. Es la cavidad donde se acumula el agua de riego en el tranque. Normalmente, la poza se excava en la zona que quedará inundada y en su perímetro se construyen los muros del tranque, aprovechando la tierra proveniente de los cortes del terreno como material de relleno.

Muros. Los muros se construyen de tierra, de sección trapezoidal, con un ancho mínimo de 2 metros en la parte superior o coronamiento, y un talud mínimo de 2:1.

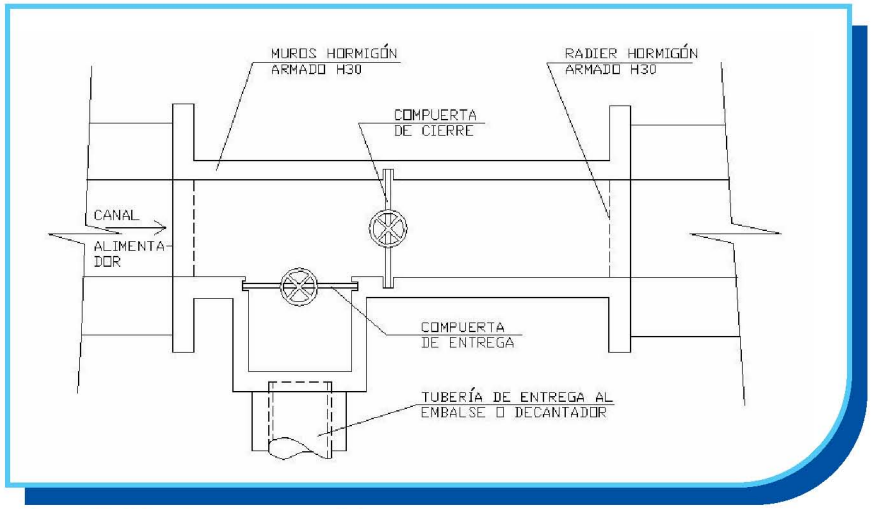


Figura 23. Obra de entrega a embalse.

Obras de entrega. Para tranques pequeños, la obra de entrega más usada es una estructura de derivación con compuertas, que entrega el agua directamente desde el canal alimentador hacia el tranque.

Obras de toma y rebalse. Estas obras consisten en una estructura común para descargar agua desde el tranque al canal de riego o tubería de distribución y para evacuar los excesos de agua desde el tranque. La obra más comúnmente utilizada consiste en una canalización de hormigón armado que corta el muro del tranque, con una compuerta de fondo sobre la cual se construye una cortina que actúa como rebalse. En muchos casos, falta la obra de rebalse en el tranque mismo, y la obra de toma consiste simplemente en una tubería (PVC o cemento comprimido) que atraviesa el muro.

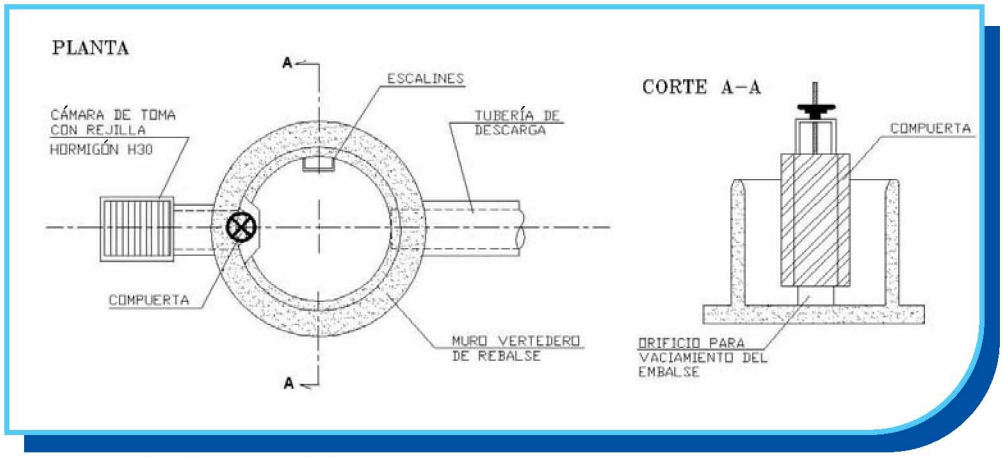


Figura 24. Obra de toma y rebalse.

Los tranques pueden tener variadas formas, siendo las más comunes los de forma rectangular y cuadrada. La forma de los tranques depende de su ubicación en el predio y también de la topografía que presente el terreno en el sector más elevado del predio. Es indispensable contar con un plano topográfico a escala adecuada (1:500 para tranques pequeños) con curvas de nivel cada 50 cm.

3. *Normas y criterios para el diseño y construcción de tranques*

Volumen de embalse. Se debe calcular el volumen posible de acumular con el caudal disponible en el predio por el período en que éste se entrega. Por ejemplo, un caudal de 50 l/s acumulados durante 5 horas, equivale a un volumen de 900 m^3. En los acumuladores nocturnos se considera un tiempo de embalse de 14 horas. A este volumen calculado se debe agregar un 15% para considerar las pérdidas que se producen por el embanque natural. En el cuadro 9 se presenta los volúmenes de embalse calculados según la duración de los turnos para diferentes caudales de entrega.

TABLA 21. Volumen bruto de embalse en tranques acumuladores

Caudal Continuo (l/s)	VOLUMEN BRUTO DE EMBALSE (m^3)		
	Turno 1 hora	Turno 5 horas	Regulación nocturna (14 horas)
10	36	180	504
25	90	450	1.260
50	180	900	2.520
100	360	1.800	5.040
200	720	3.600	10.080

Profundidad mínima. La profundidad mínima del agua en el tranque deberá ser de 50 cm con lo cual se evita el crecimiento de malezas en el fondo.

Dimensiones a considerar para la construcción de un tranque acumulador

Altura del muro. La altura total del muro está definida por:

$$H = hv + hr + R$$

Donde:
H: Altura del muro, (m)
hv: Altura del volumen útil + volumen muerto (m)
hr: Altura de carga sobre el vertedero para Qmax (caudal máximo) (m).
R: Revancha o borde libre.

Revancha (R). Para acumuladores pequeños se acepta una revancha de 0,50 a 0,70 m. En obras medianas R>2,00 m y en grandes presas es del orden de 5,00 m. Para efectos legales, debe tenerse presente que los proyectos de embalses con un volumen mayor a 50.000 m^3 o una altura de muro superior a 5 metros, deben ser aprobados previamente por la Dirección General de Aguas (Código de Aguas, Art. 294).

Talud del Muro. Para tranques de altura menor a 5,00 metros, se acepta construir los muros con un talud interior de 2:1 y de 1,5:1 por fuera. Esto es válido siempre que el suelo que se utilice para la construcción de los muros sea homogéneo, y contenga una mezcla de arcilla con arena gruesa o grava. Si no se dan estas condiciones o el suelo es muy permeable o se presentan problemas en la compactación, se debe evaluar la opción de impermeabilizar el tranque con geomembranas. (Véase Obra 20: Revestimiento de tranques).

Ancho del coronamiento. Se recomienda que el ancho del coronamiento se calcule por la expresión:

$$B = 0{,}80 + 0{,}50\ H$$

Donde:
B: Ancho del coronamiento (m)
H: Altura del muro (m)

En la práctica el ancho debe ajustarse a las necesidades de la maquinaria con que se construirá la obra.

Excavación de la poza. Las dimensiones de la poza de inundación (cubeta) y de los muros del tranque se calculan de manera que éste tenga la capacidad para almacenar el volumen de embalse de la forma más conveniente para la economía de la obra. Es muy importante estudiar las características del suelo donde se harán las excavaciones mediante calicatas de 1,5 a 2,0 metros de profundidad. Si los materiales de la cubeta no son adecuados para la construcción de los muros, esta tierra se desecha y se utiliza una tierra de mejor calidad proveniente de otro lugar (*empréstito*).

Escarpe. El escarpe consiste en cortar una capa mínima de 30 cm de tierra vegetal previo al movimiento de tierra y dejar este material amontonado fuera del sitio del tranque, para un uso posterior. Este suelo sólo puede utilizarse como revestimiento de la capa exterior de los muros del tranque.

4. Aplicaciones más corrientes

Los tranques acumuladores son obras muy comunes en las regiones donde el recurso hídrico es muy escaso y, por ende, los canales están sometidos al régimen de turnos. Es una obra con demanda creciente en las regiones de Coquimbo, Lib. B. O'Higgins y Metropolitana.

5. Variantes

Básicamente todos los tranques de tierra se construyen con el suelo del lugar o de un empréstito cercano, sin clasificación de los materiales (*presas homogéneas)* y de acuerdo con las normas y criterios generales enunciados anteriormente. Las variantes están referidas más bien a las obras de arte, en cuanto a su ubicación o materiales empleados. Por ejemplo, cuando el predio posee una superficie pequeña que se regará con un sistema de goteo, el tranque se construye simplemente como un depósito o estanque, sin obras de toma (salida), ya que el agua de embalse es extraída mediante bombeo. Este tipo de tranques normalmente están revestidos con una *geomembrana*.

Cuando el tranque es de tamaño reducido y se construye con una simple excavación en el terreno, de paredes casi verticales, normalmente revestidas, la obra se denomina *estanque*. En la zona norte del país se emplea también el término "tranque" para designar a los estanques o depósitos de agua construidos en hormigón armado, albañilería o mampostería (Véase **Obra 13:** *Estanques*). Normalmente estos estanques tienen una capacidad inferior a 500 m^3.

6. *Presupuesto o cotización de la obra*

Se debe realizar un análisis de precios unitarios para las partidas principales de la obra, debidamente especificadas. El precio unitario de cada partida se multiplica por su cubicación respaldada en un plano general o de detalle, según corresponda.

13 Estanques

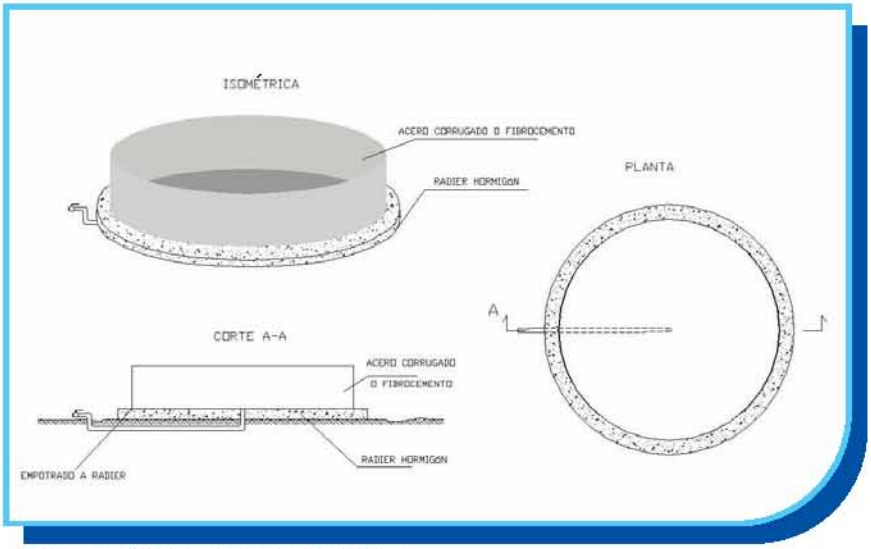


Figura 25. Obra de estanque australiano

1. *Definición de la obra*

Los estanques son un tipo de depósito de agua, con capacidad inferior a 500 m³, de variadas formas, construidos en albañilería de ladrillo, mampostería de piedra, hormigón armado, polietileno, planchas de fibrocemento o planchas de acero corrugado galvanizado.

Los depósitos más pequeños corresponden a estanques hechos con fibra de vidrio, corrientemente con tapa, y una capacidad de 500 a 2.500 litros. Es frecuente que estos estanques se instalen sobre una torre de estructura metálica o de madera (copa de agua), ubicada en el sector más alto del predio, con el objeto de almacenar agua con la presión suficiente para el funcionamiento de un sistema de riego por goteo. El desnivel mínimo que se requiere en estos casos es de 10 a 12 metros, para un sistema de goteo tradicional.

2. *Componentes de la obra*

Los componentes principales de este tipo de obra son los siguientes:

- Base estabilizada.
- Piso.
- Muros o paredes del estanque.
- Obra de entrega.
- Obra de toma.

Base estabilizada. Se construye haciendo un escarpe sobre el suelo de fundación, nivelándolo, compactándolo en húmedo y rellenando con ripio en una capa mínima de 7 cm. En el caso de depósitos sobre torre, se construyen sólo poyos de hormigón para sostener la estructura en cuatro puntos.

Piso. El piso del estanque se construye normalmente en hormigón armado. No se aplica a los depósitos de fibra de vidrio, que se apoyan en una plataforma metálica o de madera.

Muros. Éste es el componente que define el tipo de estanque. Se emplean una gran variedad de materiales de construcción.

Obra de entrega. Como se trata de estanques de muy reducido tamaño, la obra de entrega es corrientemente una tubería de PVC de diámetro adecuado al caudal de llenado (típicamente en tubo de PVC de 75 a 110 mm o PE de 2" a 4"). En otros casos se utiliza una acequia revestida que descarga el agua directamente en el piso del estanque. En los depósitos sobre torre, se utiliza cañería de fierro galvanizado entre 1" y 2" o tubería de PVC en diámetros entre 25 a 50 mm.

Obra de toma. La descarga en los estanques puede ser mediante compuerta de hoja y tornillo; tubería de acero y válvula Meplat; tubería de PVC y válvula de compuerta.

3. *Variantes*

Las variantes están referidas principalmente a los materiales de construcción.

- ***Estanque australiano de fibrocemento.*** Depósito cilíndrico formado por planchas lisas de fibrocemento de 1.200 x 2.400 x 10 mm (57,6 kg/plancha), de diferentes radios de curvatura, unidas entre sí mediante pernos galvanizados. Permite almacenar agua sin alterar su calidad. Su capacidad de almacenamiento es desde 6,5 m^3 hasta 493 m^3, siendo los tamaños de mayor aplicación: 14, 25, 39, 76 y 127 m^3. Las planchas son de bajo costo; lo que encarece esta solución es el radier de hormigón.

Para detalles de instalación del estanque australiano de fibro-cemento, ver anexo 2.

- ***Estanque australiano de acero corrugado.*** Depósito cilíndrico formado por planchas de acero corrugado galvanizado. Pueden almacenar entre 4,5 m^3 y 200 m^3. La unión de las planchas es mediante pernos de $^1/_2$" x 1 y sello butilo.

Para detalles de instalación de estanques australianos de acero corrugado, ver anexo 2.

- ***Estanque de albañilería de ladrillo.*** Depósito de forma rectangular, altura máxima 2 metros, pilares cada 3 metros, armadura en piso y cadenas. Normalmente se construye en excavación o semienterrado. El piso es de hormigón armado. Requiere un estuco con tratamiento para su impermeabilización. Reducida capacidad de embalse.

- ***Estanque de mampostería de piedra.*** Depósito de forma rectangular y altura máxima de 1,5 metros. Normalmente se construye como estanque enterrado. Capacidad muy reducida.

- ***Estanque de hormigón armado.*** Depósito de forma rectangular, altura máxima 3 metros. Piso y paredes llevan enfierradura. Corrientemente se construyen sobre el terreno, como una estructura autosoportante, sin necesidad de refuerzos en la cara exterior de los muros.

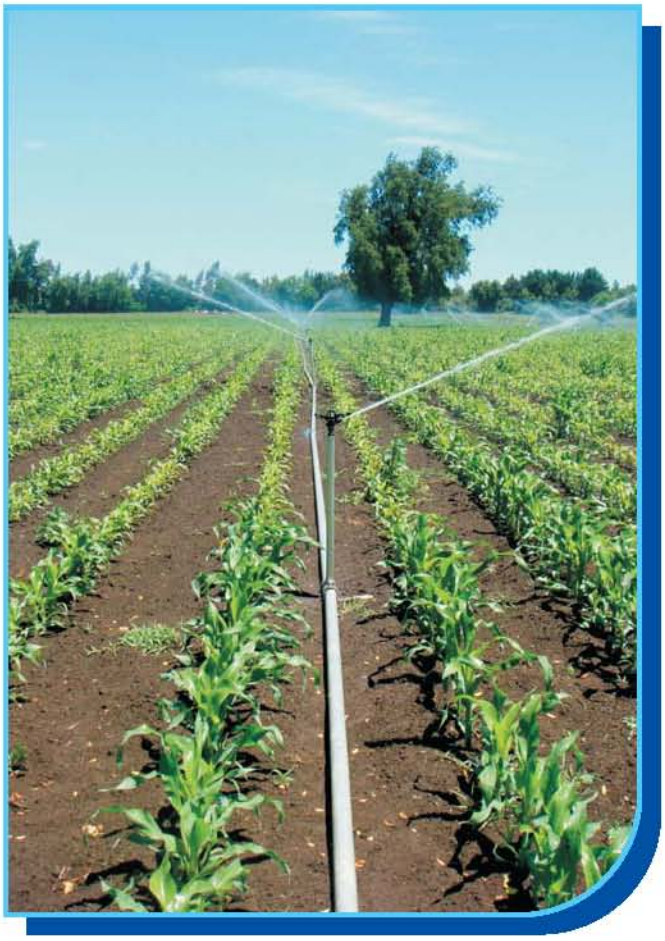
- ***Estanque plástico reforzado en fibra de vidrio.*** Existe en el mercado una gran gama de este tipo de estanques, con capacidades que van desde los 200 hasta los 30.0000 litros de capacidad. Se caracterizan por ser autosoportantes y su instalación no requiere pesadas estructuras soportantes. Se pueden instalar tanto en superficie como enterrados, los de menor capacidad, hasta 2.500 litros, se emplean corrientemente como estanque regulador montado sobre una torre (copa de agua) en los sistemas de riego basado en captación de napas subterráneas de muy bajo caudal.
  Para una correcta instalación se recomienda consultar los manuales de instalación del fabricante.

4. Aplicaciones más corrientes

Los estanques se utilizan en la regulación de turnos de riego (agua de canal), como acumuladores en los sistemas de riego por goteo y también para optimizar el funcionamiento de la bomba tanto en las norias como en los pozos profundos. Es una obra de gran demanda en todas las zonas de riego del país.

D Sistemas de Riego

- SISTEMA DE ADUCCIÓN CALIFORNIANO
- SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO
- SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN
- SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN
- CONTROL AUTOMÁTICO DEL RIEGO



14 Sistemas de Aducción Californiano

El *sistema de aducción californiano* consiste en la conducción y distribución del agua de riego gravitacionalmente dentro del predio, mediante tuberías y válvulas que permiten regular los caudales de entrega a los surcos o las platabandas en el riego por bordes, además reduce las pérdidas por infiltración durante la distribución y por ende, mejora la eficiencia de aplicación.

Éste es un sistema de distribución por tubería a baja presión, que requiere una carga de entrada al sistema de 0,10 a 0,20 m.c.a., altura que fácilmente puede obtenerse en la mayoría de los canales en Chile. Aún en los casos en que la pendiente sea mínima o nula es posible obtener la carga requerida para el sistema de aducción californiano con el expediente de "*apretilar*" el canal de entrega o la acequia principal hasta obtener la altura de agua requerida.
El sistema de aducción californiano puede ser fijo o móvil.

Californiano Fijo

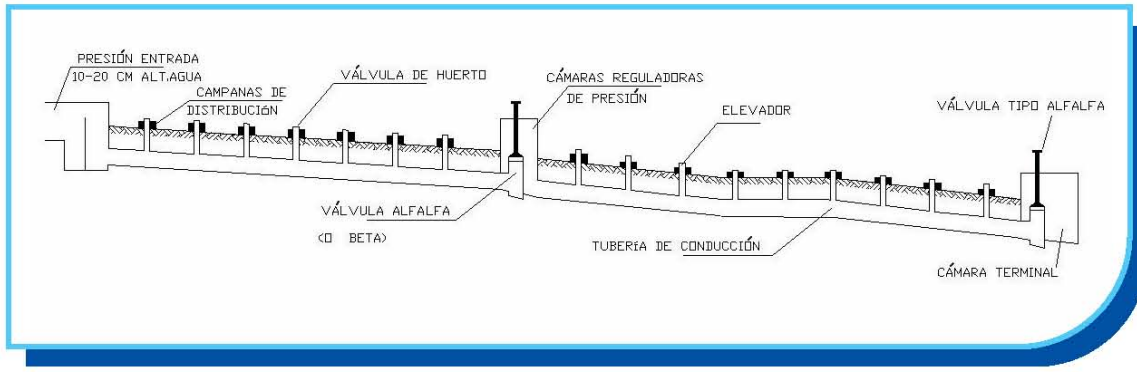


Figura 26. Sistema de aducción californiano fijo.

Consiste en la instalación de una tubería de PVC agrícola de diámetros entre 200 y 400 mm, enterrada bajo el lugar que ocupaba la acequia principal, destinada a conducir y distribuir el agua en forma uniforme y controlada.

Componentes de la obra

El sistema de riego californiano consiste básicamente en los siguientes elementos:

- Desarenador.
- Cámara de entrada.
- Tubería de conducción.
- Elevadores.
- Campanas de distribución.
- Cámaras reguladoras de presión.
- Cámaras de limpieza.
- Válvulas de huerto.

El *desarenador* es una obra ubicada antes de la cámara de entrada, y cumple la función de eliminar o disminuir la cantidad de partículas en suspensión en el agua, mediante la sedimentación. Este es un proceso físico natural que se produce en las aguas que contienen partículas sólidas en suspensión. Cuando el líquido queda en reposo o se desplaza a velocidades muy lentas, se produce la decantación de partículas más pesadas (arena) antes de la entrada del agua a la cámara de acceso o inicio de la tubería de conducción.

La *cámara de entrada* es la obra de inicio del sistema californiano propiamente tal. Normalmente se construye en albañilería de ladrillo estucado y se diseña con un fondo o desnivel de 20 cm con respecto a la base del tubo principal, a fin de contener los sedimentos más finos que siempre se arrastran con el agua. Tiene un sistema de compuerta y mallas para impedir el ingreso de ramas, basura (plásticos) y semillas de malezas.

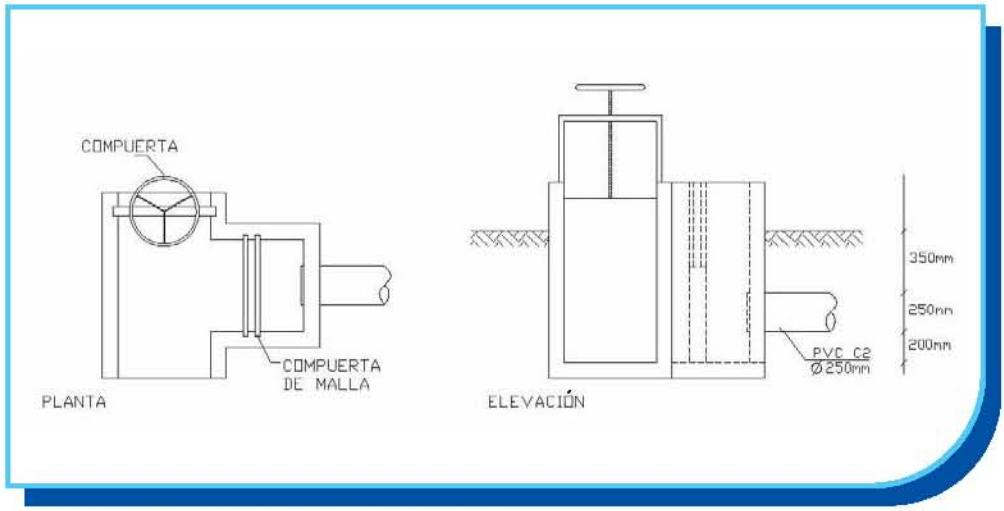


Figura 27. Cámara de entrada al sistema californiano.

Tubería de conducción. En los sistemas fijos, con tubería enterrada, se utiliza el tubo agrícola de clase 2 para los diámetros 200 y 250 mm, y clase 2,5 para diámetros 300 y 400 mm. La unión entre tubos de 6 metros se realiza con anillos de goma (unión Anger). La tubería se instala en zanjas a una profundidad mínima de 60 cm sobre la clave del tubo. La capacidad de conducción de la tubería depende del desnivel existente entre el inicio y el final del ducto. Cuanto mayor es la pendiente, mayor es el caudal que puede conducir la tubería. Para facilitar el autolavado de la red se recomienda una pendiente mínima de 0,2 % (20 cm en 100 m). El punto óptimo de funcionamiento de un sistema de riego californiano se alcanza cuando la velocidad del agua en la tubería está comprendida entre 1 y 2 (m/s).

En la Tabla 22 se presenta la variación del caudal con la pendiente, para diferentes diámetros de Tubo Agrícola.

TABLA 22. Capacidad de conducción con Tubo Agrícola clase 2 y 2,5

Pérdida Carga (pendiente) %	Caudal (l/s)		Velocidad (m/s)		Caudal (l/s)		Velocidad (m/s)	
	200 mm C2	250 mm C2	200 mm C2	250 mm C2	315 mm C2,5	400 mm C2,5	315 mm C2,5	400 mm C2,5
0,2	17,5	31,3	0,6	0,7	61,1	114,6	1	0,8
0,4	25,4	45,5	0,8	1	88,9	166,6	1,4	1,2
0,7	34,4	61,6	1,1	1,3	120,2	225,4	1,9	1,6
1,0	41,7	74,7	1,4	1,6	145,7	273,3	2,3*	2,0*
1,3	48	86	1,6	1,8	167,9	314,9	2,6	2,3
1,6	53,8	96,2	1,8	2	187,3	352,2	2,9	2,5
1,9	59	105,6	1,9	2,2	206,1	386,5	3,2	2,8
2,2	63,9	114,2	2,1	2,4	223,1	418,3	3,5	3

* Con velocidad superior a 2 m/s, se deben tomar precauciones en el diseño hidráulico.
Fuente: Riego californiano. Duratec-Vinilit S.A.

Esta tabla permite estimar el diámetro de la tubería y los caudales máximos que se puede utilizar en un sistema de riego californiano, a partir de datos de pendiente o desnivel del terreno. Para el diseño del sistema se requiere un perfil longitudinal con cotas cada 20 metros.

Elevadores. Son trozos de tubo de PVC tipo sanitario de diámetro 75 mm, conectados a la tubería principal mediante anillos de goma (goma agrícola). Los elevadores se ubican a la distancia de plantación del cultivo, entre hileras; por ejemplo, cada 6 metros en un huerto plantado a 6x4.

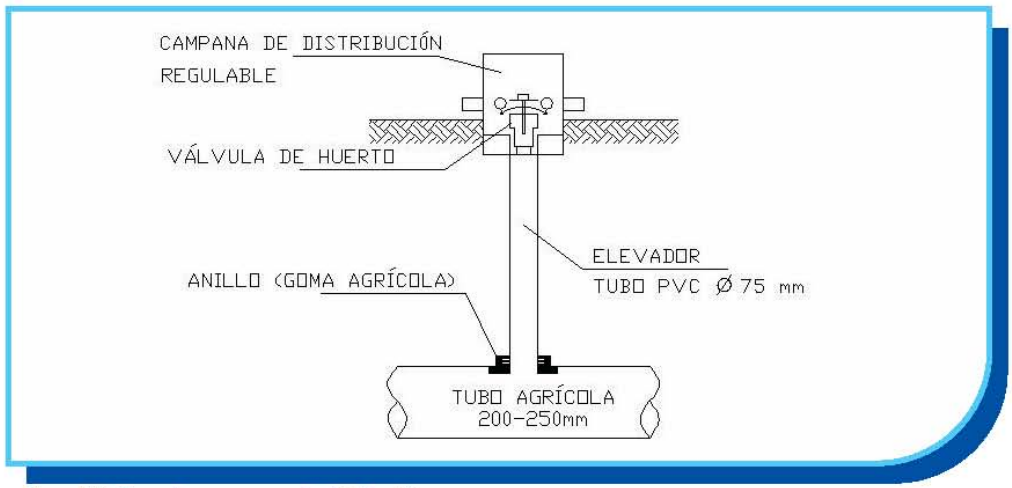


Figura 28. Elevador y campana de distribución.

Campanas de distribución. La campana es un accesorio que amortigua la energía que trae el agua, y de esta manera evita la erosión del suelo en la zona de descarga de cada elevador. La campana orienta el flujo hacia los surcos de riego o las platabandas en el caso del riego por bordes. Consiste en un cilindro corto de PVC de 200 mm de diámetro, con cuatro derivaciones (salidas) alrededor de la base del mismo. La campana se une al tubo elevador mediante presión. En el centro de la campana se ubica la válvula de huerto.

Válvulas de huerto. Son válvulas que permiten regular el caudal de entrega a los surcos o platabandas. Están confeccionadas en PVC de 75 mm de diámetro y, consisten básicamente en un cuerpo de asiento con una tapa rosca, con capacidad para regular el flujo en toda la gama entre 0 y 100% del caudal máximo en cada elevador.

Las *cámaras reguladoras de presión* tienen por función regular la carga en la tubería. Estas estructuras están formadas generalmente por un tubo de cemento comprimido de 600 mm de diámetro y 1 metro de largo, más una válvula alfalfa de igual diámetro que la tubería de distribución.

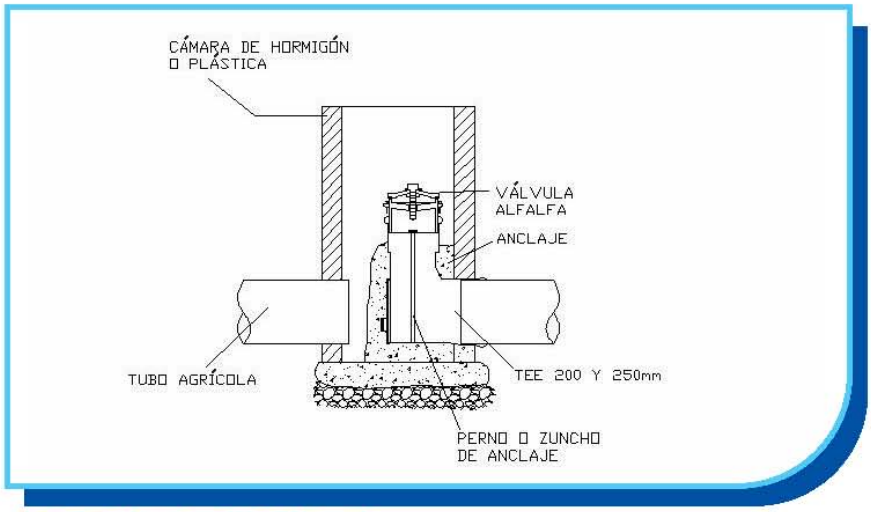


Figura 29. Cámara Reguladora de Presión.

Las *cámaras de limpieza* son estructuras que permiten regular la carga y limpiar el sistema de tuberías enterradas, y se instalan al final de la red. Se construyen exactamente igual que las cámaras reguladoras. En estos tipos de cámaras, las válvulas alfalfa se montan sobre un codo de PVC.

Factores que influyen en los costos de un sistema californiano

El sistema de conducción tipo californiano es una tecnología muy difundida en las regiones Metropolitana, del Lib. B. O'Higgins y del Maule, particularmente en el riego de frutales, con los métodos de aplicación por surcos y bordes. Con este sistema se busca un aumento de la eficiencia en la aplicación del agua de riego, por la vía de un mejor control de los caudales aplicados en cada surco o en cada platabanda. En el riego por surcos tradicional, sin control de los caudales, la eficiencia de aplicación es inferior al 50%. En cambio, con el sistema de riego californiano, se logran eficiencias del orden de 65-70%. Además, tiene la ventaja de aumentar el número de hectáreas que puede manejar el regador, lo cual libera tiempo y mano de obra para realizar otras labores en el predio.

A continuación se analizan los principales factores que influyen en los costos de inversión en el sistema californiano:

Longitud del paño de riego. El riego californiano tiene un menor costo por hectárea cuanto más largo pueden ser los surcos o las platabandas. **Ejemplo:** El potrero A tiene 100 m de frente por 300 m de fondo, y se riega en el sentido de la mayor dimensión. En cambio, el potrero B tiene las mismas medidas, pero por condición de suelo y pendiente, se debe regar con surcos cortos de 100 m, quedando los 300 m como línea principal de conducción. El costo unitario resulta tres veces más elevado en el caso B. La longitud de los surcos es un parámetro de diseño que depende de la textura superficial del suelo y de la pendiente en el sentido del riego.

Pendiente transversal. La *pendiente transversal* se refiere a la pendiente que se da naturalmente en el terreno a lo largo de la antigua acequia, o la que se puede obtener para la tubería principal que se instala en su reemplazo[1]. Esta pendiente influye moderadamente en los costos de inversión inicial, ya que a menor pendiente se requiere mayor número de sectores de riego (cámaras y válvulas). Hay un efecto mayor en los costos de operación y mantenimiento, ya que el número de sectores incide en el rendimiento de la mano de obra en la labor del riego.

Topografía y micro-relieve. Para que el riego californiano produzca los beneficios esperados (aumento de eficiencia de aplicación, mayor uniformidad del riego y menor requerimiento de mano de obra en la operación del riego), es necesario contar con una superficie de suelo parejo, sin *micro-relieve*. Es bastante frecuente que la topografía del terreno sea una limitante para utilizar las longitudes máximas indicadas o recomendadas para una determinada textura de suelo. La presencia de *micro-relieve* (altos y bajos relativos) obliga a regar por tramos cortos, con acequias transversales cada 60-80 metros, lo cual encarece mucho los sistemas de riego californiano. Para solucionar estos problemas se debe emparejar el suelo o hacer una nivelación en los dos sentidos del riego.

1 Se logra una pendiente mayor que la natural del terreno, partiendo con la excavación a poca profundidad, por ejemplo, 50 cm; y llegando al final con la tubería a la mayor profundidad posible, siempre que exista un punto más bajo para descargar o limpiar la tubería (canal de desagüe).

El costo de emparejamiento o nivelación de suelos (si es el caso) debe sumarse al costo de inversión en el sistema de aducción californiano, con lo cual este tipo de proyectos alcanza un valor cercano al 60% de la inversión en sistemas de riego por goteo, con claras ventajas para este último.

Californiano Móvil

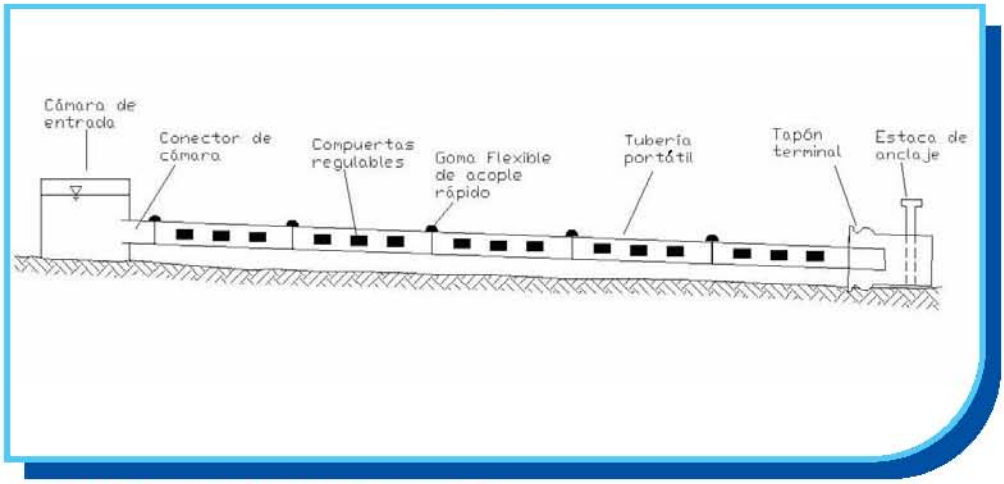


Figura 30. Sistema de aducción californiano móvil.

La diferencia entre un sistema de riego californiano portátil y un sistema móvil radica en el material de la tubería de conducción. En el sistema portátil se emplea tubería de PVC clase 2 de 200 y 250 mm de acople rápido, en el cual se incorporan pequeñas *compuertas regulables* colocadas a lo largo del tubo sobre perforaciones de 33 mm x 68 mm, a la distancia del diseño. Debido a este sistema de acople rápido, se posibilita el traslado de los tubos, permitiendo regar distintas áreas con la misma tubería.

Las tuberías de conducción del sistema californiano portátil tienen la misma capacidad de porteo (l/s) que las tuberías del sistema fijo (véase tabla 22).

En el sistema portátil, la regulación del flujo se efectúa con las compuertas regulables, mediante 4 posiciones entre 25% abierta y 100% abierta. En la tabla siguiente se presentan los caudales de regulación para diferentes valores de presión en la tubería.

TABLA 23. Caudales de regulación (l/s) para diferentes valores de presión en la tubería portátil.

Presión (m.c.a.)	Totalmente abierta	3/4 abierta	1/2 abierta	1/4 abierta
0,075	3	2,16	1,4	0,71
0,15	3,5	2,5	1,6	0,8
0,23	4	2,8	1,9	0,91
0,3	4,4	3,3	2	1
0,45	5,1	3,6	2,4	1,2
0,6	5,8	4,1	2,7	1,3
0,75	6	4,4	2,9	1,4
0,9	6,5	4,7	3,1	1,5
1,22	7,5	5,1	3,6	1,7
1,5	8	5,7	3,8	1,9

Fuente: Riego californiano portátil. Duratec-Vinilit S.A.

Instalación de las compuertas

a. Hacer una perforación rectangular en la pared del tubo de PVC de 3,3 cm de ancho por 6,8 cm de largo.

b. Para ello, previamente marcar los tubos con plancheta de cartón en lugar preciso.

c. Perforar las 4 esquinas de rectángulo marcado y luego completar con sierra, emparejando los bordes con lima o escofina.

d. Colocar compuerta de riego introduciendo la base en la perforación y posteriormente fijar la tapa (color naranja) mediante la pieza de fijación.

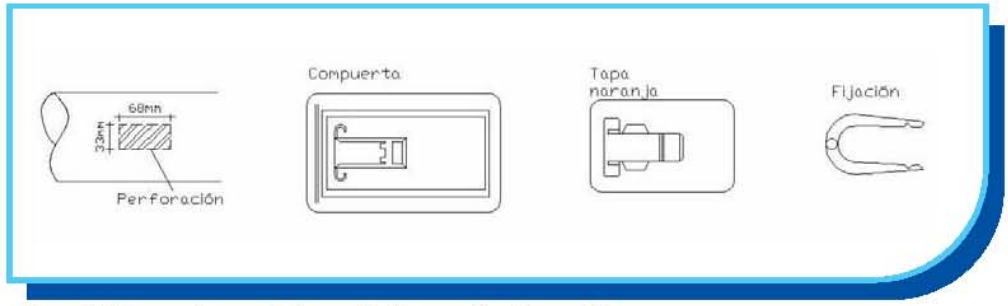


Figura 31. Compuertas regulables en el sistema californiano móvil.

Ambos sistemas de aducción, fijo y móvil, se complementan con el método de riego por surcos, el cual se describe a continuación.

MÉTODO DE RIEGO SUPERFICIAL: RIEGO POR SURCOS

1. Descripción del método

El sistema de riego por surcos consiste en la entrega superficial de agua desde una tubería de baja presión o acequia principal a pequeños canales o surcos ubicados entre las hileras del cultivo. Este sistema de riego se puede aplicar en cultivos dispuestos en línea, tales como frutales, viñas y parronales; chacras y hortalizas.

La pendiente del terreno es un factor determinante en la posibilidad de usar este método de riego. En general, funciona bien en suelos planos, con pendientes de hasta un 2% y con surcos rectos que van según el sentido del riego. Sin embargo, cuando el terreno presenta una topografía inclinada, con pendientes transversales de hasta un 8%, el surco debe trazarse con una pendiente longitudinal controlada, en torno al 0,2 - 0,5%.

Para lograr una buena eficiencia de aplicación de agua con este sistema de riego es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Espaciamiento entre surcos.
- Forma de surcos.
- Largo de surcos.
- Caudal a aplicar.
- Tiempo de riego.

Espaciamiento entre surcos

La distancia entre los surcos depende del tipo de suelo, aunque también hay que considerar otros factores tales como el cultivo y la maquinaria agrícola a utilizar. El suelo arenoso se humedece más rápidamente que el suelo arcilloso, pero con escaso movimiento lateral.

TABLA 24. Recomendación de la distancia entre surcos para diferentes profundidades de raíces y texturas de suelo.

Profundidad radicular (cm)	DISTANCIA ENTRE SURCOS (cm)		
	Arenoso	Franco	Arcilloso
30	15	45	75
60	30	90	150
90	45	135	220
120	60	180	300

Fuente: **Riego y drenaje.** Guía del Extensionista. Boletín de bolsillo. INIA 2010

Además del tipo de suelo, para determinar la distancia entre surcos se debe considerar las recomendaciones de distancia de siembra del cultivo, y la posibilidad de ajustar la máquina sembradora a la distancia que se necesita. Así, por ejemplo, en cultivos de chacarería posiblemente sea la distancia de siembra lo que predomine en la definición de la distancia entre surcos; en cambio, en frutales predominan las características texturales del suelo.

El espaciamiento entre surcos se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$E = Pr * Cs$$

Donde:
E = Espaciamiento de los surcos, (m)
Pr = Profundidad radicular del cultivo, (m)
Cs = Factor que depende del tipo de suelo:
Cs = 2.5 suelos arcillosos; 1.5 suelos francos; 0.52 para suelos arenosos.

Forma de los surcos

Después de los primeros riegos los surcos tienden a adquirir una forma semicircular por efecto del paso del agua. La forma del surco es importante, debiendo ser más anchos en suelos que presentan una baja velocidad de infiltración, de modo de incrementar el perímetro mojado y aumentar la superficie de contacto agua-suelo, facilitando la penetración del agua en el suelo.

Largo de surcos

Por la naturaleza del método de riego superficial, la uniformidad de aplicación es dispareja, ya que el agua avanza en el surco por gravedad desde la cabecera, mojando el suelo a una mayor profundidad al inicio del recorrido. Esta situación se ilustra en la figura 32:

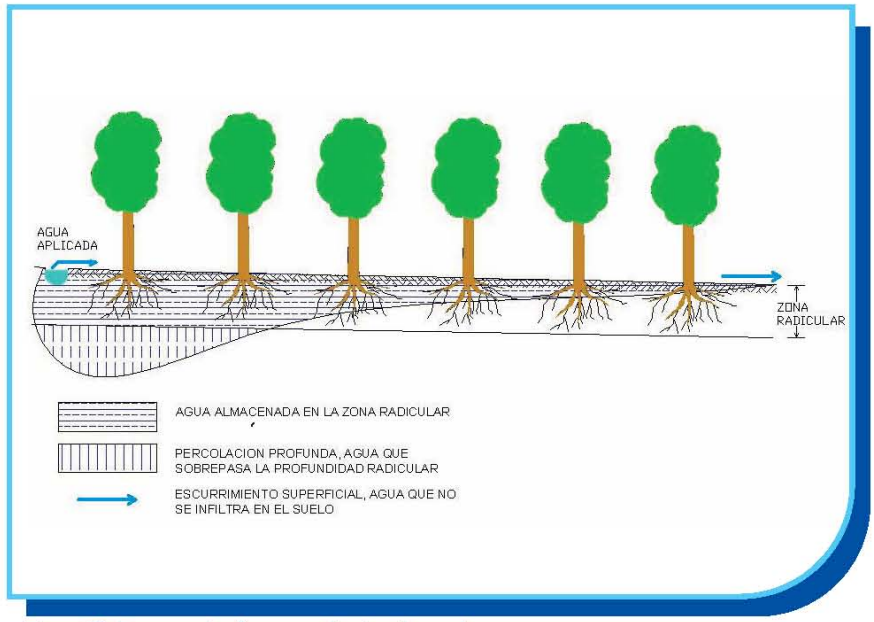


Figura 32. Esquema de cómo se moja el suelo en riego por surcos.

Así, se debe tratar de obtener una longitud de surcos tal que el suelo se moje de la forma más uniforme posible, desde la cabecera hasta el final del surco. Los factores principales que determinan el largo máximo de los surcos son: el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la profundidad de raíces del cultivo, además del caudal que se utilice y el tiempo de aplicación del agua o tiempo de riego.

En la siguiente figura se presenta un esquema del mojamiento óptimo de un surco.

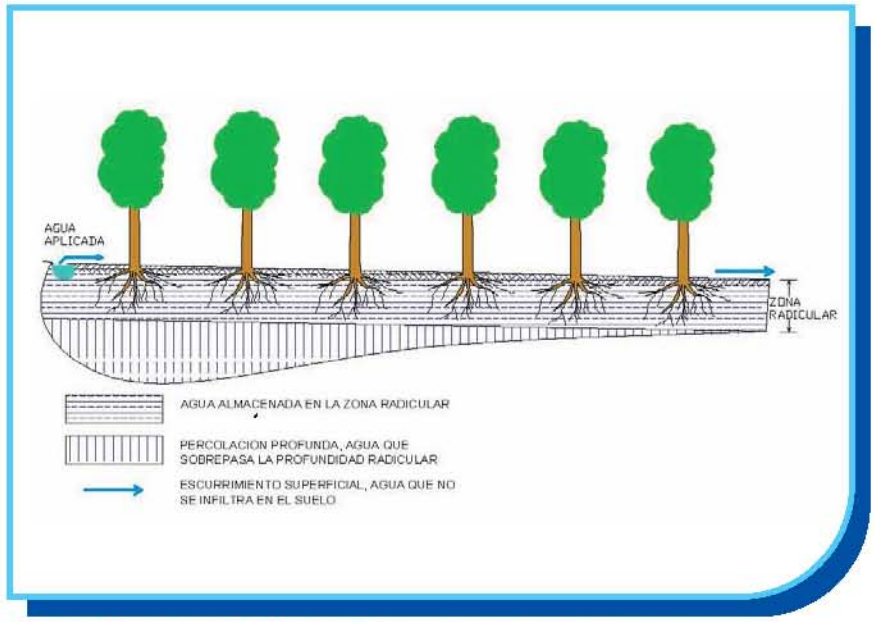


Figura 33. Esquema del mojamiento óptimo en riego por surcos.

En términos generales se puede indicar que:

- Los surcos son más cortos en la medida que aumenta la pendiente del terreno.
- El largo de los surcos en suelos arcillosos es mayor que en suelos arenosos.
- Los surcos pueden adquirir mayor longitud en cultivos de arraigamiento profundo que en cultivos de arraigamiento superficial.
- Dentro de ciertos límites, a mayor caudal aplicado, mayor largo del surco, siempre y cuando el caudal aplicado no produzca erosión.

En la tabla 25 se presentan las longitudes máximas que se puede dar al surco, bajo diferentes condiciones de suelo y profundidad efectiva de raíces (valores referenciales).

TABLA 25. Longitud para surcos según pendiente, textura de suelo y profundidad a mojar.

Textura	LONGITUD MÁXIMA DE SURCOS					
	Arenosa		Franca		Arcillosa	
Profundidad de suelo (cm)	50	100	50	100	50	100
Pendiente %						
0,25	105	220	250	350	320	460
0,50	105	145	170	245	225	310
0,75	80	115	140	190	175	250
1,00	70	100	115	165	150	230
1,50	60	80	95	130	120	175
2,00	50	70	80	110	105	145

Caudal a aplicar

A objeto de lograr un rápido avance del agua en los surcos y facilitar un mojamiento más parejo de éstos, al iniciar el riego se debe aplicar la máxima cantidad de agua que pueda llevar el surco, sin causar erosión o arrastre de terrones o partículas en el fondo. Este caudal se conoce con el nombre de "caudal máximo no erosivo", y depende de las características texturales del suelo y de la pendiente del terreno.

La aplicación de caudales inferiores al máximo no erosivo, implica que el mojamiento será desuniforme y el largo de los surcos obligadamente deberá ser menor.

El caudal máximo no erosivo se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$Qmne = 0,63 / So$$

Donde:
Q = Caudal máximo no erosivo, (l/s).
So = Pendiente del terreno, (%).

Cuando el agua llega al final del surco, se debe reducir el caudal a la mitad o a un tercio del caudal inicial. Con esto se disminuyen las pérdidas por escurrimiento al final del surco. Este caudal reducido se mantiene hasta completar el tiempo necesario para que el agua infiltre hasta la profundidad de la zona de raíces del cultivo. Esta reducción del caudal se explica por el hecho de que la velocidad de infiltración del suelo disminuye a medida que el agua permanece en el

surco, lo que implica un aumento del escurrimiento superficial si se mantiene el caudal máximo no erosivo.

Se ha determinado en la práctica que durante la fase de almacenamiento, se obtiene el mejor resultado utilizando un caudal igual al 50% del caudal máximo no erosivo.

En la tabla 26 se presentan valores de caudal según variación de la pendiente longitudinal del surco.

TABLA 26. Caudales máximos no erosivos y reducidos para diferentes pendientes.

Pendiente (%)	CAUDALES (l/s)	
	Máximos	Reducidos
0,2	3,2	1,6
0,4	1,6	0,8
0,6	1,1	0,5
0,8	0,8	0,4
1,0	0,6	0,3
1,2	0,5	0,3
1,4	0,5	0,2
1,6	0,4	0,2
1,8	0,4	0,2
2,0	0,3	0,2

Nota: Los valores de gasto máximo pueden ser modificados de acuerdo a la experiencia que se obtenga en cada caso particular.

Tiempo de riego

A objeto de mojar el suelo hasta la profundidad de raíces a lo largo de todo el surco, no se puede cortar el agua hasta que ésta llegue al final del surco. Es necesario completar el "tiempo de riego", es decir el tiempo suficiente para que el agua infiltre a través del perfil. El tiempo de riego depende de las condiciones del suelo, en particular de las condiciones de infiltración y de la profundidad de raíces.

Al regar se debe procurar que el tiempo de aplicación (Ta) o duración total del riego sea igual al tiempo necesario para infiltrar (Ti) la lámina neta de reposición más el tiempo transcurrido entre el inicio del riego y la llegada del agua al final del surco (Tf).

Ésta se expresa matemáticamente con la siguiente relación:

$$Ta = Ti + Tf$$

Ta = Tiempo de aplicación
Ti = Tiempo de riego o de infiltración
Tf = Tiempo en llegar al final del surco

TABLA 27. Tiempo de riego necesario según textura del suelo y profundidad de riego.

Profundidad de Riego (cm)	TIEMPO DE RIEGO (hr)				
	Arenoso	Franco Arenoso	Franco	Franco Arcilloso	Arcilloso
30	0.2	0.7	1.8	3.8	7.2
50	0.4	1.2	3.1	6.3	12.0
70	0.6	1.7	4.3	8.8	16.8
90	0.8	2.2	5.5	11.3	21.6
100	0.9	2.4	6.2	12.5	24.0
110	1.0	2.6	6.8	13.8	26.4
130	1.1	3.1	8.0	16.3	31.2
150	1.2	3.6	9.2	18.8	36.0

Fuente: Riego y Drenaje. Guía para el extensionista. Boletín de Bolsillo Nº 1. INIA. 2001

Nota: Las condiciones de infiltración son muy variables de un lugar a otro. Los valores anteriores pueden ser modificados sobre la base de experiencias locales.

15 Sistema de Riego por Goteo

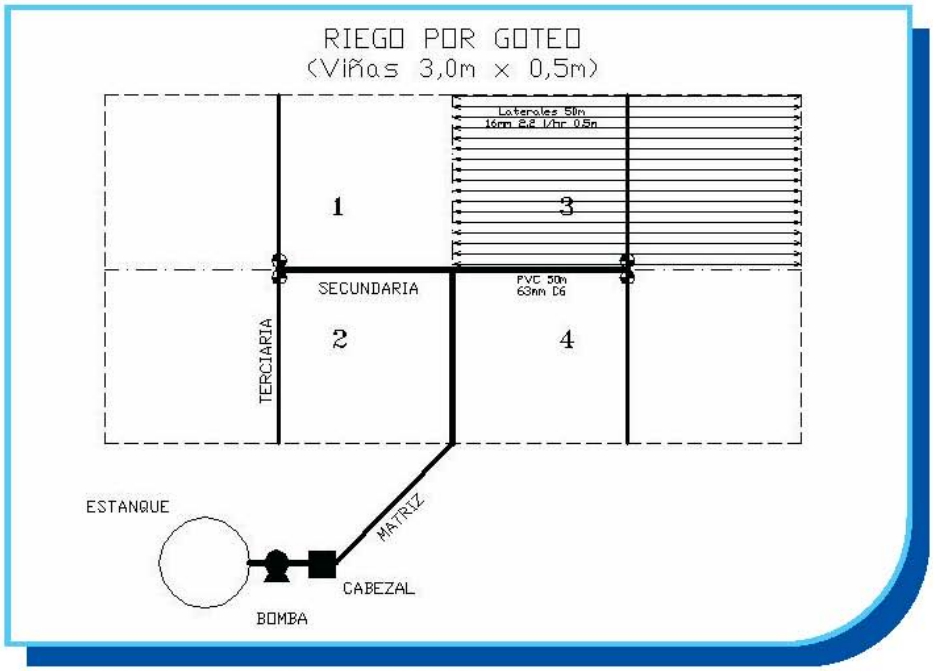


Figura 34. Esquema de obra de riego por goteo.

1. *Descripción de la obra*

El riego por goteo es un sistema de riego localizado que permite aplicar agua gota a gota sobre la superficie del suelo en el que se desarrolla la planta, produciendo una zona de humedad constante y localizada. El agua se vierte a baja presión mediante *emisores* o goteros, ubicados a lo largo de una tubería, con caudales pequeños que van desde 1 a 8 litros por hora. Este sistema no moja toda la superficie del suelo, por lo cual las raíces de las plantas crecen y se concentran en la zona de mayor humedad (*"bulbo húmedo"*). En este método de riego, la importancia del suelo como reserva de humedad para las plantas es muy pequeña si lo comparamos con el riego por gravedad o el riego por aspersión.

Entre las principales ventajas de este método de riego cabe mencionar las siguientes:

- Ahorro entre el 40 y el 60% de agua respecto a los sistemas tradicionales de riego.
- Una adaptación más fácil en terrenos pedregosos o con fuertes pendientes.
- La posibilidad de automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.
- Aumento de los rendimientos del cultivo y mejor calidad de los productos, por efecto del riego programado de acuerdo a las necesidades de las plantas y del fertirriego (aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego).

2. *Componentes de la obra*

Siguiendo el orden desde la fuente de agua, los componentes de un sistema de riego por goteo son:

- Bomba o fuente de agua a presión.
- Cabezal de control.
- Red de tuberías.
- Emisores.

Bomba: Este elemento se instala junto a la fuente de agua (noria, estanque, canal) y suministra agua en la gama de caudales y presiones requeridos por el sistema, en cualquier punto de la red. En algunos casos, no se necesita una bomba, porque la presión generada por el desnivel topográfico es suficiente para el funcionamiento del sistema (por ejemplo, 20 metros de diferencia de cota entre un tranque y el terreno a regar).

Cabezal de control: El cabezal de control es un conjunto de elementos destinados a regular la presión, filtrar el agua antes de que llegue a las tuberías, controlar los caudales y dosificar los fertilizantes que se aplican junto con el agua de riego. En los sistemas automáticos, se incluye un programador para el control remoto de los sectores de riego, mediante electroválvulas.

Los filtros más usuales en un equipo de riego son:

- ***Filtros de mallas:*** Retienen todo tipo de sólidos en suspensión (arenas, limo y arcilla, orgánicos). Las impurezas se retienen en la superficie de unas mallas dotadas de orificios de pequeño tamaño, fabricadas en material no corrosivo (acero, plástico).

- ***Filtros de anillas:*** Tienen la misma función que los filtros de malla pero aquí la suciedad queda atrapada entre discos ranurados que se encuentran ajustados en un cartucho insertado en la carcasa del filtro.

- ***Filtros de arena:*** Se usan fundamentalmente para retener las partículas orgánicas en suspensión. Son estanques llenos de arena o grava por la que circula el agua dejando las partículas. Tienen una gran capacidad de acumulación de suciedad.

Cuadro 2. Selección del filtro según el elemento contaminante.

Contaminante	Hidrociclón Separador	Filtro de Grava	Filtro de Malla o Anilla
Arena	X		X
Limo y Arcilla		X	X
Orgánicos		X	X

Cómo funcionan los filtros de arena:

El agua sucia ingresa por la conexión superior (1) y se filtra a través de los poros del lecho filtrante (3). Cuando el material en suspensión toma contacto con las partículas del lecho filtrante, éste las absorbe. Luego, el agua limpia sale por la parte inferior del lecho a las boquillas ranuradas (5) y de ahí a la salida del filtro (4). La limpieza se hace mediante **retrolavado.** Se inyecta al filtro agua en sentido inverso, de las boquillas hacia arriba, causando la expansión y suspensión del lecho filtrante para así desprender del mismo las partículas de suciedad retenidas, las que son eliminadas por la válvula de retrolavado.

Partes de un filtro:
Amiad Filters

1. Entrada de agua sucia.
2. Placa de distribución del agua.
3. Lecho filtrante.
4. Salida de agua limpia.
5. Boquillas de filtración.
6. Abertura de servicio.
7. Abertura de inspección.

El fertirriego se realiza comúnmente a través de uno de los siguientes dispositivos:

- ***Inyector tipo Venturi:*** Consiste en un tubo conectado en paralelo a la tubería principal con un estrechamiento donde se produce una succión que hace que el fertilizante pase a la red. Es actualmente el de mayor uso, por su bajo costo y facilidad de manejo, aún cuando tiene el inconveniente de generar una gran pérdida de carga en la matriz, entre 7 y 10 m.c.a., lo que limita su uso si se dispone de poca presión en la red.

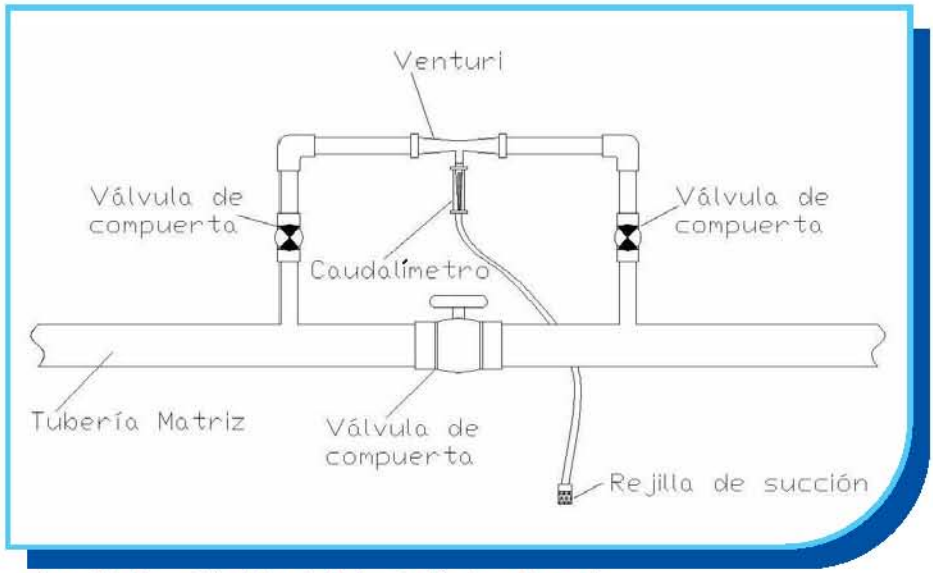


Figura 35. Disposición típica de la instalación de un Venturi.

- ***Bomba inyectora:*** Son bombas con carcasa de acero inoxidable, para evitar la corrosión generada por los fertilizantes, que se introducen al sistema en la dosis requerida para la nutrición del cultivo.

  El cabezal de control puede contener algunos de los siguientes elementos de medida, control y protección:
- Medidores o contadores. Miden el volumen (m^3) utilizado en cada riego o en la temporada.
- Manómetros. Miden la presión en puntos clave del sistema, por ejemplo, si se instalan a la entrada y salida de los filtros.
- Reguladores de presión. Los reguladores de presión de acción directa están diseñados para el control exacto y estable de presión en las líneas sin ser afectados por las fluctuaciones de la presión de entrada y/o el flujo. Con estos reguladores podemos evitar sobrepresiones que pudieran romper tuberías, emisores etc.

Red de tuberías: Para distribuir el agua de riego en toda la superficie del cultivo, se hace circular el agua a presión desde el cabezal de control, por una red de tuberías de PVC, de diferentes diámetros, hasta llegar a las líneas de goteo, que se ubican a lo largo de las hileras de plantas. Las tuberías de PVC van enterradas y reciben el nombre de matriz, secundarias y terciarias, según la posición que ocupen en la red. Las líneas de goteo o *"laterales"* son siempre de polietileno, y llevan los goteros o emisores, que se ubican a una misma distancia sobre la línea, por ejemplo goteros intercalados cada 50 cm. Las tuberías terciarias terminan siempre en una llave de bola, con salida al exterior, para permitir el lavado del sistema.

TABLA 28. Dimensiones de las tuberías de PVC hidráulico. Largo útil 6 metros.

Diám. exterior		Clase 4		Clase 6		Clase 10	
Nominal (mm)	Nominal (pulg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)
25	$^3/_4$	-	-	-	-	1,5	1,05
32	1	-	-	-	-	1,8	1,59
40	$1^1/_4$	-	-	1,8	2,02	2	2,2
50	$1^1/_2$	-	-	1,8	2,54	2,4	3,32
63	2	-	-	1,9	3,45	3	5,24
75	$2^1/_2$	1,8	3,94	2,2	4,8	3,6	7,49
90	3	1,8	4,76	2,7	6,94	4,3	10,73
110	4	2,2	7,13	3,2	10,1	5,3	16,1

Fuente: Boletín Técnico Línea Presión Duratec-Vinilit

Goteros: Éstos son los dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la red de tuberías al suelo que se quiere regar. Su función es entregar el agua en forma lenta y uniforme, a fin de que el riego sea parejo a lo largo de cada una de las hileras de cultivo. El caudal de estos emisores varía según el tamaño del orificio de salida, y normalmente no supera los 8 litros por hora. Dentro de los sistemas de riego por goteo, existen distintos tipos de emisores, los cuales, se diferencian principalmente por la forma en que se incorporan a los laterales de riego.

Cuadro 3. Tipos de gotero y su descripción.

TIPO	DESCRIPCIÓN	FUNCIONAMIENTO
En línea	Corresponden a los del tipo de Largo Conducto (microtubo, helicoidal y laberinto) que se insertan en la tubería, cortándola.	La pérdida de carga, ocurre en un conducto largo y angosto por donde pasa el agua.
De botón	Corresponden a goteros que se insertan en una perforación que se realiza en una pared de la tubería de polietileno.	El tipo de funcionamiento, puede ser del tipo laberinto o bien de vórtice.
Integrados	Corresponden generalmente a goteros de laberinto (sin cubierta) extruídos en la tubería de polietileno.	La pérdida de carga se produce por la tortuosidad del laberinto.

También es importante distinguir entre goteros de tipo “normal” (el caudal aumenta con la presión) y los “autocompensados” (el caudal permanece constante frente a cambios en la presión).

Otro tipo de emisor por goteo es la ***cinta de riego***, que es una tubería de polietileno de muy bajo espesor (0,2 a 0,4 mm), en cuyo interior lleva un canal de flujo turbulento. Este canal de flujo está moldeado a la tubería y ha sido sellado con calor durante su fabricación. En este caso, los puntos de salida del agua se ubican a una distancia fija en la cinta: cada 10, 20, ó 30 cm. La descarga nominal en cada salida de goteo fluctúa entre 0,5 y 1,6 litro por hora (LPH), pero es más común expresar el gasto por metro lineal de cinta. Por ejemplo, una cinta con goteros de 1,0 LPH intercalados a 20 cm tiene una descarga nominal de 5 LPH por metro.

Una mejora respecto de las cintas de riego es la tecnología de goteros inyectados en tubería de pared media (0,5 a 0,8 mm), de mayor duración y resistencia. Típicamente con goteros de flujo turbulento, intercalados en la tubería a distancias variables. El espesor de la pared de las tuberías de goteo se puede seleccionar de acuerdo al número designado de temporadas de riego. Al final de la temporada se pueden recoger y reinstalar en la temporada siguiente.

Actualmente existen sistemas de riego por goteo de baja presión, funcionando los goteros integrados con una presión mínima de 1 m.c.a. (0,1 bar), que para caudales de 0,6 l/hr son capaces de autocompensarse a partir de los 3 m.c.a. (0,3 bar). Estos sistemas son ideales para instalarlos en pequeñas superficies e invernaderos, presentando la ventaja de poder utilizar la gravedad como fuente de energía.

La longitud del lateral depende de la descarga del emisor, distancia entre emisores, diámetro de la tubería y pendiente del terreno. Para ilustrar este tema que es propio del diseño de un sistema de riego, en las tablas siguientes se presentan algunos ejemplos de largos máximos de laterales de goteo en función de la pendiente.

TABLA 29. Largo máximo de lateral. Cinta de riego (diámetro exterior 16,5 mm)

Espacio entre goteros (m)	Pendiente del terreno (%)	Caudal 1,1 l/hr	Caudal 1,8 l/hr
0,2	-1	78	64
	0	92	72
	1	102	79
0,3	-1	101	83
	0	125	99
	1	142	111
0,4	-1	118	99
	0	155	122
	1	181	139

Coeficiente de Uniformidad: 90%

Ejemplo: Se tiene un terreno de 100 m de largo, con un desnivel de 1 m (pendiente en contra). ¿Cuál es la longitud máxima de las cintas de riego con emisor de 1,1 LPH, y distancia de 20 cm entre goteros?

Resp: 78 m. Se recomienda en este caso dividir el paño de riego y regar con laterales de 40 m (hacia arriba) y laterales de 60 m (hacia abajo).

TABLA 30. Largo máximo de lateral. Línea integral de goteo (D exterior 16 mm).

Espacio entre goteros (m)	Pendiente del terreno (%)	Caudal 1,6 l/hr	Caudal 2,2 l/hr	Caudal 4,0 l/hr
0,3	3,5	52	45	28
	5,0	58	50	32
	7,5	66	58	36
0,5	3,5	77	66	43
	5,0	87	75	48
	7,5	100	86	50
1,0	3,5	128	108	73
	5,0	146	123	83
	7 ,5	168	143	95

Coeficiente de Uniformidad: 90%

Los valores de la tabla 30 son indicativos y suponen una situación ideal de pendiente *uniforme*. Por ejemplo, se puede utilizar laterales de 86 m de largo, con emisores de tipo “normal” y descarga nominal de 2,2 LPH, siempre que el terreno tenga una pendiente uniforme de 7,5%. Esto quiere decir que al menos cada 10 m, la cota de terreno descienda 75 cm.

3. Normas y criterios de diseño e instalación

Se debe contar con un plano topográfico del sector a regar, a escala adecuada, con curvas de nivel cada 0.5 m donde se ubiquen los puntos principales utilizados en el diseño. Es necesario contar con algunos datos básicos del clima, suelos y tipo de cultivo, para poder calcular las necesidades de agua de riego en el mes de máxima demanda.

La potencia requerida en los sistemas de riego por goteo utilizados en la pequeña agricultura generalmente no exceden de 2 HP, por lo cual pueden emplearse electrobombas conectadas a la red eléctrica domiciliaria (220 voltios). En otros casos, se recurre a electrobombas conectadas a generadores eléctricos o motobombas bencineras o diesel, para obtener una presión y caudal adecuados. Por último se debe evaluar la posibilidad de aprovechar la presión gravitacional cuando existe un gran desnivel topográfico entre la fuente de agua y el sector de riego.

Cabe mencionar que una vez instalado el sistema se debe hacer un lavado completo de la red de tuberías, y posteriormente, hacerlo en las líneas de riego, con el objeto de eliminar la tierra u objetos que hayan ingresado al interior de las tuberías durante la instalación.

El diseño y construcción de estos sistemas de riego deben ser ejecutados por un profesional competente, quien debe entregar el proyecto final con los siguientes contenidos mínimos: Memoria de cálculo, plano de diseño del sistema, catálogos de los equipos como bombas, goteros, filtros y sistema de fertirrigación. Asimismo se debe exigir al consultor la entrega de un manual del usuario, con advertencias y recomendaciones para el adecuado manejo y mantención del equipo.

Aplicaciones más corrientes

En el sector campesino, la mayor superficie cubierta con estos sistemas de riego la encontramos en el cultivo de tomates (en todo el país) y en claveles en invernadero. Otra aplicación importante se aprecia en el cultivo de frutillas bajo mulch en zonas de secano de las regiones Lib. B. O'Higgins, del Maule y Metropolitana, preferentemente con cintas de goteo. La pequeña agricultura ha incorporado gradualmente esta tecnología de riego como parte de la modernización productiva en rubros como flores al aire libre, viñas y algunos frutales (paltos, limones, olivos, cerezos), y berries (frambuesa, arándanos).

4. Variantes del sistema

Si bien el método de aplicación no varía (siempre el agua se aplica gota a gota), existe en el mercado una gran variedad de equipos y elementos, los que combinados según el diseño adoptado para distintas situaciones, resultan en diferentes sistemas de riego por goteo.

Las variantes más típicas tienen que ver con el tipo de emisor (normal vs. autocompensado); el tipo de tubería (pared gruesa vs. pared delgada); el número de laterales por hilera (1-3); modo de inserción de los emisores (insertos, pinchados, integrados a la línea); disposición de los laterales sobre el terreno; nivel de automatismo; fuente de presión del sistema.

El espaciamiento de líneas de goteo y distancia entre emisores depende de las características del suelo y del marco de plantación.

En general, se adopta una línea de goteo por hilera de plantas, cuando la distancia entre líneas no supera los 2,5 - 3,0 m. Para espaciamientos mayores es común instalar dos laterales de riego por cada hilera de plantas. Dependiendo del tipo de suelo, también se puede regar una hilera doble de plantas con un lateral de goteo (por ej.: tomates en invernadero). En el caso de claveles, se disponen 3-4 cintas de riego por platabanda, para poder aplicar riegos frecuentes de poco volumen.

5. *El futuro del goteo*

El riego por goteo es una tecnología que está en constante desarrollo, con innovaciones en varios frentes:

- Riego por goteo subterráneo (**SDI**, en inglés). Las líneas de goteo van enterradas en el suelo a una determinada profundidad, entre 5 y 50 cm dependiendo de las características del cultivo y el tipo de suelo. Actualmente el riego localizado subterráneo está ampliamente establecido en multitud de cultivos y áreas verdes de todo el mundo. En EE.UU. hay más de 156.000 ha (principalmente maíz) con el sistema SDI, con un fuerte crecimiento en los últimos 20 años. Los resultados obtenidos en más de 30 cultivos demuestran que la producción cuando empleamos riego por goteo subterráneo es igual o superior en todos los casos a cualquier otro sistema de riego y además requiere menos agua en la mayoría de los casos.

- Línea de goteo de baja presión: Se emplea la presión gravitacional eliminando el consumo de energía eléctrica. Esta tecnología está disponible en Chile.

- Fabricación de materiales y productos impregnados con fertilizantes y agroquímicos y productos que tengan un menor impacto en el medioambiente. Con el alza en el costo de los plásticos, se reposiciona el uso de materiales reciclados. Reciclaje de cintas de riego usadas.

- Las cintas de riego del futuro estarán hechas de material biodegradable, con la idea de que al término de la cosecha, simplemente se pase el arado y las líneas de riego se descompongan rápidamente, incluso incorporando elementos beneficiosos para el próximo cultivo.

Lea más en:

http://www.plasticulture.org/history_drip_technology.htm
John Roberts. ***Drip Technology***. American Society for Plasticulture.

http://www.ksre.ksu.edu/sdi/Reports/2000/K-StateRep/campis.htm
C. R. Camp, F. R. Lamm, R. G. Evans, and C. J. Phene. **Subsurface drip irrigation - past, present, and future. Published by ASAE.**

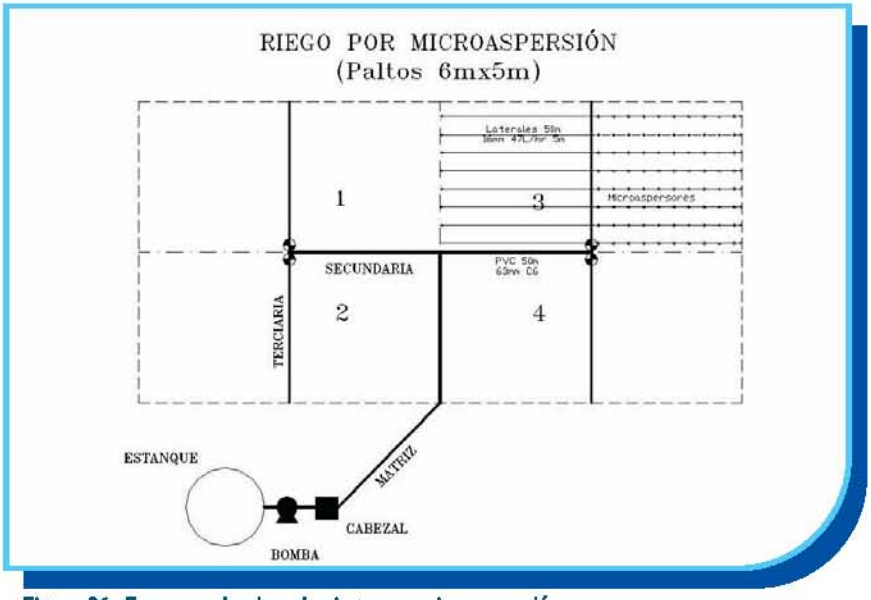


Figura 36. Esquema de obra de riego por microaspersión

1. *Descripción de la obra*

Los sistemas de riego por microaspersión y microjets consisten en la aplicación del agua de riego como una lluvia de gotas finas a baja altura, produciendo una zona de humedad constante y localizada, de mayor tamaño que en el goteo. El agua se distribuye a través de una red de tuberías y es aplicada a las plantas mediante microaspersores o microjets, que dan un mojamiento en forma localizada. La diferencia entre estos emisores es que en los microaspersores, el chorro de agua va rotando y en los microjets, es fijo o de abanico. La descarga de este tipo de emisor es considerablemente mayor que la de un gotero, con un mínimo de 25 l/hr hasta caudales de 120 l/hr.

Entre las principales ventajas de este método de riego cabe mencionar las siguientes:

- Alta uniformidad de distribución.
- El tubo estabilizador elimina el efecto negativo de las fluctuaciones de presión sobre el diámetro de cobertura.
- Mayor resistencia a las obstrucciones.
- Construcción robusta.
- Mecanismo de autorregulación para un flujo uniforme en terrenos accidentados, a través de laterales largos y tubería de diámetro reducido.
- Deflector del chorro que concentra toda el agua en el área circundante del árbol joven en la primera etapa del crecimiento y después se elimina.

2. *Componentes de la obra*

Los elementos básicos que componen un equipo de riego por microaspersión o microjet son los mismos descritos para el sistema de riego por goteo, con la única diferencia en el tipo de emisor:

- Unidad de bombeo.
- Cabezal de control.
- Red de tuberías.
- Emisores (microaspersores o microjet).

• ***Unidad de Bombeo:*** Consiste en un equipo de bombeo conformado por una bomba centrífuga, con motor eléctrico o motor de combustión interna, con el objeto de aspirar el agua desde la fuente (noria, vertiente o estanque) e impulsarla con presión hasta el cabezal de control y red de tuberías.

• ***Cabezal de control:*** El cabezal de control es un conjunto de elementos destinados a regular la presión, filtrar el agua antes de que llegue a las tuberías, controlar los caudales y dosificar los fertilizantes que se aplican junto con el agua de riego. La unidad de filtrado más usado en pequeñas instalaciones consiste en un *filtro de mallas o anillas*, destinado a retener las partículas de arena fina que ingresan al sistema a través de la succión de la bomba. Los otros elementos que componen el cabezal son válvulas o llaves de paso; un inyector de fertilizantes; y reguladores de presión.

• ***Red de tuberías:*** Para distribuir el agua de riego en toda la superficie del cultivo, se hace circular el agua a presión desde el cabezal de control, por una red de tuberías de PVC, de diferentes diámetros, hasta llegar a las líneas de microaspersión, o laterales, que se ubican a lo largo de las hileras de plantas. Las tuberías de PVC van enterradas y reciben el nombre de matriz, secundarias y terciarias, según la posición que ocupan en la red. Los laterales son siempre de polietileno en los diámetros nominales de 16, 20 ó 25 mm (según el caudal y número de emisores), y en ellos se colocan los microaspersores o microjet, 1 ó 2 por árbol, a una cierta distancia del tronco.

Es importante mencionar las llaves de lavado que se deben ubicar al final de las tuberías terciarias para una limpieza periódica del sistema. Éstas pueden ser válvulas de bola de 32 ó 40 mm en PVC.

• ***Microaspersores:*** Son pequeños aspersores que entregan el agua en forma de lluvia fina lo más parejo posible. Se diferencian por el color de las boquillas para los distintos rangos de presión y caudales a los cuales funcionan. El caudal de estos emisores varía según el tamaño del orificio de salida, siendo muy frecuente el rango de 40-80 l/hr. Existe una gran variedad de marcas y modelos de emisores en el mercado, pero en general se habla de 2 tipos: microaspersores *"normales"*, si la descarga varía con la presión; y microaspersores *"autocompensados"*, cuando el caudal se mantiene fijo dentro de un rango de presiones en la red. Al igual que el riego por goteo, la uniformidad en este sistema no debe ser inferior al 90%, por lo cual los largos máximos de las líneas de riego son un factor fundamental al momento de diseñar el sistema.

TABLA 31. Descarga nominal y diámetro de cobertura de un microaspersor con diferentes boquillas funcionando a tres presiones.

Boquilla	Presión atm	Caudal LPH	Diámetro cobertura bailarina negra m
Violeta 0,82 mm	1,5	30	5,0
	2,0	35	5,5
	2,5	39	6,0
Café 0,94 mm	1,5	39	5,0
	2,0	45	5,5
	2,5	50	6,0
Gris 1,16 mm	1,5	61	5,5
	2,0	70	5,5
	2,5	78	6,0
Verde 1,50 mm	1,5	91	6,0
	2,0	105	6,0
	2,5	117	6,5

Fuente: Dan Sprinklers, microaspersor modelo 8855

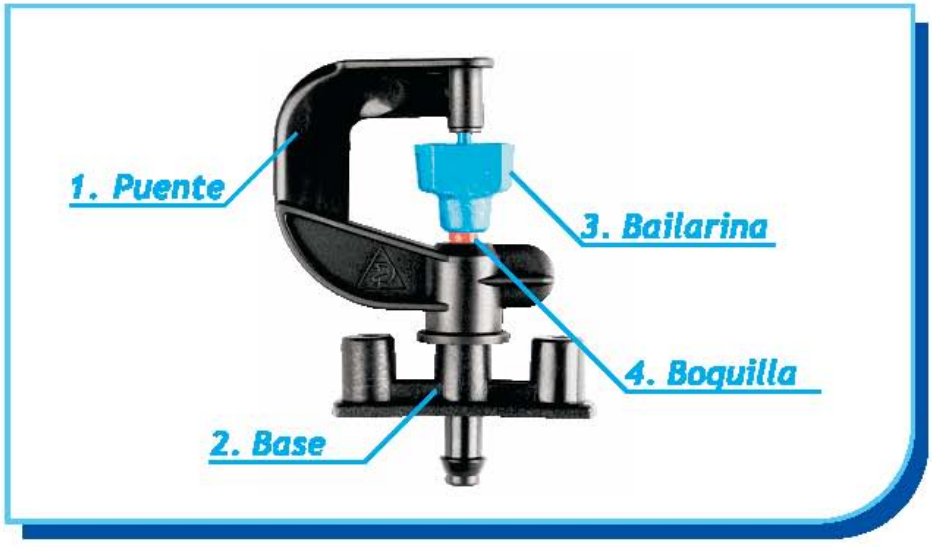


TABLA 32. Descarga nominal y diámetro de cobertura de un microjet con diferentes boquillas funcionando a tres presiones.

Boquilla	Presión atm	Caudal LPH	Diámetro cobertura (m)	
			Difusor amarillo	Difusor naranja
Violeta 0,82 mm	1,5	30	2,8	0,8
	2,0	35	2,8	0,9
	2,5	39	2,8	0,9
Café 0,94 mm	1,5	39	3,0	0,8
	2,0	45	3,4	0,9
	2,5	50	3,4	0,9
Gris 1,16 mm	1,5	61	3,0	0,8
	2,0	70	3,4	0,9
	2,5	78	3,4	0,9
Verde 1,41 mm	1,5	91	3,2	0,8
	2,0	105	3,4	0,9
	2,5	117	3,4	0,9

Fuente: Plastro Irrigation Systems.

Si comparamos el funcionamiento del microjet con el microaspersor, veremos que para un mismo rango de presión y caudal, utilizando el mismo diámetro de boquilla, el microjet riega un círculo mucho más pequeño (no mayor a 3,4 m) que el microaspersor (puede llegar a 6,4 m).

Se debe contar con un plano topográfico del sector a regar, a escala adecuada, con curvas de nivel cada medio metro, donde se ubiquen los puntos principales utilizados en el diseño. Es necesario contar con algunos datos básicos del clima, suelos y tipo de cultivo, para poder calcular las necesidades de agua de riego en el mes de máxima demanda.

Las pequeñas instalaciones de riego por microaspersión requieren una potencia baja, un poco mayor que la del goteo, por lo que es frecuente el empleo de electrobombas conectadas a la red eléctrica domiciliaria (220 voltios). Para el riego de una mayor superficie y mayores requerimientos de potencia, se recurre a generadores eléctricos o motobombas de combustión interna.

Estos sistemas de riego deben ser diseñados por un profesional calificado, quien debe suministrar una carpeta del proyecto con el siguiente contenido: Memoria de cálculo de tuberías y de selección de la bomba; plano de instalación con cuadro de sectores, caudal y presión; y catálogos de los equipos con fichas técnicas. También es recomendable que el proyectista entregue un manual de operación y mantenimiento del equipo, con algunas indicaciones para el manejo del riego, tales como el tiempo de riego por sector, fertirriego, lavado de filtros y tuberías, control de humedad en el suelo, etc.

Uno de los parámetros de diseño del riego localizado es la pluviometría o tasa de aplicación, que se calcula como el cociente entre la descarga nominal (LPH) y el área mojada (m^2) por un emisor. El área mojada se calcula con el dato del diámetro de cobertura para una presión determinada. $A = \frac{\pi * D^2}{4}$

TABLA 33. Comparación de la pluviometría a igual descarga entre microjet y microaspersor según su diámetro de cobertura.

Emisor	Descarga (l/hr)	Diámetro de cobertura (m)	Área (m^2)	Tasa de aplicación (mm/h)
Microaspersor	30	5,0	19,63	1,53
Microjet	30	2,8	6,16	4,87

La tasa de aplicación (mm/h) es un valor de diseño para cada sistema de riego y es un dato que se utiliza en el cálculo de los tiempos de riego. Por ejemplo, con los datos de la tabla 33, y para un mismo cultivo, el tiempo de riego con microjet será siempre un tercio del tiempo empleado con microaspersores.

4. *Aplicaciones más corrientes*

El sistema de riego por microaspersión está recomendado principalmente para las plantaciones de paltos, manzanos, kiwis, tanto en terreno plano como en laderas de cerro. Es aplicable a hortalizas y otros cultivos pequeños, también es muy utilizado en invernaderos y viveros de todo tipo. Muchas veces es utilizado para control de temperatura y humedad en instalaciones más sofisticadas (viveros, invernaderos).

5. *Variantes del sistema*

Las variantes del sistema de microaspersión, están referidas principalmente a las especificaciones técnicas del equipo (caudal, presión y diámetro mojado por el emisor), más que a la disposición en terreno. Cuando se riegan laderas de cerros o la topografía es muy ondulada, se debe usar un emisor del tipo *"autocompensado"*, a fin de mantener una descarga constante aún cuando las diferencias de presión entre dos puntos de un mismo sector de riego sean del 100% (por ejemplo, entre 15 y 30 m.c.a.). Algunos modelos de emisor incluyen una pieza especial para el riego del árbol en su etapa juvenil; este dispositivo se elimina para aumentar el diámetro de mojado en la etapa de árbol adulto. También existen deflectores para dirigir el chorro y así evitar mojar el tronco en las plantas sensibles a la formación de enfermedades.

Dentro de la microaspersión también cabe mencionar los microaspersores sectoriales, los microaspersores invertidos, los nebulizadores y los microjets. Todos estos emisores requieren de accesorios de conexión tales como estaquillas, microtubos de 4 mm, copla para microtubo, conector para microtubo-microaspersor, adaptadores, etc.

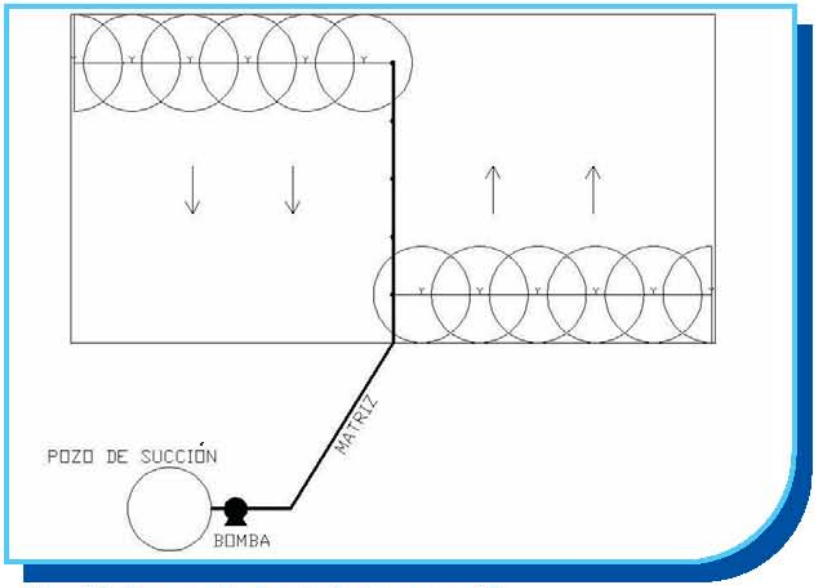


Figura 37. Esquema de obra de riego por aspersión.

1. *Descripción de la obra*

El sistema de riego por aspersión es una técnica de riego en donde el agua se aplica en forma de lluvia producida por chorros de agua presurizada emitidos por aspersores. En este sistema el agua se distribuye en círculo o sectorizada en el caso de las orillas y esquinas del potrero.

Existe una gran variedad de sistemas de aspersión. Desde un sistema básico con 1 ó 2 aspersores conectados a una manguera flexible (tipo bombero) hasta las grandes máquinas de riego autopropulsadas (pivote central, alas de avance frontal y carretes hidráulicos). Hay sistemas de aspersión fija o de *cobertura total*, que emplean tuberías (de PVC o aluminio) y emisores de bajo costo (de plástico o metálico). Existen equipos semimóviles, con la unidad de bombeo fija, la tubería principal enterrada, y el resto de las tuberías móviles. En otros casos, todos los elementos son móviles, incluyendo la unidad de bombeo que puede ser una motobomba o una **tractobomba** conectada al eje toma de fuerza de un tractor.

El riego por aspersión presenta ventajas considerables en relación al riego gravitacional en las siguientes condiciones:

- Terreno de topografía irregular.
- Suelos con alta velocidad de infiltración.
- Suelos delgados.
- Suelos susceptibles a la erosión.
- Su eficiencia de aplicación alcanza un 75%.

2. *Componentes de la obra*

Los elementos básicos que componen un equipo de riego por aspersión son los siguientes:

- Unidad de bombeo.
- Cabezal de control.
- Red de tuberías.
- Hidrantes o tomas.
- Aspersores.

• ***Unidad de bombeo:*** Consiste en un equipo de bombeo conformado por una bomba centrífuga, con motor eléctrico, una motobomba o una tractobomba, con el objeto de aspirar el agua desde la fuente e impulsarla con presión hasta el cabezal de control, red de tuberías y aspersores. En algunos casos, cuando existe una diferencia de altura de más de 30 metros entre la fuente de agua y la superficie de riego, no se necesita instalar una motobomba para hacer funcionar sistemas de aspersión de presión media. Entonces, se dice que el sistema funciona con *"presión gravitacional"*. La unidad de bombeo puede conformarse de los siguientes elementos:

- Cámara de aspiración.
- Canastillo y válvula de succión.
- Tubería de succión.
- Bomba.
- Accesorios y fittings de descarga.

• ***Cabezal de control:*** El cabezal de control que se utiliza en el riego por aspersión es mucho más simple que el de los sistemas de goteo. Normalmente no se requieren filtros de mallas, salvo en el caso de aspersores con boquilla muy pequeña (emisores comúnmente usados para el riego de jardín). Tampoco se acostumbra instalar una unidad de inyección de fertilizantes, para evitar los daños en el follaje. Los otros elementos que componen el cabezal son manómetros, válvulas o llaves de paso y reguladores de presión.

• ***Red de tuberías:*** En el caso de un sistema de aspersión semimóvil, las tuberías matrices de PVC van enterradas y reciben el nombre de matriz y secundarias, según la posición que ocupan en la red, llegando hasta los hidrantes. Las líneas de aspersión o *"laterales"* van siempre sobre el terreno, pueden ser de aluminio o de PVC sobre las cuales se ubican los aspersores o emisores, que se ubican a una misma distancia sobre la línea (generalmente esta distancia es igual al radio del círculo que moja un aspersor). Para el caso del sistema de aspersión móvil, todas las tuberías están dispuestas sobre el terreno, y pueden ser de aluminio o PVC.

Los tubos de PVC de unión rápida (acople metálico) se presentan en los siguientes diámetros: 50, 75, 90, 110 y 140 mm.

Los tubos metálicos son de fierro galvanizado o de aluminio típicamente en diámetros nominales de 50 mm para cobertura y 3”- 4”- 6” para acoples en alta presión.

• ***Hidrantes:*** Son las bocas de riego o tomas de agua, ubicadas a lo largo de la tubería matriz, a las cuales se conecta el ramal de riego o lateral. El dispositivo principal de un hidrante consiste en una válvula que impide la salida del agua cuando se desacopla una línea de aspersores.

• ***Aspersores:*** Éstos son los elementos encargados de distribuir el agua en forma de lluvia. Su función es pulverizar el chorro de agua en gotas finas y repartirlas uniformemente por el terreno. Los aspersores más utilizados son del tipo giratorio, con una o dos toberas provistas de boquillas calibradas cuyo diámetro oscila entre 2 y 20 mm. El aspersor gira alrededor de su eje, lo que le permite regar en círculo cuyo radio corresponde al alcance del chorro. Los aspersores agrícolas más utilizados son de conexión macho en ½", ¾" y 1". Para el riego de praderas establecidas es común el empleo de aspersores de mayor tamaño denominados "cañones de riego", que requieren una bomba de alta presión, por lo que normalmente se emplean tractobombas.

A continuación se presenta la tabla de descarga del aspersor VYR 36, uno de los más utilizados en el sur del país para el riego de praderas, alfalfa, trigo, maíz, papas, remolacha y achicoria industrial.

TABLA 34. Caudal y diámetro de mojado del aspersor VYR 36.

Boquilla	3,57 mm		3,96 mm		4,36 mm		4,76 mm		5,15 mm		5,55 mm	
Presión BAR	Q l/hr	Diám. m	Q l/hr	Diám. m	Q l/hr	Diám. m	Q l/hr	Diám. m	Q l/hr	Diám. m	Q l/hr	Diám. m
1,75	660	26,2	800	27,8	960	29,4	1.140	30,0	1.340	30,8	1.550	31,2
2,10	720	27,0	870	28,8	1.050	30,0	1.250	30,6	1.480	31,4	1.720	32,0
2,46	770	27,6	940	29,4	1.140	30,6	1.360	31,2	1.610	32,0	1.880	33,0
3,16	870	28,4	1.070	30,2	1.290	31,4	1.550	32,4	1.830	33,2	2.140	34,8
3,51	920	28,8	1.130	30,6	1.360	31,8	1.630	32,6	1.930	33,8	2.240	35,6
4,21	990	29,4	1.230	31,2	1.490	32,4	1.780	33,2	2.090	34,8	2.410	36,8

Las zonas sombreadas no son recomendables para una distribución óptima.
Fuente: Catálogo VYRSA 2004.

Cabe mencionar que al momento de diseñar el sistema, el fabricante no recomienda las zonas sombreadas, ya que la distribución de la precipitación no es la óptima, por lo que se debería trabajar con presiones para el funcionamiento del aspersor superiores a 3,16 bar.

3. Normas y criterios de diseño e instalación

Se debe contar con un plano topográfico del sector a regar, a escala adecuada, con curvas de nivel cada 0,5 m donde se ubique los puntos principales utilizados en el diseño. Es necesario contar con algunos datos básicos del clima, suelos y tipo de cultivo, para poder calcular las necesidades de agua de riego en el mes de máxima demanda.

Las instalaciones de riego por aspersión requieren de una potencia media a alta, normalmente superior a 3 HP, lo cual exige, en la mayoría de los casos, contar con energía eléctrica trifásica (380 voltios). En los casos en que la electrificación no sea posible se recurre a generadores de potencia. También se utilizan bombas de alta presión accionadas con motores a combustión interna o acopladas al eje toma fuerza del tractor.

Estos sistemas de riego deben ser diseñados por un profesional competente, quien debe entregar una carpeta de proyecto con el siguiente contenido mínimo: Memoria de cálculo de tuberías y de la bomba; plano de instalación; catálogos de los equipos con fichas técnicas. También es recomendable que el proyectista entregue un manual de operación y mantenimiento del equipo, con algunas indicaciones para el manejo del riego.

4. *Aplicaciones más corrientes*

El sistema de riego por aspersión se utiliza en cultivos tales como trigo, maíz, alfalfa, papas, remolacha azucarera, achicoria industrial entre otros. La aplicación más frecuente en la agricultura campesina es en el riego de papas y remolacha en las regiones del sur del país.

5. *Variantes*

Existe una gran variedad de sistemas de aspersión. Debido al tamaño medio de las explotaciones campesinas, la disponibilidad de mano de obra, y la falta de electrificación rural, los sistemas más utilizados son de cuatro tipos:

a) Sistema de aspersión móvil con un lateral y matrices de aluminio o tubería de PVC de acople rápido y motobomba (diesel o bencinera) o tractobomba.

b) Sistema de aspersión semimóvil con matrices de PVC enterradas y laterales móviles de aluminio o PVC de acople rápido. Accionados por bomba de motor eléctrico o combustión interna.

En casos justificados cuando el cambio de posición del lateral se dificulta demasiado, por ejemplo en el maíz de un metro y medio de altura, pueden ocuparse dos laterales, uno funcionando y otro en espera, con el objeto de ahorrar tiempo en el cambio.

c) Sistema con cañón montado sobre trípode, manguera de alta presión y motobomba o tractobomba.

d) Cobertura total. Este sistema cubre completamente el área a regar con las líneas de laterales, presentando dos variantes.
- Sistema con aspersores fijos
- Sistema con aspersores móviles

En el sistema de cobertura total con aspersores fijos solamente se controlan los sectores de riego mediante la apertura y cierre de las válvulas.

En cobertura total con aspersores móviles éstos se deben ir cambiando de posición. En Chile lo más común es tomar los aspersores con su tubo elevador y el estabilizador y proceder al cambio.

18 Control Automático de Sistemas de Riego

1. *Descripción de la obra*

El *control automático* de un sistema de riego localizado es una obra de montaje eléctrico en baja tensión (24V), con interconexiones hidráulicas muy sencillas, que permiten la apertura y cierre de válvulas a distancia. La automatización de un sistema de riego se recomienda cuando el manejo de los cultivos exige un gran número de sectores de riego independiente, o cuando el terreno de riego se encuentra muy distante del cabezal de control.

Cabe destacar que este sistema no requiere mano de obra para regar, por lo que el agricultor podría aprovechar este tiempo en otras labores.

El sistema de automatización consiste básicamente en los siguientes elementos:

- Programador.
- Electroválvulas.
- Cables de señal.
- Tubería de protección o *conduit*.
- Caja estanca.

• ***Programadores:*** La elección del programador adecuado estará definida por el número de estaciones de riego que se tiene y que estará relacionado con el número de electroválvulas que se desea controlar (apertura y cierre). Se usan también para automatizar el proceso de limpieza de los filtros y para la partida de la bomba.

• ***Electroválvulas o válvulas solenoides:*** Son mecanismos que abren o cierran el paso del agua actuando por excitación eléctrico-magnética. Esta señal les llega por un cable eléctrico. El solenoide abre o cierra el paso de agua en un pequeño circuito, que es el que envía las señales a una válvula hidráulica. No obstante, frecuentemente se denomina "válvula solenoide" al conjunto "válvula solenoide + válvula hidráulica". Estas válvulas pueden ser de plástico o metálicas, en diámetros de 1" - $1^1/_2$" - 2", para caudales máximos de: 5 - 12 - 24 m^3/h, respectivamente.

• ***Cables de señal:*** Se utiliza cobre blando con aislación termoplástica de PVC. Retardante a la llama. Disponible en variadas secciones y diferentes colores.

• **Distancia máxima de cable entre el programador y las electroválvulas:** Esta distancia depende de la presión estática de agua en el sistema de riego y la sección de cable (grosor del conductor) que utilice. Para calcular la sección del cable se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * \varphi * L * I}{V_P} = mm^2$$

Donde:

S : Sección del cable en mm^2

2 : Número de cables

φ : Resistividad específica del cobre 0.0179 ($\Omega * mm^2$)/m

L : Longitud del cable en metros.

I : Intensidad = Consumo en la partida (Amp).

Vp : Voltaje perdido en Volt.

La tensión de apertura de las distintas válvulas es de 24 volt, pudiendo existir una pérdida de voltaje menor de un 20% para garantizar su funcionamiento. Con una intensidad máxima de 0.4 Amp.

Ejemplo:

$$S = \frac{2 * 0.0179 * 500 * 0.4}{4.8} = mm^2$$

$$S = 1.49\ mm^2$$

Por lo tanto se selecciona el cable de 1.5 mm^2.

En la tabla 35 se presentan las secciones de los cables de las electroválvulas para ayudarle en la elección del cable a instalar.

TABLA 35. Sección del cable de la electroválvula.

Sección del cable				
	1,5	2,5	4	6
Distancia máxima (m)				
1 Solenoide/estación	450	750	1.200	2.000
2 Solenoide/estación	275	400	695	1.040

3. *Aplicaciones más corrientes*

El control automático tiene aplicaciones en el riego propiamente tal, en el fertirriego y en la producción de ambiente controlado (por ejemplo, propagación de plantas bajo control de humedad y temperatura).

El automatismo es un elemento que no puede faltar en los sistemas de riego que presenten algunas de las siguientes condiciones: a) Elevado número de sectores (típicamente 9-12-18) como ocurre en los cultivos de flores y hortalizas en invernadero; b) Difícil acceso como ocurre en las plantaciones frutales ubicadas en laderas de cerros (paltos, por ejemplo); c) Gran distancia entre el centro de control y los sectores de riego; d) Necesidad agronómica de aplicar riegos muy frecuentes y de poco volumen.

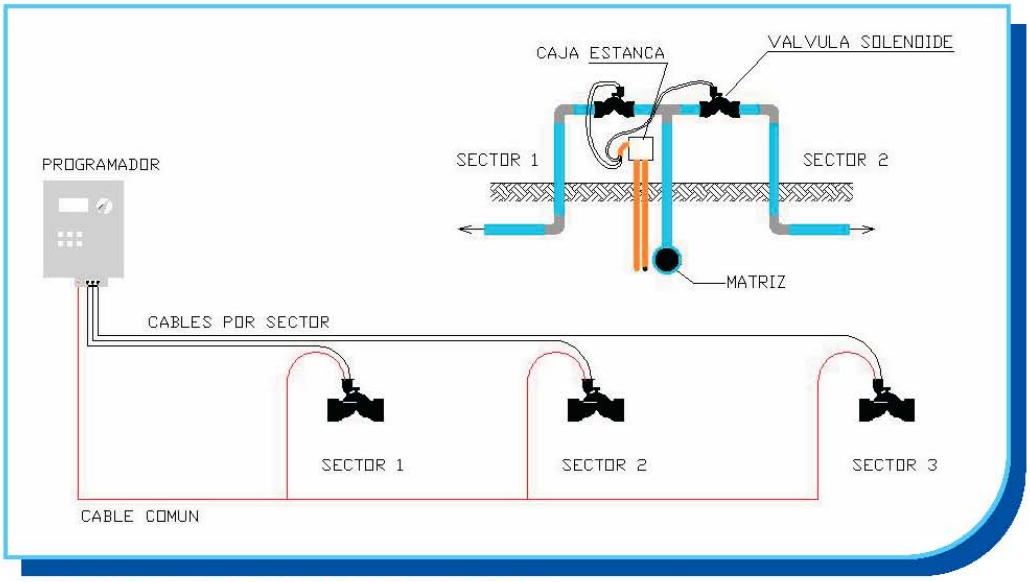


Figura 38. Esquema de instalación de riego automático.

4. Variantes

En general, los sistemas de control automático se clasifican en tres niveles, partiendo de un sistema de control manual, o nivel cero de automatización:

- ***Nivel "cero":*** Es el nivel más bajo de automatización. Consiste en utilizar válvulas manuales para dar paso al agua de riego hacia cada uno de los sectores. El riego se controla por tiempo o por volumen (se usa un medidor de agua). El operador de riego debe ocuparse de la recarga de abonos, mantener los filtros limpios, revisar emisores por el posible taponamiento; abrir y cerrar válvulas de acuerdo con el programa de riego.

- ***Nivel 1:*** En este nivel cada válvula o serie de válvulas debe ser puesta en marcha antes de cada ciclo de riego.

- ***Nivel 2:*** En este nivel la válvula o conjunto de válvulas repiten el ciclo de riego automáticamente.

- ***Nivel 3:*** Es el nivel de automatismo total en base a microprocesadores. En la actualidad es posible programar los riegos por períodos largos (15 días por ejemplo) y controlar su funcionamiento desde un teléfono móvil.

- REVESTIMIENTO DE TRANQUES CON GEOMEMBRANA
- NIVELACIÓN DE SUELOS
- SISTEMA DE DRENAJE CON DREN TOPO
- REHABILITACIÓN TRANQUES Y CANALES

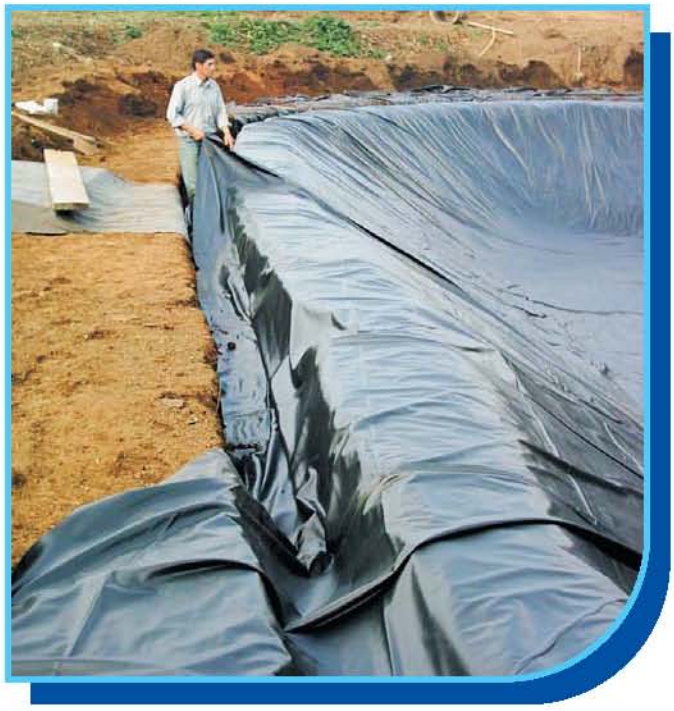
19 Revestimiento Tranques con Geomembrana

1. *Descripción de la obra*

La obra consiste en el suministro, colocación y anclaje de una lámina confeccionada con materiales de distinta naturaleza orgánica con el propósito de impermeabilizar un tranque ya construido (reparación o mejoramiento) o como parte del proyecto de construcción de un tranque cuando el suelo es muy permeable. Con esta técnica se procura eliminar la posibilidad de fugas y filtraciones importantes a través del piso y muros del tranque, las que aparte de reducir el volumen efectivo de embalse diario o semanal, podrían poner en riesgo la obra de acumulación.

Esta obra incluye las siguientes partidas:

- Preparación y afinamiento de taludes y piso del tranque, hasta obtener superficies limpias, libres de piedras y de raíces.
- Excavación de las zanjas de anclaje a lo largo del muro.
- Suministro de paños preconfeccionados de la geomembrana seleccionada.
- Instalación de la geomembrana, mediante soldadura de los paños.
- Tensión y anclaje de la lámina.



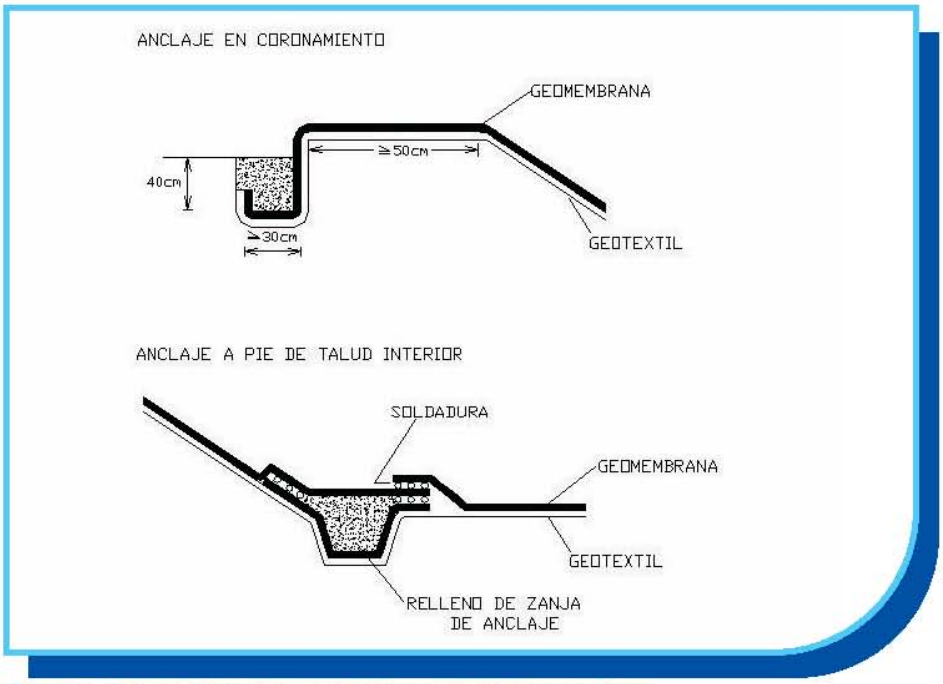


Figura 39. Anclaje de revestimiento de tranques con geomembrana.

3. *Aplicaciones más corrientes*

La impermeabilización de tranques con geomembranas es una técnica que ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos 10 años, desde sus inicios en la zona norte del país. Diversos factores han influido en la masificación del uso de geomembranas: Amplia oferta de materiales y espesores; calidad de los materiales; simplicidad y rapidez de instalación; fácil control de la ejecución; beneficios fáciles de visualizar; mayor durabilidad; posibilidad de hacer reparaciones.

Se reconocen básicamente tres aplicaciones:

- Impermeabilización de tranque desde su inicio, en consideración al tipo de material de suelo existente en la obra. El diseño debe contemplar la unión con obras de hormigón y tuberías de PVC, cemento comprimido o acero.
- Impermeabilización de tranque que ha tenido dos o más temporadas de uso, la cual puede ser total o parcial según cual sea la naturaleza y magnitud del problema de filtraciones.
- Impermeabilización de estanques excavados o acumuladores pequeños, sin salida, diseñados para la operación diaria de un sistema de riego localizado.

4. *Tipos de láminas*

Se comercializan dos productos en el mercado: La geomembrana de PVC y la geomembrana de polietileno.

a) *Geomembrana de PVC (policloruro de vinilo)*. Es una lámina de PVC plastificado homogéneo que se comercializa en espesores de 0,5; 0,8; 1,0; y 1,2 mm. Las dos últimas se pueden formular con aditivo anti-UV (color gris). Entre las ventajas del PVC se mencionan: mayor resistencia; mayor resistencia a la abrasión; buen sistema de empalme; se preparan paños preconfeccionados de mayor tamaño; mayor flexibilidad. Las desventajas son el rápido envejecimiento al sol (si no contiene aditivo anti-UV); costo más alto que el polietileno; y mayor peso de embarque.

b) *Geomembrana de PE (polietileno)*, la encontramos en baja y alta densidad.

b.1) *Geomembrana de LLDPE (polietileno de baja densidad lineal)*. Producto disponible en superficie lisa y/o texturada en espesores desde 0,3 a 2,5 mm y 1 a 2,5 mm, con ancho máximo de 8 a 13,5 m respectivamente, es lo suficientemente flexible para tomar la forma y adherirse a las paredes pronunciadas, excelente resistencia al ataque de agentes químicos y rayos ultravioleta (UV con 2-3% negro de humo). Con la texturización de su superficie la geomembrana provee una excelente resistencia a la fricción.

b.2) *Geomembrana de HDPE (polietileno de alta densidad)*. Producto disponible en superficie lisa y texturada en espesores desde 0,5 a 2,5 mm con ancho máximo de 8 m y en largos según requerimiento, además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y rayos ultravioleta (UV con 2-3% negro de humo), esta lámina texturada provee una excelente resistencia a la fricción.

Tiene las ventajas de un menor costo inicial y un menor peso de embarque.

Entre las desventajas se mencionan las siguientes: Baja confiabilidad de las juntas; piezas de tamaño reducido; es necesario anclarlo para evitar que flote; muy rígido a menos que el espesor sea inferior a 0,2 mm.

La duración o vida útil de una geomembrana instalada depende de las características del producto (formulación química, plastificantes, espesor) y también de la operación y mantenimiento de la obra. Como una regla de la práctica se dice que una lámina de PVC dura 1 año por cada 0,1

milímetro de espesor, por lo que se tiende a recomendar un espesor mínimo de 0,8 mm cuando se exige una duración superior a cinco años.

La lámina de PVC tiene un mayor costo unitario que el PE, pero es más flexible y fácil de trabajar que el PE, a partir del espesor 0,8 mm, y admite reparaciones mediante "parches" localizados en la zona dañada, lo que reduce el costo de mantenimiento. La lámina de PE es un buen producto para impermeabilizar, siempre que no contenga material recuperado.

Con el fin de evitar el fenómeno de la flotabilidad debido a la existencia de napas freáticas se debe considerar la preinstalación de una lámina de geotextil, que permite la conducción de líquidos y gases liberando al sistema de impermeabilización con geomembrana de la presión que éstos puedan ejercer. Además se protege a las láminas de impermeabilización de las presiones y tensiones causadas contra aristas y objetos punzantes del terreno.

Cuadro 4. Características y aplicaciones del geotextil.

El geotextil es una lámina de fieltro punzonado, no tejido, fabricado a partir de fibras especiales de poliéster o de propileno. La unión de sus fibras se realiza mecánicamente por punzonado de agujas y posterior termofilado mediante calor.

Principales Aplicaciones.

- Estabilización de suelos.
- Función separadora entre capas de diferente granulometría.
- Función de filtro en sistemas de drenaje.
- Refuerzo de subsuelos débiles.
- Control de erosión.
- Prevención de reflexión de grietas.

Otras Aplicaciones.

- Jardinería, construcción de vías fluviales y canales.
- Muros de contención de tranques, canales de regadío y de desagüe.
- Captación de aguas subterráneas.
- Geomembranas.
- Impermeabilizaciones. Para impermeabilizar, se fabrican geotextiles de 75 gr/m^2 que hacen más fácil su instalación.
- Protección superficial de taludes contra la erosión.

20 Nivelación de Suelos

1. *Descripción de la obra*

La nivelación de suelos es una labor de acondicionamiento de la superficie del terreno destinada a obtener pendientes uniformes tanto a lo largo del potrero (dirección del riego) como a lo ancho del mismo (acequia madre). El movimiento de tierra se realiza empleando maquinaria e implementos especialmente diseñados para el corte, acarreo y relleno de tierra suelta, obteniéndose rendimientos muy variables entre 0,5 a 2 ha/día por unidad de maquinaria.

La nivelación de suelos es aconsejable en los casos en que la topografía del terreno dificulta o impide el riego superficial, lo que obliga a "achicar" los paños de riego mediante acequias auxiliares para llegar con el agua a un sector que queda seco o sacar el agua de los puntos de anegamiento. La necesidad de contar con paños uniformes de riego, con la máxima longitud posible (hasta 250-300 m según el tipo de suelo), es más evidente en las plantaciones frutales, por las ventajas y facilidades en el manejo del cultivo que se logran con un suelo nivelado.

No se recomienda nivelar un suelo cuando están presentes algunas de las siguientes limitaciones:

- Suelo delgado, con profundidad no superior a 80 cm.
- Suelo de textura arenosa, de infiltración muy rápida.
- Terreno con topografía muy irregular.
- Baja seguridad de riego o disponibilidad de agua insuficiente para toda la superficie de cultivo.

Existen básicamente tres métodos para el cálculo y ejecución de las nivelaciones:

a) Emparejamiento. Consiste en eliminar las elevaciones y rellenar los "bajos" sin conservar ninguna pendiente uniforme. Este método es el más simple y económico. Normalmente el movimiento de tierra no supera los 150 m^3 por hectárea.

b) Nivelación en un sentido. Consiste en nivelar sólo en la dirección del riego, manteniendo una pendiente uniforme a lo largo del paño y sin nivelar en el sentido transversal (a lo ancho). También se le conoce como nivelación por "perfiles". Se mueven entre 250 y 400 m^3 por hectárea.

c) Nivelación en dos sentidos. El movimiento de tierra es entre 500 y 700 m^3/ha, con el objetivo de lograr pendientes uniformes en ambos sentidos (a lo largo y ancho del terreno). Es posible bajar la cantidad de tierra movida a unos 400 m^3/ha, si se divide la parcela o el potrero en sectores más pequeños, con nivelaciones independientes (nivelación por terrazas).

2. *Componentes principales de una nivelación de suelos*

La nivelación de suelos consiste básicamente en los siguientes elementos:

- El estudio topográfico.
- La demarcación de corte y relleno en las estacas.
- El movimiento de tierra para el corte y relleno.
- El control topográfico por perfiles.
- El afinado o micro-nivelación.

El *estudio topográfico* consiste en un levantamiento con nivel sobre un estacado en cuadrícula de 20 x 20 metros, con cotas relativas calculadas al centímetro. Posteriormente, se calcula el movimiento de tierra más económico y apropiado a las condiciones de terreno, con la ayuda de programas de computación especialmente diseñados para probar distintas soluciones para un mismo caso. No importando el método de nivelación, siempre se deberá exigir al consultor

o contratista la entrega de un plano de corte y relleno, con las cotas de terreno (actual) y las cotas de proyecto.

El *movimiento de tierra* se realiza sobre terreno arado y rastreado, empleando una combinación de maquinaria e implementos para el movimiento de tierra: tractor con traílla, motoniveladora y hoja niveladora tipo *Eversman*.

3. Aplicaciones más corrientes

A fines de los años 70 y hasta mediados de los ochenta, las obras de emparejamiento, nivelación y *subsolado* de los suelos fueron profusamente recomendadas como condición previa al establecimiento de huertos frutales (durante el llamado "*boom* de la fruticultura"), a veces justificadamente y en otras ocasiones con más errores que aciertos. Esta práctica se extendió a terrenos destinados a otros rubros, tales como maíz, remolacha, alfalfa para producción de semillas, etc.

En la última década, el movimiento de tierra con fines de emparejamiento o nivelación ha experimentado una fuerte reducción. Esto se debe a la popularidad que han alcanzado los sistemas de riego localizado, que no necesitan mover el suelo, y al menor precio relativo que tienen ahora los equipos y materiales de riego.

El emparejamiento de suelos planos, con algún problema de microrelieve, es una práctica común en las regiones Lib. O'Higgins y Metropolitana. Normalmente esta solución va asociada a un sistema de riego californiano.

Otro sistema de nivelación es mediante equipos automáticos con sensores láser, conocida comúnmente por nivelación láser. Se ha estado implementando en los últimos años, especialmente en suelos arroceros, al sur de la región del Maule y norte de la región del Biobío.

Nivelación con sistema láser en suelos arroceros.

Antes de hacer la nivelación se debe preparar correctamente el suelo, iniciando las labores con una buena aradura y afinado con rastrajes sucesivos. El suelo debe quedar mullido en la profundidad de la aradura, por lo que es fundamental trabajarlo con la humedad adecuada (suelo en estado friable).

Cuando se nivela un suelo para arroz, la cota del cuadro en toda su extensión debe ser cero, o sea que el suelo debe tener la misma altura en toda su superficie.

El sistema láser es un método moderno de emparejamiento de tierra, de alta eficiencia, con un costo de $160.000 por hectárea (considerando sólo la nivelación) y que permite dejar el suelo a cota cero o con otra pendiente prefijada. El sistema láser ha desplazado a las demás metodologías de nivelación.

Principio de funcionamiento: la nivelación con el sistema láser tiene como fundamento la copia en el suelo de un plano de luz formado por un emisor, y cuyas características le han sido dadas al entregársele la cota de trabajo, que corresponde a la altura media de la superficie a nivelar. La pendiente del plano de luz es transmitida a la pala niveladora mediante una orden de subir o bajar, dada por un pequeño computador que va junto al operador en el tractor. El plano de luz tiene la garantía de otorgar una cota precisa para un círculo que tiene un radio máximo de

300 metros. Si se continúa trabajando el suelo más allá de los 300 m, se acumula el error producido por efecto de la curvatura de la tierra, se pierde la precisión y el terreno queda desnivelado.

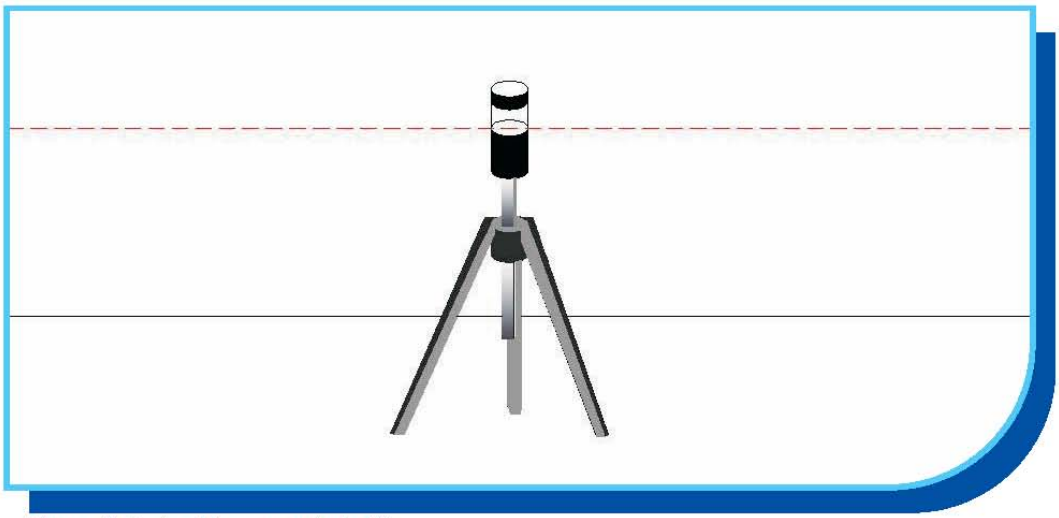


Figura 40. Emisor láser para nivelación.

Equipo de trabajo: el equipo de nivelación por el sistema láser está constituido por cuatro partes: el emisor, el receptor, la caja de control (computador) y la pala niveladora para traslado de la tierra.

El emisor: establece sobre el área de trabajo un plano de luz (láser), delgado y estable, manteniéndolo constante en la pendiente deseada por el usuario, la que ha sido entregada previamente. El emisor está formado por un trípode para su instalación y el emisor propiamente tal (figura 1).

El emisor emite un rayo de luz láser infrarrojo que rota a 600 rpm en un plano horizontal. Con esta velocidad el rayo forma un plano de luz que cubre el área de trabajo.

El plano de luz se usa como referencia, a partir de la cual el receptor, ubicado en el mástil, entrega información a la caja de control (computador) para el control del movimiento de la pala.

El receptor: el receptor es el encargado de recibir la información, procesarla en la caja de control y enviar las órdenes al equipo. Cuenta de dos partes: el mástil y la caja de control.

El mástil es un dispositivo electromecánico que localiza el plano de luz láser y entrega la información al receptor. El tractorista recibe las indicaciones mediante tres luces de colores, que le indican la ubicación del plano láser: superior, intermedia e inferior. Deberá operar con la luz verde (intermedia) que indica que el receptor está bien ubicado en el plano de luz. El mástil puede ser de dos tipos: manual o eléctrico. Se diferencian entre sí por su forma de trabajo y costo. El mástil manual hace lecturas de cotas igual que el automático, pero en la obtención de la cota media del terreno el operador debe hacer el cálculo a mano y regularlo para encontrar el plano láser. El mástil automático entrega lecturas de cotas, calcula la cota media y ubica en forma automática el plano láser ya establecido por el emisor. Una vez que se ha entregado la cota de trabajo al emisor, los dos mástiles funcionan iguales.

Nivelación láser con cuadros ya construidos

Cuando el sistema de nivelación láser se aplica sobre campos previamente sistematizados y con los cuadros ya diseñados y construidos, alcanza su máxima precisión y eficiencia, porque está muy relacionado con un estudio de suelo que señala el máximo de corte y traslado de tierra.

Esto se traduce en una excelente nivelación de suelos y en la disminución de la pérdida de fertilidad.

Lo primero es instalar el emisor en un sector que permita la máxima utilización del plano láser teniendo en cuenta que funciona en forma correcta a una distancia de 300 metros, y se nivela el equipo a cota cero.

Después de instalado el emisor se procede a sacar la cota media del cuadro, la que se obtiene recorriendo con el receptor los bordes del cuadro o en zigzag. Primero el receptor se coloca en la parte más alta del cuadro, allí se busca con el mástil el plano láser. Enseguida se hace el recorrido.

Si el mástil es mecánico, el operador deberá tomar nota de la cota cada 10 vueltas de la rueda delantera y, al final, sacar manualmente el promedio de la cota del cuadro (ésta es la única diferencia de operación con el mástil eléctrico).

Si el mástil es eléctrico, la cota promedio es obtenida en forma automática.
Una vez que se obtiene la cota promedio, con ella se procede a regular el emisor, de manera que la cota entregada forme el plano de luz que servirá como guía para hacer el emparejamiento.

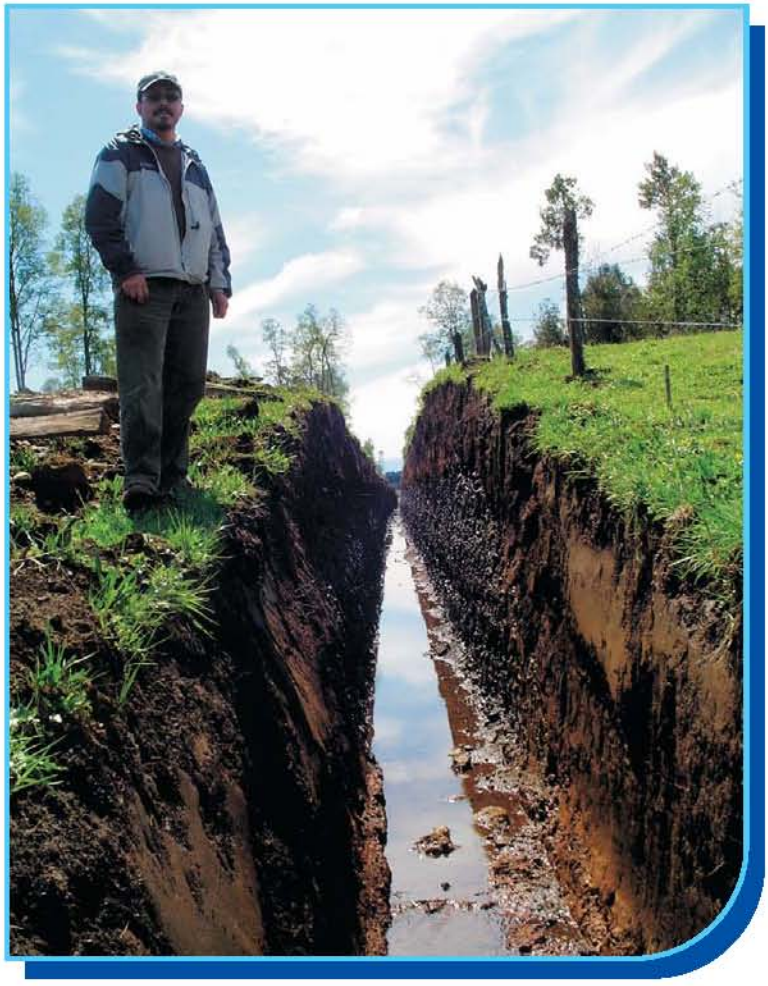
Nivelación láser sin construcción previa de cuadros

En Chile se ha desarrollado la práctica de nivelar con sistema láser sin la construcción previa de los cuadros ni tampoco con una sistematización adecuada. Los resultados, en muchos casos, han sido buenos y en otros de regular calidad. Tiene la gran ventaja de la rapidez de trabajo, pero el inconveniente de la falta de un buen estudio de suelo, hecho que limita la conservación de sus características de fertilidad.

Este sistema también se inicia desde la parte más alta del terreno. Allí se fija el plano láser y se comienza nivelando a cota cero hacia las partes más bajas. Al bajar la pala sobre los 10 cm, el tablero de luces indica al operador que debe cambiar el mástil de posición. Para esto se ha establecido una regla en el mástil que permite hacer el cambio. El operador baja 10 cm el mástil y vuelve a nivelar, hasta que el tablero indique un nuevo cambio de posición del mástil. En cada cambio quedará indicado el desnivel en el suelo y en esa marca se deberá construir el pretil.

Fuente: Santiago Hernaiz L. Roberto Alvarado A. Revista INIA Tierra Adentro, marzo-abril de 2007.

21 Sistema de Drenaje con Dren Topo



1. *Descripción del problema*

En el sur de Chile, el problema de mal drenaje que presentan los suelos es de tipo superficial, es decir, se produce una saturación del suelo por causa de las intensas lluvias invernales, y escurrimiento desde áreas adyacentes hacia las depresiones del terreno.

En este estado de saturación, el agua ocupa prácticamente todo el espacio poroso del suelo, produciéndose asfixia y reducción del sistema radical, con una fuerte reducción del rendimiento y calidad de las cosechas.

Cuadro 5. Efectos del mal drenaje

CONDICIÓN O CARACTERÍSTICA	SUELO BIEN DRENADO	SUELO MAL DRENADO
Aireación del suelo	15 - 20% de oxígeno	Menos de 5% de oxígeno
Temperatura del suelo	Normal	1 a 5º C más baja
Disponibilidad de nutrientes	Normal	Escasa a nula
Capacidad de soporte del suelo	No hay compactación se mantiene estructura del suelo	El suelo pierde la estructura y se compacta fácilmente
Preparación de suelos	Óptima y oportuna	Deficiente y con retraso
Plagas y enfermedades	Incidencia normal	Se acentúa el problema posible
Daños a infraestructura	Se facilita el mantenimiento de caminos y obras	Posible daño y menor vida útil de caminos y obras

En la región de Los Ríos el problema de mal drenaje afecta a una superficie cercana a 180.000 hectáreas, mientras que en la región de Los Lagos, la cifra se eleva a 375.000 hectáreas, de las cuales unas 250.000 corresponden a suelos "ñadis". Este problema afecta a más del 30% de la superficie con aptitud agropecuaria en ambas regiones.

El exceso de agua sobre el suelo o en el interior del mismo, puede ser ocasionado por la acción conjunta de uno o más de los siguientes factores: Lluvias de gran intensidad o duración, inundaciones, riegos, suelo, topografía y filtraciones.

Los problemas de mal drenaje presentan características propias tanto en magnitud, tipología y grado de complejidad, lo cual implica que cada proyecto de drenaje agrícola es único, y se requiere un estudio de reconocimiento y diagnóstico en terreno.

2. Descripción de la obra

El sistema de drenaje "Zanja-Dren Topo" consiste básicamente en una red de zanjas colectoras asociadas a una zanja de mayor tamaño (dren principal) complementada a su vez con una malla de galerías subterráneas.

Los drenes topo son galerías subterráneas construidas en el interior del suelo, de aproximadamente 7,5 cm de diámetro, las cuales están rodeadas de fisuras periféricas, para lograr la recolección de los excedentes hídricos que se acumulan en la zona radicular, mejorando la estructura y permeabilidad del suelo.

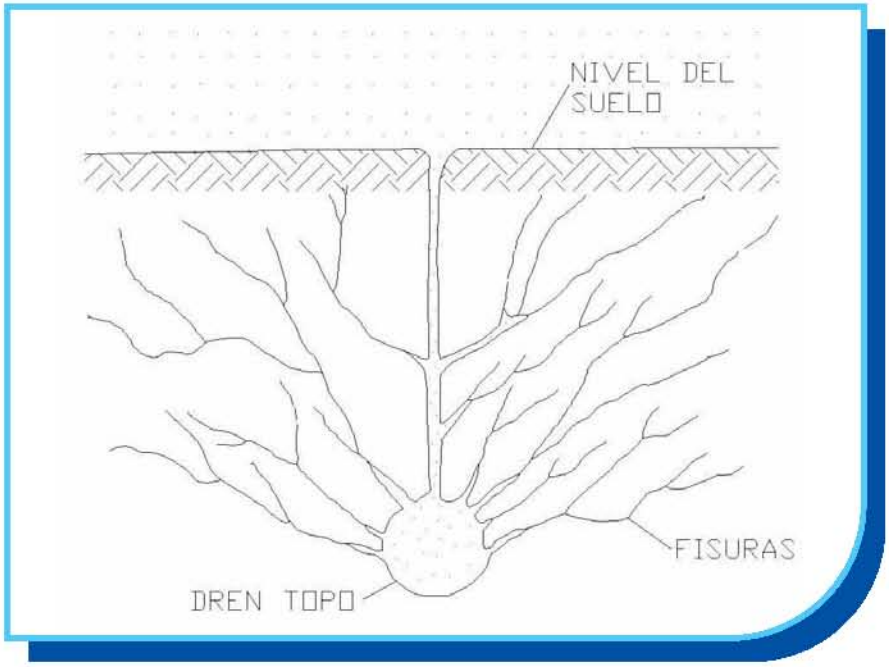


Figura 41. Corte transversal de dren topo.

3. *Componentes de la obra*

Los elementos que configuran una obra de drenaje con el sistema zanja colectora-dren topo son los siguientes:

- Levantamiento topográfico del área a drenar.
- Apertura de faja.
- Excavación de zanjas. Dren principal y zanjas colectoras.
- Trazado del perfil - Limpieza de zanjas.
- Confección dren topo.
- Remoción de material de los bordes.
- Cercado de las zanjas.

Drenes topo: Para construir este tipo de drenes, se utiliza un implemento denominado "arado topo", que puede ser accionado mediante tracción mecánica o tiro animal. Consta básicamente de una barra de tiro, un subsolador, un cilindro de penetración o "topo", y un balín de mayor diámetro que el cilindro de penetración.

Para obtener galerías continuas y rectas se debe trabajar a una velocidad constante (alrededor de 3 km/h), sin interrumpir la labor de confección de los drenes, lo cual asegura la rápida evacuación de las aguas de drenaje en todo su recorrido. El trazado de los drenes topo se realiza en el sentido de la pendiente para producir el flujo, ya que no es posible regular la profundidad de trabajo del implemento.

Diseño de la red de zanjas y drenes topo

Previo al diseño de la red de zanjas se debe contar con un levantamiento topográfico, a escala adecuada y curvas de nivel cada 25 cm.

Generalmente las zanjas se ejecutan siguiendo el trazado de los cercos, para lo cual se debe considerar el apotreramiento existente en los predios.

Se debe identificar los puntos más bajos y zonas de descarga, tratando de optimizar el trazado de las zanjas, ya que este ítem incide fuertemente en el costo del proyecto. Idealmente, las aguas de drenaje deben descargar en cauces naturales o drenes principales de la red mayor.

Construcción de zanjas

La zanja o colector sirve para conducir y evacuar las aguas de drenaje que escurren desde los drenes topo. Las dimensiones de estas zanjas deben ser las mínimas posibles para no encarecer el proyecto.

La zanja normalmente se confecciona a una profundidad de 10-15 cm por debajo de la capa de ***fierrillo***[1], dado que el dren topo siempre quedará por sobre esta capa impermeable. En los casos en que resulten zanjas de mayor profundidad se debe a la necesidad de mantener una pendiente de escurrimiento.

Para obtener los mejores resultados con este sistema de drenaje, la construcción de drenes se debe realizar al final del período de primavera, cuando aún queda humedad en el suelo. Son tres los parámetros que interesan para este tipo de drenes: Profundidad, espaciamiento y longitud.

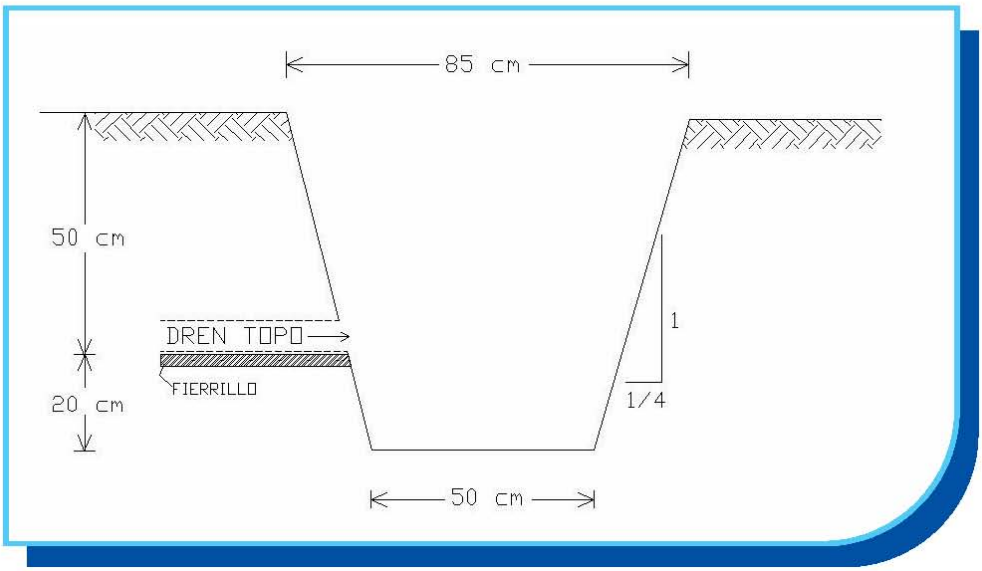


Figura 42. Dimensiones promedio sistemas zanja dren-topo.

Profundidad: Se recomienda una profundidad de trabajo de 50 cm, pero en la práctica depende de la profundidad a la cual se encuentra el fierrillo, ya que el arado topo no puede penetrar esta capa. No se requiere dar una mayor profundidad a los drenes topo, porque el beneficio que se obtendría es mínimo, tratándose de praderas.

1 Fierrillo: En los suelos ñadis, el fierrillo es una capa cementada de algunos milímetros de espesor, impermeable al flujo vertical de agua, que se ubica entre el suelo derivado de ceniza volcánica y el sustrato de ripio.

Espaciamiento: El criterio para seleccionar este valor es que la superficie del suelo quede enteramente conectada a las grietas periféricas. Por lo tanto, el espaciamiento seleccionado debe ser tal, que permita que las grietas de dos pasadas consecutivas, se traslapen lateralmente entre sí, sin dejar espacios superficiales entre pasadas que no estén conectados a las grietas. Se recomiendan espaciamientos no mayores a 5 m. Para praderas permanentes, se recomienda un valor de 2 m. de espaciamiento entre pasadas.

Longitud del dren: Este parámetro depende de la forma y tamaño de los potreros, ya que los drenes topo se trazan desde un cerco a otro, dado que las zanjas colectoras quedan ubicadas en forma contigua a los cercos. La longitud del dren puede llegar hasta 200 m.

Remoción de material

La extracción del material excavado es una partida que debe incluir el proyecto, ya que al dejar material acumulado al borde de la zanja, se obstaculiza el escurrimiento superficial y se producen apozamientos.

Durante la faena de excavación, es conveniente separar la tierra agrícola (capa superior) del ripio (capa inferior), porque la tierra puede utilizarse para el relleno de sectores bajos en los potreros más cercanos. El ripio extraído puede destinarse para el relleno en construcciones o mejoramiento de caminos.

Cercado de zanjas

La zanja debe quedar protegida del paso de animales, para ello se requiere incluir un cerco de diseño adecuado.

22 Rehabilitación de Tranques y Canales

Bajo este nombre se incluye un conjunto de trabajos y servicios contratados para recuperar obras colapsadas o en desuso por falta de una mantención adecuada. En general corresponde a obras de conservación que los usuarios deben asumir por cuenta propia, ya que escapan al concepto de obra de riego propiamente tal, y por tanto no son financiadas con subsidios del Estado.

No obstante esta aclaración, se incluyen dos tipos de obras de demanda corriente en el sector campesino y que son excepcionalmente financiadas por INDAP, como es el caso de situaciones de emergencia agrícola por sequía o inundaciones. También es posible incluir este tipo de trabajos en proyectos de mejoramiento y tecnificación del riego, cuando la obra colapsada dificulta el funcionamiento del sistema de riego extra o intrapredial.

22.a Limpieza de Canales

1. *Descripción de la obra*

La limpieza de canales de riego y acequias de desagüe es una labor de mantención que debiera realizarse cada año, al final de la temporada de riego. Cuando se ha dejado pasar mucho tiempo, la sedimentación (*embanque*) en los desagües se acumula a tal punto que muchas veces es imposible sacar el agua de exceso de los terrenos de riego, por falta de pendiente.

Cuando el problema se ha generalizado, puede afectar a varios predios, los cuales resultan inundados como consecuencia de un desagüe que no funciona como tal. La solución consiste en rebajar el canal o acequia de desagüe, mediante excavación hasta la profundidad del piso original (sello) o, incluso más abajo, si la topografía lo permite a lo largo del cauce.

2. *Componentes de la obra*

El trabajo de limpieza de canales consta de tres etapas básicas:

- Roce y despeje de malezas.
- Estudio topográfico.
- Desembanque.

El ***roce y despeje de malezas*** es una labor que se ejecuta a mano, y generalmente constituye el aporte que hacen los usuarios, dejando al descubierto la sección del canal que va a desembancar.

Del ***estudio topográfico*** se obtienen los perfiles longitudinales y transversales del trazado actual del canal, con los cuales se obtiene la cubicación del movimiento de tierra que se ejecutará. Es una labor previa al desembanque.

El ***desembanque*** propiamente tal se ejecuta con una máquina excavadora. Se emplean básicamente dos tipos de excavadora, una con ruedas neumáticas y otra con ruedas oruga. La elección de una u otra dependerá de las dimensiones del canal (sección y profundidad) y del grado de dificultad de maniobra desde uno de los bordes. En ambos casos, el material removido se deposita en los costados o berma del canal, procurando dejar un borde relativamente parejo, lo cual depende del grado de humedad que éste presente.

22.b Limpieza de Tranques

1. *Descripción de la obra*

Los tranques acumuladores requieren una mantención periódica, que consiste básicamente en la extracción del material de sedimentación que se ha acumulado en el fondo de la poza de inundación. El volumen de sedimentos varía considerablemente entre las diferentes regiones del país y a lo largo del año, constituyendo un problema de importancia en las zonas con ríos de régimen *nival* y mixto. Los canales cuyas aguas provienen de este tipo de ríos presentan una mayor concentración y arrastre de sedimentos durante la época del deshielo, entre noviembre y diciembre.

La mayoría de los tranques pequeños se construyen sin decantador, lo cual acorta la vida útil de los tranques, y exige una limpieza con mayor frecuencia. El trabajo de limpieza de tranques consiste básicamente en la contratación de maquinaria adecuada al volumen de material sedimentado, estado en que se encuentra, y profundidad del embanque.

2. *Tipos de maquinaria utilizada en desembanque*

Al igual que en el desembanque de canales, la limpieza de tranques consta de tres etapas:

- Roce y despeje de malezas.
- Estudio topográfico.
- Desembanque.

El *roce y remoción* de malezas se realiza con máquina excavadora. El *estudio topográfico* se realiza en cuadrícula de 10 metros por 10 metros y tiene el objetivo de determinar el volumen de material que se ha depositado por decantación sobre el piso original del tranque. Para ello se utiliza como punto de referencia la cota del fondo de la obra de toma, es decir, el piso de la compuerta de salida del tranque. El *desembanque* propiamente tal se realiza con cargador y excavadora, comúnmente del tipo oruga. El material removido se va depositando sobre los muros del tranque y los taludes aguas abajo.

- SISTEMA FOTOVOLTAICO
- SISTEMA HIDRÁULICO
- SISTEMA EÓLICO
- SISTEMA DE ARIETE HIDRÁULICO

23 Sistema de Bombeo Fotovoltaico

Foto 47.

La obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos es una alternativa que permite utilizar más eficientemente los sistemas de riego tecnificado en la agricultura familiar campesina, especialmente para los pequeños productores de las zonas de secano cuya lejanía y dificultad de acceso a la red convencional de energía eléctrica encarecen el costo de inversión inicial de un proyecto. También se evita el transporte de combustibles y mantención de motores en el caso de trabajar con equipos de combustión interna. Los costos de operación de un sistema de bombeo fotovoltaico se reducen prácticamente a cero, ya que no incurren en gastos de pagos de energía eléctrica ni combustibles.

Los sistemas de bombeo alimentados con energía solar, a través de paneles fotovoltaicos, adoptan normalmente dos configuraciones básicas:

- Bombas en las que la alimentación del motor proviene directamente de paneles solares fotovoltaicos a través de un adaptador intermedio.
- Bombas conectadas a paneles fotovoltaicos más un conjunto de baterías que permite independizar la operación del sistema de bombeo de la existencia o no de radiación solar.

En el primer caso se estaría hablando de bombas, tanto en corriente continua como en corriente alterna, conectadas a paneles mediante diferentes tipos de dispositivos electrónicos capaces de acoplar los requerimientos mecánicos de las bombas a las capacidades de alimentación ofertadas por el generador fotovoltaico en los distintos momentos del día, y de transformar, si es necesario, la corriente continua suministrada por los paneles en corriente alterna, si ésta es la requerida por el motor de la bomba. En estas condiciones sólo existirá posibilidad de impulsión mientras se sobrepase cierto nivel de radiación solar, debiendo diseñarse el almacenamiento energético requerido para hacer frente a períodos nublados o de insuficiente luminosidad, en forma de estanques de agua a cierta altura.

La segunda opción consiste en remplazar la red eléctrica convencional por una red totalmente equivalente pero alimentada por un generador fotovoltaico, al que se le debe añadir el correspondiente sistema de almacenamiento eléctrico y el convertidor CC/CC o CC/CA adecuado para la carga constituida por el motor de la bomba. La garantía de suministro ofrecida por las baterías permite abordar programas específicos de operación del sistema de bombeo que no son posibles en el caso anterior, tal como ocurre en los sistemas de riego por goteo, con demandas de caudal, presión y tiempo de riego establecidas estrictamente.

Ambas opciones representan dos casos extremos, existiendo en la práctica soluciones mixtas según la instalación. Así, por ejemplo, es habitual emplear una bomba solar para extraer agua de un pozo y de esta manera mantener la capacidad mínima para un depósito y, posteriormente, utilizar una bomba, convencional o no, acoplada a una batería para regar en forma independiente a la radiación.

Componentes de la obra

Considerando las dos configuraciones básicas de los sistemas de bombeo fotovoltaico, podemos distinguir los siguientes cuatro elementos:

- Sistema de generación eléctrica (paneles fotovoltaicos).
- Sistema de impulsión (motor-bomba).
- Sistema de adaptación eléctrica.
- Sistema de almacenamiento.

El sistema de generación eléctrica es un conjunto de paneles fotovoltaicos cuyo número, inclinación y conexionado en serie-paralelo, estará determinado por la configuración y prestaciones requeridas por el equipo de bombeo. La capacidad de generar energía va a depender de dos factores principales:

- La cantidad de radiación incidente sobre el panel, siendo mayores las prestaciones eléctricas del mismo cuanto mayor sea dicho valor de radiación solar.
- La temperatura del panel, cuyo incremento hará disminuir el rendimiento general del proceso de conversión.

El sistema de impulsión está compuesto por el motor eléctrico y la bomba. Al igual que en los sistemas convencionales se debe diseñar el equipo de impulsión de acuerdo a las necesidades de caudal y presión necesarios para la correcta operación del equipo, teniendo en cuenta los inconvenientes asociados al uso de la radiación solar como fuente de energía. Esto resulta importante, ya que, por ejemplo, un sistema de impulsión convencional puede ser muy eficiente en condiciones normales de operación y, sin embargo, necesitar una elevada potencia al momento de partida, lo cual hace imposible iniciar la impulsión del agua porque el generador fotovoltaico o el sistema de adaptación eléctrica son incapaces de hacer frente a esa demanda de potencia inicial.

Sistema de adaptación eléctrica. La conexión más simple entre el sistema de generación eléctrica y el sistema de impulsión es la conexión directa. Este tipo de acoplamiento, aunque simple y en algunas ocasiones relativamente eficaz, tiene una serie de desventajas que hacen necesario considerar la inclusión de dispositivos intermedios de acondicionamiento eléctrico, con el fin de incrementar las prestaciones del sistema de bombeo. Estas desventajas son básicamente tres:

- Los motores a considerar deben ser solamente de corriente continua.
- Se pierde capacidad de impulsión para momentos de baja intensidad de radiación.
- No se puede garantizar de forma estricta el que las condiciones de carga del sistema de bombeo sean las correspondientes a las de potencia máxima ofertada por el generador fotovoltaico.

Los dispositivos de acoplamiento eléctrico entre el sistema de generación y el sistema moto-bomba son los siguientes:

- **Regulador de carga. El regulador de carga es utilizado para cumplir las siguientes funciones:** a) Proteger a la batería frente a sobrecargas y descargas. El regulador podrá no incluir alguna de estas funciones si existe otro componente del sistema encargado de realizarlas. b) Voltaje de desconexión de las cargas de consumo. Voltaje de la batería por debajo del cual se interrumpe el suministro de electricidad a las cargas de consumo. c) Voltaje final de carga. Voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería, o reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador fotovoltaico.

- **Inversor CC/CA (corriente continua / corriente alterna).** Es un dispositivo electrónico cuya función es transformar la CC de la instalación fotovoltaica en CA (220-380 V) para la alimentación de los motores de las bombas, que trabajan con CA y permiten por tanto: a) Utilizar receptores de CA en instalaciones aisladas de la red. b) Conectar los sistemas FV a la red de distribución eléctrica.

El sistema de almacenamiento esta compuesto por una o más baterías cuya función prioritaria en un sistema de generación fotovoltaico es la acumulación de la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de nubosidad. Otra función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento de la partida puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Variantes del sistema

Las variantes están referidas al tipo de bombas y tipo de conexiones eléctricas entre la generación fotovoltaica y el motor eléctrico de la bomba, además del lugar geográfico donde se desarrolle la actividad.

Bomba superficial de conexión directa al panel fotovoltaico. Para este sistema existen en el mercado nacional bombas con motor de corriente continua de bajos caudales y voltajes de 12 o 24 volts conectadas directamente a paneles fotovoltaicos que entregan la potencia necesaria para su buen funcionamiento. Se debe considerar que este sistema solo funcionará correctamente cuando reciba la radiación solar suficiente para la generación de la potencia requerida.

TABLA 36. Características de tres modelos de bomba solar de superficie

CDT (m)	Modelo Boost 60		Modelo Boost 125		Modelo Boost 240	
	Q (L/min)	Watts	Q (L/min)	Watts	Q (L/min)	Watts
10	4,3	40	7,8	55	14,9	90
20	4,2	55	7,8	70	14,7	120
30	4,1	72	7,5	90	14,5	150
40	4,1	80	7,5	105	14,4	200
50	4,0	90	7,4	120		
60	4,0	95	7,0	140		
70	4,0	110	6,8	160		

Bomba solar directa de 24 V puede funcionar con 12 Volt al 50% de caudal y potencia.

Bomba sumergible de conexión directa al panel fotovoltaico. Para este sistema existen en el mercado nacional bombas con motor de corriente continua de bajos caudales y voltajes de 12 o 24 volts conectadas directamente a paneles fotovoltaicos que entregan la potencia necesaria para su buen funcionamiento. Se debe considerar que este sistema solo funcionará correctamente cuando reciba la radiación solar suficiente para la generación de la potencia requerida.

TABLA 37. Características de bomba sumergible (5 horas de sol).

CDT (m)	Corriente (A)	Caudal (L/min)	Volumen (m3)	Requerimiento (batería-panel)
4	5,4	32	9,0	12v - 85 watt
6	5,1	24	7,0	12v - 85 watt
8	8,7	50	15,1	17v-150 watt
10	8,6	44	13,2	17v-150 watt
12	8,5	37	11,0	17v-150 watt
14	8,4	26	7,9	17v-150 watt
16	12,5	50	15,1	24v-300 watt
20	12,5	42	12,5	24v-300 watt
22	12,5	34	10,2	24v-300 watt

Bomba superficial o sumergible con uso de baterías. En este tipo de conexiones se utilizan baterías de almacenamiento de energía, con lo cual se puede bombear agua en horas de baja o nula radiación solar. En el caso de utilizar bombas con motor de corriente alterna se debe utilizar un inversor CC/CA.

Las figuras que se presentan a continuación representan las distintas conexiones que se pueden lograr según la complejidad de los equipos de riego.

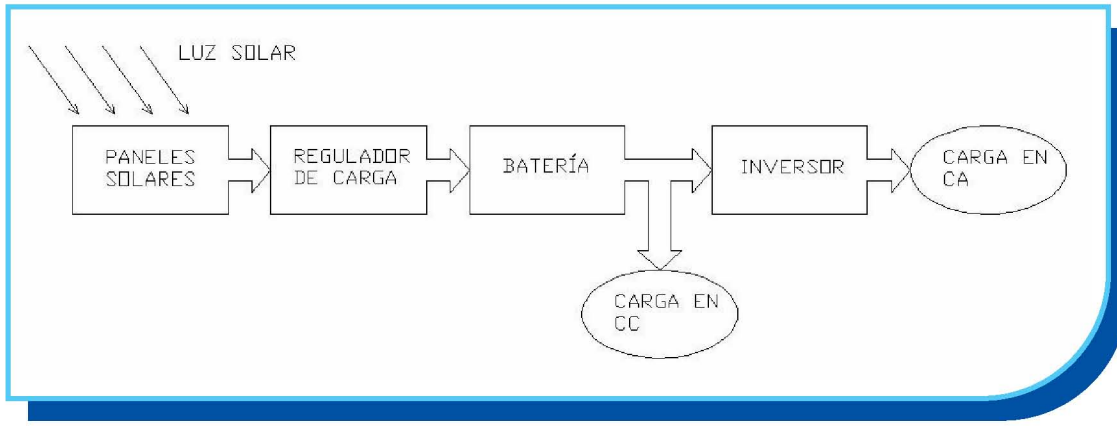


Figura 43. En este diagrama se representa una conexión con todos los elementos necesarios para obtener energía eléctrica, ya sea de corriente continua (CC) o corriente alterna (CA) obtenida desde el inversor, con su respectivo sistema de almacenamiento (batería) para funcionar en las horas de baja radiación, durante la noche o suministrar la potencia necesaria al momento de la partida de la bomba.

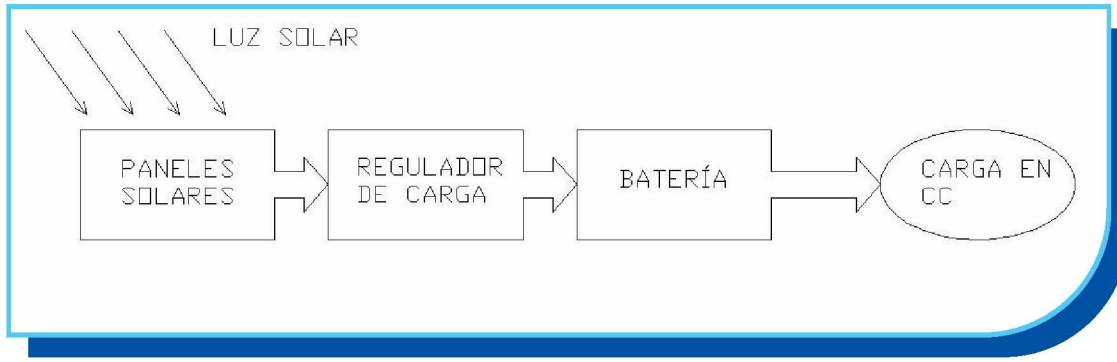


Figura 44. En este diagrama se representa una conexión con los elementos necesarios para obtener energía eléctrica de corriente continua (CC), con su respectivo sistema de almacenamiento (batería) para funcionar en las horas de baja radiación, durante la noche o suministrar la potencia necesaria al momento de la partida de la bomba.

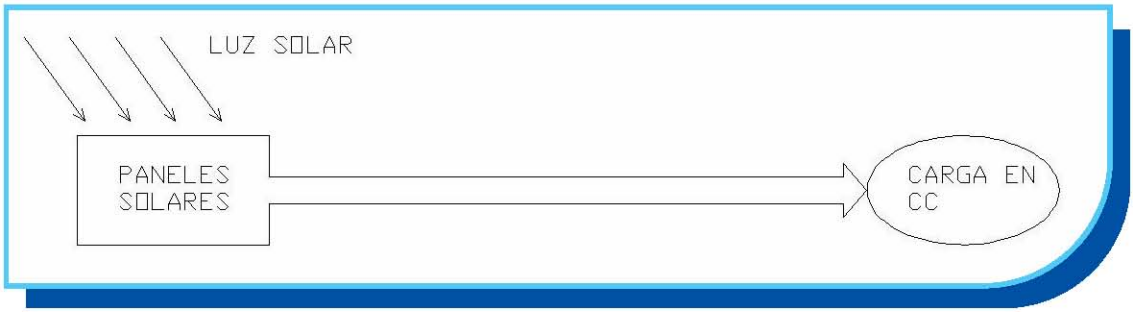


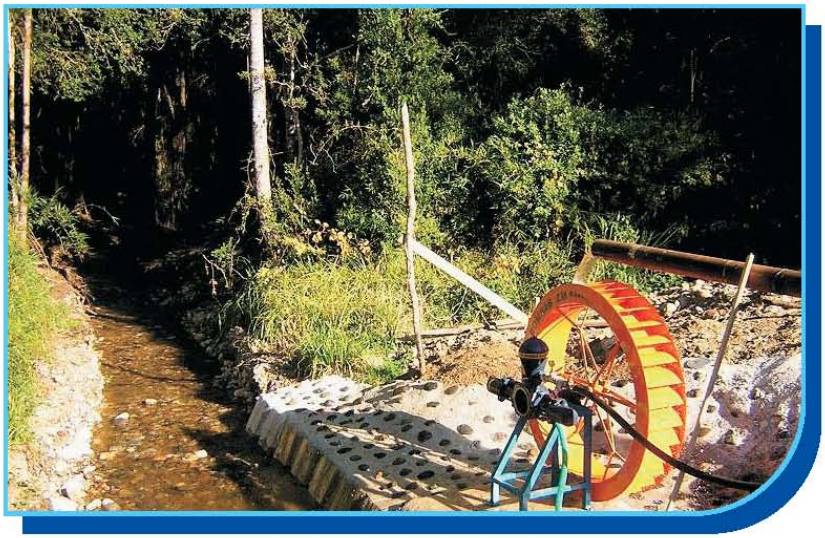
Figura 45. En este diagrama se representa una conexión directa entre el panel fotovoltaico y el motor de la bomba, que en este caso debe ser solamente de corriente continua. Cabe considerar que la bomba sólo funcionará cuando el panel fotovoltaico capte la radiación suficiente para generar la potencia requerida por la bomba.

Ejemplo de aplicación:

Una bomba solar sumergible (conexión directa al panel FV) que entregue un caudal de 200 LPH satisface el requerimiento de un sistema de goteo de baja presión para 300 emisores de 0,67 LPH. Si el espaciamiento entre goteros fuese 30 cm, se tendría una longitud total de línea de goteo de 90 m (300*0,3) por módulo, esto es aprox. 120 m2 de superficie de riego. Al disponer de un mínimo de 6 horas diarias de bombeo fotovoltaico, se podría instalar hasta 6 sectores o módulos de riego, conectados a una sola bomba, aproximadamente 700 m2 en total.

Fuente: Sistemas de Bombeo eólicos y fotovoltaicos. M. Castro, A. Colmenar, M. Pérez, J. M. Perulero, R. P. Fiffe.

24 Sistema de Bombeo Mediante Energía Hidráulica



Ruedas Hidráulicas con Bombas de pistón

Las unidades de bombeo estándar con rueda hidráulica y bomba de pistón ZM, conforman un conjunto simple y robusto para la impulsión de agua de uso doméstico, agrícola y ganadero. Teniendo presente la gran diversidad de condiciones de terreno, se deben diseñar y construir los elementos de adaptación para capturar el máximo de la energía disponible. Actualmente, y aprovechando las condiciones geográficas del sur de nuestro país se ha instalado este tipo de unidades de bombeo en las comunas de Los Lagos, Calafquén, Osorno, Vilcún, Cunco, San José de la Mariquina, Lago Ranco, Carahue, Puerto Varas y Frutillar entre otras.

Una de las características importantes de los conjuntos diseñados es asegurar la impulsión de agua limpia.

Las BOMBAS ZM son las únicas bombas del mercado cuyo mecanismo de acción contempla la posibilidad de regular el caudal impulsado, ya que poseen un sistema de "cambios" que puede ser fácilmente accionado. De esta forma, la rueda hidráulica se adapta a las variaciones de caudal que ocurren a través del año en toda fuente de agua, asegurando siempre la llegada de agua al estanque.

Existen siete modelos de bombas de pistón entre los cuales es posible seleccionar la más adecuada, de acuerdo a las necesidades de cada cliente.

TABLA 38. Caudal de extracción de agua según modelo de bomba y velocidad de la rueda hidráulica.

Cuadro de Producción (Litros/Día)			
Modelo de Bomba	Velocidades de la rueda		
	8 RPM	15 RPM	30 RPM
Maxxi 38	2.351	4.536	9.100
Maxxi 1p 51	1.360	2.750	5.141
Maxxi 44	2.722	5.252	10.537
Maxxi 51	3.984	7.704	15.408
Maxxi 63	6.720	12.640	25.280
Maxxi 75	11.952	22.680	45.360
Maxxi 95	19.536	36.648	73.296

CAPACIDADES Y RENDIMIENTO

- Caudal de bombeo: Desde 1.000 a 85.000 litros por día.
- Altura máx. de bombeo: 300 m de desnivel.
- Distancia máx. de impulsión: 12.000 m.
- Altura máx. de succión: 7 m.
- Longitud máx. de succión: 60 m.

TIPOS DE RUEDAS

Rueda De Turbina

Esta línea de ruedas es la más eficiente, particularmente, cuando el flujo de agua energizante ingresa a la rueda por la parte superior. En términos prácticos, la velocidad no debería ser superior a 30 RPM especialmente en los modelos de dos o más metros de diámetro para evitar pérdidas de agua por chapoteo. La gran versatilidad de este conjunto permite incluso el ingreso del agua a los álabes por la parte inferior de la rueda lo cual disminuye la potencia, pero ésta puede ser compensada utilizando un mayor caudal. En los cauces de muy baja pendiente y obstruidos por árboles, se instala un ducto en "By Pass" con una pendiente menor a la del cauce, de esta forma queda fuera del cauce.

En términos generales las ruedas de turbina fabricadas en serie (1,6 - 2 m de diámetro), pueden trabajar con caudales de hasta 50 l/s.

La mantención de estas bombas es muy sencilla, sólo hay que preocuparse del aceite, suelas y válvulas (anillos del pistón).

Unidad Flotante

Cuando el cauce disponible tiene grandes variaciones de nivel, a través del año, y su ancho es superior a 4 metros, resulta ventajoso instalar las ruedas de paleta sobre una estructura flotante la que a su vez es sostenida por cables desde la orilla o anclada al fondo del cauce.

Si bien el conjunto flotante mantiene un nivel de flotación, la rueda propiamente tal está montada sobre un sub-marco el cual permite regular la profundidad de trabajo de las paletas en el agua y a su vez, este sub-marco permite retirar completamente la rueda del agua para efectuar trabajos de mantención o regulación. Una longitud correcta de los cables de anclaje, da suficiente flexibilidad al sistema para absorber todas las variaciones de altura del cauce. Las unidades flotantes son compatibles con toda línea de bombas ZM.

Rueda Tipo paleta

Las ruedas tipo paleta, tienen aplicación en cauces de volumen medio, entre 50 y 1.500 lts/seg. Las ruedas tipo paleta ZM pueden ser empleadas ventajosamente en arroyos, canales de riego y zanjas de drenaje o montadas sobre flotadores cuando el ancho y caudal del cauce dificulta o impide la construcción de alguna obra civil.

Con el objeto de aumentar la potencia extraíble se pueden instalar varias unidades en serie sobre un mismo eje, en el cual, se puede acoplar una o dos bombas según las necesidades de agua.

En aquellos cauces, en donde la variación de nivel (invierno - verano), es menor a 150 metros, se puede instalar una unidad con soporte de altura regulable y con la posibilidad de agregar un accesorio multiplicador de revoluciones para maximizar la capacidad de bombeo de la unidad.

25 Sistema de Bombeo Mediante Energía Eólica

Energía eólica

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética (movimiento) generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

Cómo se obtiene la energía eólica

Para que esta energía pueda ser aprovechada, hay que conocer las variaciones del viento durante el día y la noche, entre estaciones del año, los cambios de velocidad a diferentes alturas sobre el suelo, y la existencia de ráfagas de máxima velocidad, con datos históricos de 20 años. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que éste alcance una velocidad mínima que depende de la máquina que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 7 km/h y que no supere los 90 km/h.

Molinos de viento

El molino de viento clásico consiste en una estructura de madera o metálica de forma troncopiramidal, de base cuadrada, en cuya parte superior hay unas aspas que transforman la energía del viento en energía mecánica (movimiento). La energía eólica se utiliza en la generación de electricidad en zonas rurales, junto a otras ventajas y aplicaciones. Los molinos de viento son un excelente medio para extraer agua desde pozos someros, prácticamente no necesitan mantenimiento, tienen larga duración y satisfacen las mismas necesidades que ofrece cualquier otro equipo que no funcione con energía eólica.

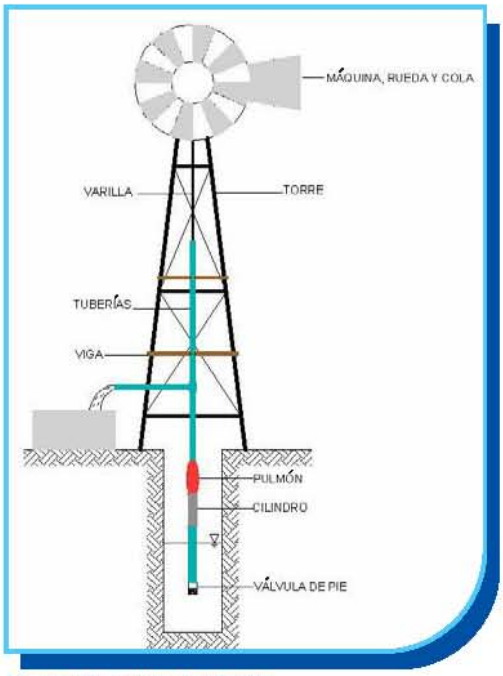


Figura 46. Molino de viento.

Se denomina molino[1] al conjunto de la máquina, la rueda, la cola, la bomba, las tuberías de aspiración y elevación y la torre necesaria para su implementación.

Estas máquinas son utilizadas en el sector agropecuario para el abastecimiento de agua en la producción pecuaria y avícola, como también en localidades rurales, para el suministro de agua potable, uso doméstico, y riego en pequeña escala (huertas, invernaderos, etc.). La potencia del viento es capturada y utilizada en dos pasos:

- En primer lugar, el ventilador (rueda) ubicado en la parte superior de la torre gira cuando sopla el viento. Aquí es donde la energía del viento es capturada.

- En segundo lugar, justo debajo de la rueda, una larga vara se mueve de arriba hacia abajo. Esta varilla es propulsada por el motor del molino de viento. Este motor es un conjunto único de engranajes mecánicos que convierte el movimiento de rotación de la rueda en un movimiento vertical (arriba y abajo) que mueve una bomba cilíndrica ubicada en la profundidad del subsuelo.

La bomba cilíndrica

La bomba cilíndrica no utiliza succión de alta potencia, sino que crea una “columna de agua” desde la napa hacia la superficie dentro de la tubería, desde abajo hacia arriba. Esto se consigue creando un flujo de agua dentro de la tubería, constantemente empujando el agua hacia arriba. Dos válvulas de succión (superior e inferior) trabajan juntas para mover el agua del pozo hacia la parte inferior de la tubería y luego empujar la columna de agua hacia arriba. Debido a la constante adición de agua en la base de la columna de agua, la tubería se llena y el agua se vierte hacia la superficie, en un estanque de almacenamiento.

Para un determinado régimen de viento, el volumen de extracción de agua de un molino depende del tipo de máquina y del diámetro del ventilador (rueda). Las dimensiones de la rueda, del cilindro de la bomba y de las tuberías de aspiración y de elevación, deben guardar una determinada relación para que el equipo funcione eficientemente y se obtengan los mejores resultados.

Como orientación, los fabricantes de molinos entregan tablas con las dimensiones del molino (y sus componentes) y su relación con la altura de elevación (H) y caudal posible de extraer (Q).

1 Un molino es un artefacto o máquina que sirve para **moler**. Por extensión, el término molino se aplica a los mecanismos que utilizan la fuerza de viento para mover otros artefactos, tales como una bomba hidráulica o un generador eléctrico.

Tabla 39. Profundidad y caudal de extracción de agua según modelo del molino.

TABLA DE PROFUNDIDADES														
RUEDAS (m)	Diám: 2,30 m			Diám: 2,44 m				Diám: 3,05 m						
ALTURA (m)	5	10	15	5	10	15	20	5	10	15	20	25	30	40
CILINDRO (pulg)	3"		2½"	3½"		3"		4"	3½"		3"			
TUBERÍA (pulg)	1¼"		1"	1½"		1¼"		2"	1½"		1¼"			
VARILLA (pulg)	½"			⅝"				⅝"						
CAUDAL (l/hr)	1900		1000	2400		1900	1300	3600	2400		2000	1800	1500	1300

La tabla no incluye todos los diámetros disponibles en el mercado.
(Fuente: Molinos Surgente. Sta. Fe. Argentina).

Donde:

- Altura: es la altura a la que puede elevar el agua, midiéndose desde el punto más bajo desde donde tiene que extraer el molino hasta el punto de salida del tubo de descarga.
- Cilindro: es el diámetro del cilindro de la bomba.
- Tubería: son los diámetros necesarios de los tubos de aspiración y elevación de agua.
- Varilla: es el diámetro de la varilla que mueve al pistón o émbolo en movimientos alternativos para provocar la extracción del agua.
- Caudal: es el caudal que pueden extraer los molinos en litros/hora, en función de los valores de las otras variables, que están relacionadas para obtener un óptimo rendimiento de cada una de sus partes.

Velocidad mínima: La resistencia inicial que debe vencer el viento para que el molino comience a funcionar, es igual al peso de la columna de agua contenida en el cuerpo de la bomba y en la tubería de elevación, más el peso de la varilla y del émbolo, más los rozamientos. Los molinos convencionales necesitan una velocidad de viento mínima de 5,5 km/h, debido a la robustez y peso de sus componentes, y a la mayor fricción que se produce en los engranajes. En los modelos mejorados se reemplazan los engranajes por un sistema de bielas que reduce la fricción y el desgaste, y se incorpora un resorte compensador que anula el peso de la varilla y el émbolo. Con ello, el molino empieza a funcionar con vientos de 3 km/h.

Esta pequeña diferencia en el valor de arranque es muy importante en zonas con días de poco viento, ya que podría significar la detención del bombeo durante períodos prolongados.

Ráfagas de viento y velocidad máxima: La existencia de vientos fuertes, repentinos y de corta duración pueden provocar roturas en los mecanismos de estas máquinas. Para evitar este problema, los molinos modernos han incorporado un cierre automático contra los vientos fuertes, el cual controla la velocidad de rotación de la rueda, evitando que ésta gire a una velocidad excesiva (90 km/h) con los daños consecuentes.

Estructura de soporte o torre: Las torres de los molinos en la actualidad vienen construidas con acero galvanizado de perfiles ángulos, no descartándose otros materiales. Tienen forma de pirámide con base cuadrangular. Las alturas comúnmente encontradas en el mercado son de 6 m, 7.8 m, 9.8 m y de 11.8 m, atendiendo a la vegetación circundante y a la altura de elevación de los depósitos o de funcionamiento de los mecanismos hidráulicos.

Las torres pueden ser simples o reforzadas, y de base angosta o de base ancha. Los de base angosta generalmente guardan una relación de 1:5 a 1:6 con la altura. Las de base ancha son para los pozos de mayor diámetro y tienen la ventaja de ser más estables.

Cuando se pretenda enviar agua a mayor distancia y con cierta elevación, se puede utilizar la estructura de la torre como soporte de tanques de depósito, para lo cual se necesitan que sean reforzadas, o adicionarle travesaños que soporten al tanque más el peso del agua almacenada.

Cómo dimensionar un molino de viento:

- Medir el nivel estático del agua con el fin de determinar las medidas del molino y diámetro del cilindro (según Tabla de Profundidad).
- Para determinar la altura de la torre, calcular que la rueda completa pase 1,5 m por encima de obstáculos, y verificar que el lugar donde se instale el molino esté limpio, despejado, en un radio de 150 m.
- Estimar el consumo de agua, considerando un máximo de 12 horas diarias de funcionamiento del molino.

Mantención: La mantención rutinaria es mínima y consiste básicamente en el recambio de aceite del carter del motor del cuerpo del molino, una vez al año.

26 Sistema de Ariete Hidráulico

1. *Descripción de la obra*

El ariete hidráulico es un tipo de bomba que funciona aprovechando la energía de una corriente de agua, sin usar otra fuente de energía externa. Mediante un ariete hidráulico, se puede conseguir elevar parte del agua de un arroyo o acequia a una altura superior. También se puede emplear para implementar un sistema de riego para superficies pequeñas (invernaderos, flores).

Básicamente, un ariete hidráulico es un dispositivo que utiliza una pequeña caída de agua para elevar una fracción del caudal de entrada a una altura superior. Esta máquina se conecta a una fuente de captación mediante una tubería de alimentación, la cual dirige el caudal hacia el interior del ariete, produciendo el golpe de ariete, fenómeno que genera la energía suficiente para elevar una parte del caudal entrante.

El ariete hidráulico tiene un funcionamiento autónomo, continuo, las 24 horas del día, y mecánicamente es una bomba muy sencilla, con dos partes móviles (válvulas), de bajo costo de mantenimiento.

La eficiencia de un ariete se encuentra en el rango del 4 al 8% de la energía del agua captada, pudiendo ésta variar de acuerdo a las características y condiciones generales en que se encuentre el equipo y su instalación.

La vida útil del equipo funcionando con agua apta para el riego se estima en más de 30 años.

2. *Teoría General de Funcionamiento*

La cantidad de agua que eleva un ariete (volumen por unidad de tiempo) depende de los siguientes parámetros:

H_1= Carga motriz sobre el ariete (m).
H_2= Altura de elevación (m).
Q_1= Caudal de entrada (litros por minuto).
Q_2= Caudal elevado (litros por minuto).

La relación que existe entre la energía que entra al sistema y la energía que sale es la siguiente:

ENERGIA QUE ENTRA AL ARIETE = ENERGIA QUE SALE DEL ARIETE

$$Q_1 \times H_1 \times \eta = Q_2 \times H_2$$

Donde:

η: Eficiencia del ariete (entre 50y 80%)

Por lo tanto la cantidad de agua elevada (Q_2) se expresa por la siguiente fórmula:

$$Q2 = \frac{Q_1 \times H_1 \times \eta}{H_2}$$

Esto significa que para que Q_2 sea máximo se debe tener un Q1, H1 y ? lo más altos posibles y una altura de elevación H_2 lo menor posible.

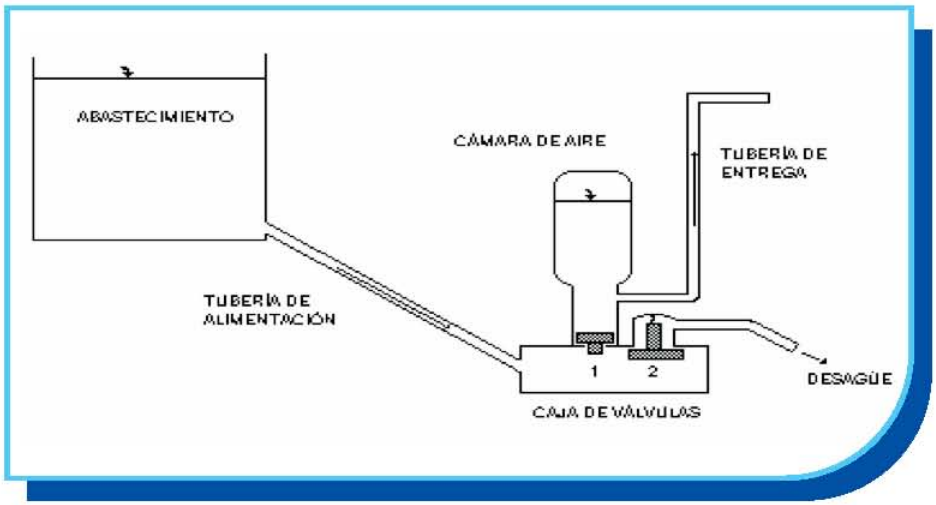


Figura 47. Croquis esquemático de un ariete hidráulico

Las condiciones básicas que requiere este sistema son las siguientes:

1. Fuente de abastecimiento de agua.
2. Caudal mínimo de operación.
3. Caída mínima.
4. Cauce de desagüe.

• ***Fuente de abastecimiento de agua***

La captación se debe realizar en un sector del cauce de una vertiente o estero en la cual se pueda construir una pequeña represa que asegure una altura hidráulica mínima sobre el ariete, no importando las variaciones del caudal.

• ***Caudal mínimo de operación***

Para una adecuada operación de un sistema de ariete hidráulico se debe disponer de un caudal no inferior a 8 l/min.

• ***Caída mínima***

La caída de agua o desnivel mínimo entre el estero y el ariete debe ser de 1 m.

• ***Cauce de desagüe***

El ariete es una máquina hidráulica que toma agua y eleva un pequeño porcentaje de ésta, la diferencia que no es bombeada debe ser eliminada, mediante una descarga directa en el estero o en un cauce de desagüe artificial.

• ***Altura de elevación***

Es la distancia vertical desde el ariete hasta el lugar de descarga, generalmente un estanque de acumulación. Esta altura restringe el caudal final que puede ser elevado.

3. Normas y criterios constructivos y de diseño

Los criterios que deben ser considerados en la elección y dimensionamiento de un ariete hidráulico son los siguientes:

1. Elección del tamaño del ariete.
2. Cañería motriz.
3. Machón de anclaje.
4. Cañería de impulsión.
5. Ducto de desagüe.
6. Estanque acumulador.
7. Requerimientos de riego.
8. Regulación de un ariete hidráulico.

• ***Elección del tamaño del ariete:***

El tamaño del ariete se elige de acuerdo al caudal disponible en el predio y a los requerimientos de agua predial o del cultivo que se quiere regar. En la tabla siguiente se presenta el rendimiento **teórico** de tres tamaños de ariete, según la relación de alturas y variación de caudal motriz:

Tamaño del ariete	**2" X 1"**				**4" X 2"**				**6" X 3"**			
Relación de altura (H2/H1)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	2 0
Caudal motriz (l/s)	3.3	5.2	7.4	9.2	8.96	9.7	10	9.02	20.2	17.2	17.1	19.3
Volumen bombeado (m^3/día)	55	38	22	17	94	51	35	23	216	101	69	50

En Chile hay arietes de menor tamaño, por ejemplo, de 1" x 1/2", que requieren un caudal motriz de 7 a 20 l/min, y funcionan con una caída mínima de un metro.

• ***Cañería motriz:*** Se puede utilizar cañería de fierro fundido, tubos de PVC, o cañería de polietileno. Además la tubería motriz debe contar con un chupador y un colador o rejilla en la entrada con el propósito de impedir la entrada de cuerpos flotantes como hojas, ramas o insectos que puedan causar obstrucciones en las tuberías y el equipo, ambos conectados a la toma de agua.

• ***Machón de anclaje:*** Al instalar el ariete hidráulico, este debe ser situado sobre un cubo de hormigón con pernos de anclaje para afianzarlo. Sus dimensiones dependen principalmente del tamaño del ariete, el relieve y la longitud de los tramos no apoyados de la tubería motriz y de elevación.

• ***Cañería de impulsión:*** Se debe contemplar una cañería de PVC o polietileno del diámetro de salida del agua desde el ariete hasta llegar al estanque de acumulación. Si el terreno requiere cambios de dirección se sugiere la instalación de curvas, en lugar de codos, para reducir las pérdidas de carga.

• ***Ducto de desagüe:*** Si la pendiente del cauce no permite una devolución libre del agua sobrante, ésta debe ser canalizada con el propósito de evacuarla y evitar la socavación del machón de anclaje.

• ***Estanque acumulador:*** Este debe ser dimensionado según las necesidades de abastecimiento y horas de almacenamiento. Sus dimensiones varían desde pequeños depósitos (1.000 litros), hasta estanques de tipo australiano (25, 39, 76 m^3).

• ***Requerimientos de riego:*** Hay marcadas diferencias en el consumo de agua de los cultivos, según la especie, etapa de desarrollo y ubicación geográfica. En algunos frutales, el requerimiento neto puede llegar a 10 litros por m2 al día en zonas áridas, lo que llevado a una hectárea significa un volumen de 100 m3 al día.

• ***Regulación de un ariete hidráulico:*** Un ariete puede ser regulado, controlando la cantidad de pulsaciones por minuto del equipo, en torno a 25-40 pulsaciones, para alcanzar la máxima eficiencia de bombeo.

En la figura se aprecia un esquema general de instalación de un ariete hidráulico, sistema de captación, elevación, ductos de desagüe y torre de elevación.

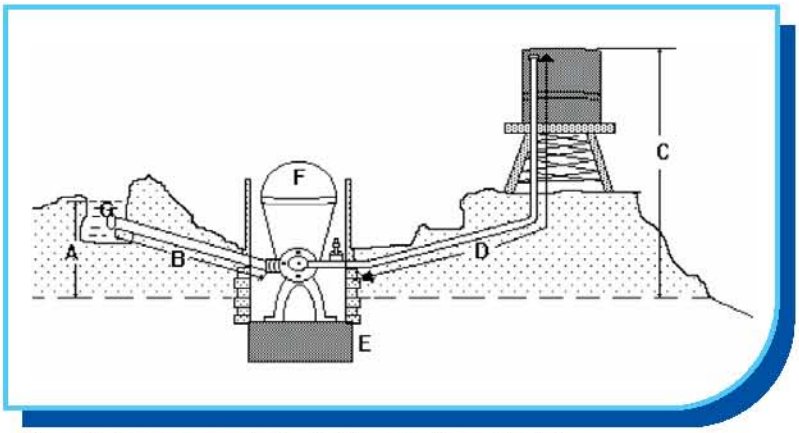


Figura 48. Esquema general de instalación de un sistema de ariete

Donde:

A= Carga hidráulica motriz (m).
B= Longitud de la tubería motriz (m).
C= Altura de elevación (m).
D= Longitud de la tubería de elevación (m).
E= Machón de anclaje.
F= Ariete Hidráulico.
G= Captación o bocatoma.

Ejemplo de cálculo:

Determinar el volumen de acumulación diaria para un ariete que funcionará bajo las siguientes condiciones: Caudal de entrada de 1,1 l/s, caída de agua de 3 m, y una altura de elevación de 15 m. Se asume una eficiencia mínima (50%).

$$Q_2 = \frac{Q1 \times H1 \times \eta}{H2}$$

Donde:

H1= Carga motriz sobre el ariete (m)	= 100 - 97	= 3,0 m
H2= Altura de elevación (m)	= 112 - 97	= 15,0 m
Q1= Caudal de entrada	= 66 l/min	
Q2= Caudal elevado	=	

$$Q_2 = \frac{66 \times 3 \times 0,5}{15} = 99/15$$

Q_2= 6,6 l/min
Q_2= 396 l/hora
Q_2= 9.504 l/día (24 horas)

Adaptado de "Arietes Hidráulicos", material elaborado para la Comisión Nacional de Riego (1997). Con permiso del autor, Claudio Crisóstomo, profesor asistente Departamento de Recursos Hídricos, Universidad de Concepción.

ELEMENTOS Y ACCESORIOS MÁS UTILIZADOS EN RIEGO TECNIFICADO

Bombas

	Bomba Centrífuga con motor eléctrico utilizada para impulsar un determinado caudal y entregar la presión de trabajo que requiere un sistema de riego mecánico.
	Bomba Centrífuga con carcasa de acero inoxidable, utilizada para inyectar fertilizantes en los sistemas de riego localizado.
	Bomba centrifuga accionada mediante motor de combustión interna, utilizada principalmente en equipos de aspersión móviles.
	Bomba sumergible, utilizada para la extracción de agua desde pozos profundos. Existen monofásicas y trifásicas.
	Tractobomba, accionada por el eje toma de fuerza del tractor, utilizada principalmente en equipos de aspersión móviles.

Válvulas

	Válvula de bola PVC, se instala al final de las líneas terciarias con el objetivo de lavar las tuberías periódicamente.
	Válvula de Compuerta Metálica, utilizadas para regular el caudal y presión en las cabeceras. Una vez alcanzada la presión de diseño, generalmente se retira la manilla.
	Válvula de Bola Metálica, abre o cierra el paso del agua en un sistema de riego.
	Válvula de Aire y vacío (ventosas) permite la entrada de aire durante el vaciado de sistema o en caso de roturas de la matriz, evitando la formación de vacío. En el llenado de la tubería, automáticamente libera gran cantidad de aire sin pérdida de agua.
	Válvula de Retención, utilizada para que el agua no se devuelva al parar la bomba, protege al equipo del peso de la columna de agua y evita el ingreso de agentes químicos (ácidos, fertilizantes) al acuífero.

	Válvula de Pie, es el primer elemento que se ubica en la succión de agua, evita la entrada de grandes partículas a la red hidráulica y además mantiene cebada la bomba.
	Válvula Solenoide, electroválvula de control remoto, que abre y cierra el paso del agua por acción de un impulso eléctrico desde un programador. Controla el paso de agua hacia los sectores de riego.
	Válvula Alfalfa, utilizada en el riego californiano, se ubica al interior de las cámaras reguladoras, controlando los sectores de riego.

Emisores

	Cañón de Aspersión, de medio y gran caudal funcionamiento circular y por sectores. Realizado especialmente para el riego mediante equipos móviles o fijos en toda clase de cultivo. Caudal 10-60 m^3/h y presión mínima de 40 m.c.a.
	Aspersor de Impacto, uno de los más utilizados en sistemas de cobertura total. Conexión hilo ¾" y 1". Generalmente se instalan en marcos de 12x15; 15x15 y 15x18. Caudal 1-5 m^3/h y presión mínima de 25 m.c.a.

	Microaspersor, emisor utilizado especialmente para riego en frutales, con un alcance máximo de 5 m. Caudal sobre 20 LPH y presión mínima de 12 m.c.a.
	Microjet, a diferencia del microaspersor, éste distribuye el agua de forma simultánea en su área de riego (no gira), se puede conectar directamente a la línea de PE, menor alcance que el anterior.
	Gotero de Botón, emisor que entrega el agua gota a gota a presión atmosférica, este tipo de gotero se inserta en la línea de PE pinchándola en el lugar exacto donde se desea.
	Gotero Integrado, este emisor va inserto en la línea de riego, a la distancia solicitada. Típicamente a 30, 50, 75 cm. No requiere mayor trabajo de instalación.
	Gotero en línea, este gotero se coloca en la línea de distribución de agua cortándola e instalando el gotero donde se requiera.
	Cinta de Riego, ampliamente utilizado en la producción de hortalizas y flores, su duración va en directa relación con el espesor del material empleado y con los manejos de mantención y limpieza que se realicen.

Accesorios

	Estaca que sirve de soporte y fijación del microaspersor o microjet a una altura de 20 cm sobre el suelo. Asegura el buen funcionamiento del emisor.
	Copla milimétrica, se utiliza para unir entre sí líneas de polietileno lineal.
	Conector a Cinta, especialmente para conectar la cinta en la cabecera, a la salida de los chicotes.
	Conector Grommet PVC a PE, para salir con los chicotes desde las líneas terciarias de PVC. El orificio en el PVC generalmente es de 5/8", sellándolo con la goma de arranque de 16 mm.
	Copla Cinta a Cinta, esta copla es para la extensión de la cinta o para cambiar sectores con cinta dañada.
	Goma de arranque (grommet), sella la salida desde la terciaria de PVC hacia los chicotes. Diámetros 16 mm para líneas de goteo y 20 mm para microaspersión.
	Terminal de línea, permite un fácil cierre y abertura al final de la línea de riego, con lo cual se facilitan las labores de lavado de éstas.

Elementos para Fertirriego

	Caudalímetro, utilizado para dosificar la cantidad de fertilizante que está entrando al sistema de riego presurizado, se ubica en la succión del venturi.
	Venturi Inyector de Fertilizante, por diferencial de presión succiona la solución desde el depósito de fertilizantes para inyectarlos a la red hidráulica. Típicamente $^3/_4$" y 1".
	Kit de Succión para Venturi, posee un canastillo de malla de acero para evitar la entrada de partículas de fertilizante al sistema hidráulico.
	Llave de Jardín, se instala generalmente en la caseta de bombeo para obtener el agua con la que se preparará la mezcla de fertilizantes.

Elementos de Seguridad

	Guarda Motor, protege el circuito eléctrico y el motor de sobrecargas eléctricas.
	Interruptor de Nivel, corta el paso de la corriente eléctrica cuando el agua en un estanque alcanza el nivel fijado como mínimo (vacío) o máximo (lleno).
	Manómetro, indica la presión dentro de la red hidráulica. Se instalan antes y después del filtro y otros puntos singulares del cabezal de control.
	Tablero Eléctrico de comando de la bomba de riego, con conexión al programador. Tablero monofásico y trifásico en caja intemperie o interior.

Filtros

	Filtro de Malla se ubica en el cabezal de bombeo después de la inyección del fertilizante. Tamaños ³/₄" - 1" - 1¹/₂" - 2". Caudales entre 3-25 m³/h.
	Filtro de Anillas, es ideal como filtración primaria o secundaria. El cuerpo del filtro contiene discos ranurados (anillas) colocados sobre un eje central.
	Filtro de arena para piscina, fabricado en material plástico en una sola pieza. Con válvula Hayward de 1¹/₂" de control manual. Utilizado en riego de pequeñas superficies. Caudales hasta 9 m³/h.
	Filtro (metálico) de Arena con control automático mediante electroválvulas. Típicamente 20"x2 - 24"x2 - 30"x2. Para caudales entre 20-45 m³/h.
	Filtros de malla, automáticos, fabricados en acero inoxidable, con sistema de retrolavado. Accionados por presión diferencial hidráulica.

DETALLES DE INSTALACIÓN DE ESTANQUES AUSTRALIANOS

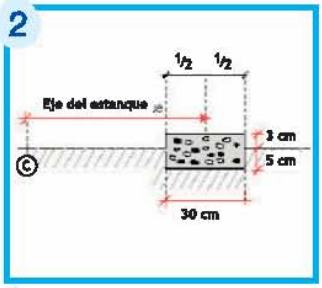
Detalle de Instalación de Estanque Australiano de Fibrocemento

Limpiar y nivelar el terreno donde se instalará el estanque, dejando una superficie firme, lisa y horizontal. Abrir una zanja en forma circular, cuyo diámetro al eje de ésta corresponda al del estanque a instalar. (Fig. 1)

1

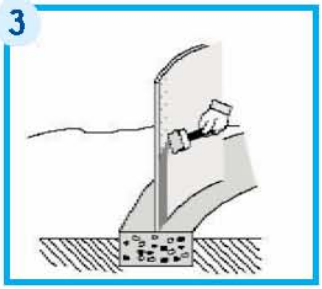
La zanja deberá ser de 30 cms de ancho y de 5 cms de profundidad. Llenar la zanja con hormigón pobre hasta que sobrepase 3 cms por sobre el nivel del terreno, formando un emplantillado. (Fig. 2)

2



Ubicar las placas de fibrocemento que componen el estanque, haciendo coincidir los agujeros para los pernos. Antes de unir las placas se deben pintar con aceite quemado en las dos superficies de contacto. (Fig. 3)

3



ESTANQUE AUSTRALIANO				ACCESORIOS			Nº DE ENVASES
Código	Capacidad (m2)	Diámetro (ml)	Placas (unidades)	Pernos (unidades)	Golillas (unidades)	Compriband (tiras 1,20 m)	Por tipo de estanque
548110006-4	6,5	2,86	4	132	264	8	2
548110014-5	14	4,30	6	198	396	12	3
548110025-1	25	5,72	8	264	528	16	4
548110039-1	40	7,16	10	330	660	20	5
548110056-1	58	8,60	12	396	792	24	6
548110076-5	79	10,02	14	462	924	28	7
548110127-3	130	12,90	18	594	1.188	36	9
548110195-8	195	15,76	22	726	1.452	44	11
548110493-1	493	26,06	35	11,15	2.310	70	17,5

La unión entre placas se realiza interponiendo dos tiras de compriband en cada traslapo de placa. Afirmar las tiras pasando cuatro pernos por unión entre placas. Previamente perforar las tiras con clavos de 4". (Fig. 4)

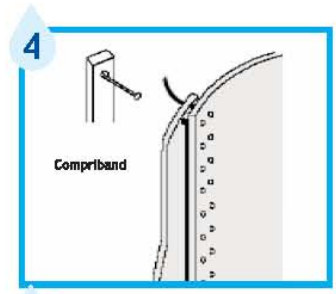
Una vez armado el estanque se coloca una capa de 3 cm de mortero arena cemento 1:3 por el lado exterior de las placas. (Fig. 5)

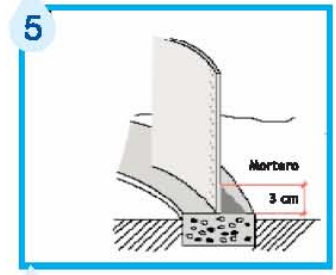
En el interior del estanque preparar un radier de hormigón simple mínimo de 6 cm de espesor sellando las juntas de éste con las placas. (Fig. 6)

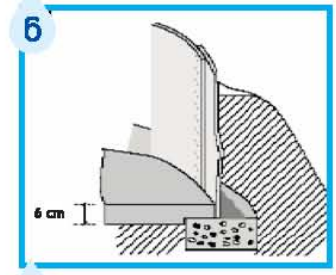
En estanques igual o mayores de 25 m³, es necesario incorporar dos juntas de dilatación perpendiculares entre sí. (Fig. 7)

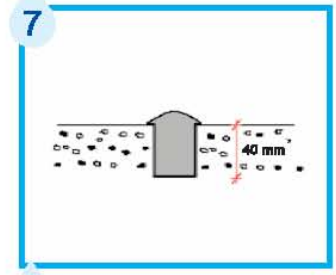
Una vez armado el estanque hacer un terraplén o talud de tierra por capas delgadas y apisonadas cuidadosamente. Simultáneamente ir llenando el estanque manteniendo el nivel del agua igual al del terraplén a medida que ésta se va ejecutando hasta llegar al borde superior del estanque. La salida de agua debe estar situada por debajo del radier. No perforar las capas. (Fig. 8)

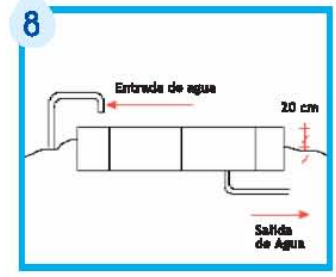
Fuente: Manual de instalación de estanque australiano de fibrocemento. Empresa Pizarreño.











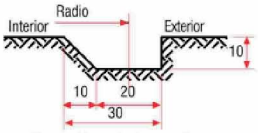
Detalle de Instalación de Estanque Australiano de Acero Corrugado

1 TRAZADO DE FUNDACIÓN

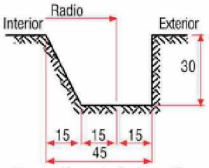
Trazar el perímetro del estanque utilizando una cuerda amarrada a dos estacas. Fijar una de las estacas al suelo y dibujar el perímetro con la otra estaca.

2 EXCAVACIÓN DE FUNDACIÓN Y COMPACTACIÓN DEL FONDO

Excavar la fundación del estanque siguiendo el trazo realizado, aplicar medidas para estanque de un anillo o dos según corresponda.



Excavación zanja de un anillo.



Excavación zanja de dos anillos.

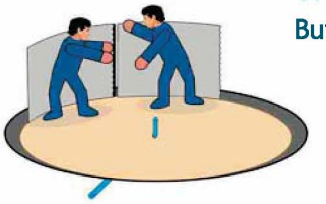
Compactar el suelo al interior del anillo de fundación.

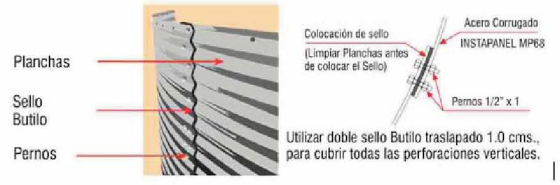
3 INSTALACIÓN DEL DESAGÜE

Instalar el sistema del desagüe, para esto se puede utilizar un tubo de PVC de 110 mm de diámetro.

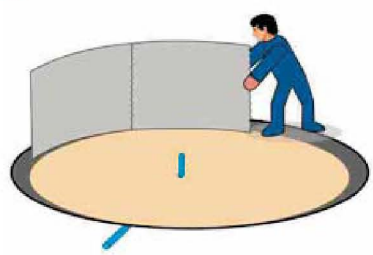
4 SELLO DE UNIONES

Colocar el sello Butilo en el borde a unir de las planchas. Utilizar doble sello Butilo traslapado 1,0 cms, para cubrir todas las perforaciones verticales.



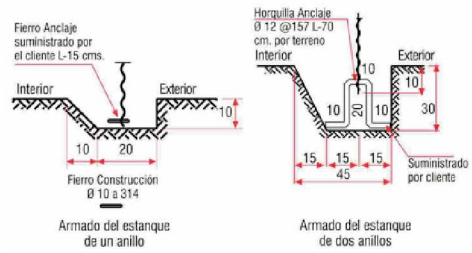


5 ARMADO DEL ESTANQUE

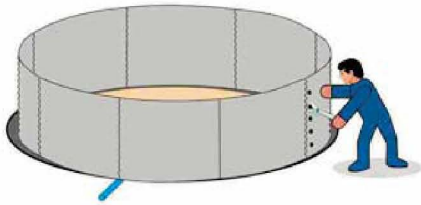


Unir las planchas entre sí colocando los pernos y apretándolos manualmente.

Repetir los pasos 4 y 5 hasta completar el anillo.

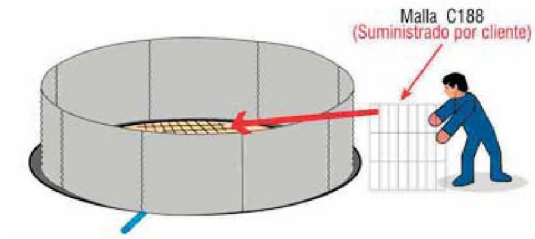


6 APRIETE FINAL



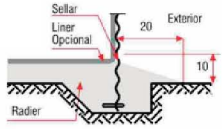
Apretar los pernos gradualmente mantiendo la geometría. Para estanque de dos anillos, dejar sueltos los tres pernos superiores de cada costura vertical.

7 ENFIERRADURA DEL RADIER DEL FONDO

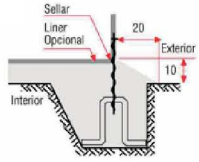


Dimensionar y colocar las mallas de acero en el fondo del estanque cubriendo toda la superficie.
La posición final de la malla deberá ser al centro del espesor del radier, para lograr esto utilizar separadores de altura 5 cm o levantar la malla manualmente.

8 HORMIGONADO DE FUNDACIONES



Hormigonar fundaciones y radier estanque de un anillo



Hormigonar fundaciones y radier estanque de dos anillos

Dosificación	
Cemento	2 medidas
Arena	3 medidas
Ripio	6 medidas
Agua	La mínima necesaria para permitir trabajabilidad

Preparar el hormigón de fundación a la dosificación en volumen señalada en el cuadro. Opcionalmente Instapanel recomienda a sus clientes utilizar una funda interior de geomembrana para conseguir un almacenamiento estanco de líquido y aislar el contenido del estanque de acero galvanizado.

Opcionalmente la empresa recomienda utilizar una funda interior de geomembrana para conseguir un almacenamiento estanco de agua y aislar el contenido del estanque del acero galvanizado. Finalmente se debe rellenar alrededor del estanque con material granular compactado a una altura de al menos 50 cm.
Fuente: Manual de instalación de estanque australiano de acero corrugado. Empresa Instapanel.

GLOSARIO

Acuífero: Manto o zona del suelo bajo la corteza terrestre donde están retenidas las aguas subterráneas.

Altura de succión: Diferencia de altura entre el eje de la bomba y el nivel que toma el agua en la fuente durante el bombeo.

Anclaje: Forma de sujeción de los bordes de una lámina de plástico en los revestimientos de tranques y canales.

Autocompensado: Se refiere a los goteros y micro-aspersores cuyo caudal de descarga se mantiene constante para un rango amplio de presiones. Por ejemplo: gotero de 4 l/h entre 8 y 30 metros de presión.

Barrenado: Labor de profundización que se realiza en una noria para captar napas más profundas.

Base estabilizada: Capa de ripio de un cierto espesor que sirve como base de un radier o piso.

Bomba con inyector: Un tipo especial de bomba centrífuga, con doble tubo de succión, que se instala en superficie en los casos que la altura de aspiración sea superior a 7 metros.

Boquilla: Pieza intercambiable de un aspersor que permite modificar la descarga y el alcance del chorro. Existen aspersores que trabajan con 2 boquillas.

Carrete hidráulico: Sistema autopropulsado de riego por aspersión que consiste en un carro que lleva un tambor en el cual se va enrollando una manguera rígida de polietileno, conectada a un aspersor tipo cañón.

Certificado de Bonificación: Documento que acredita la obtención del subsidio que contempla la Ley 18.450 de Fomento al Riego y Drenaje. Se cobra al término de obras con recepción definitiva.

Clase: Número que especifica la presión máxima de trabajo de una tubería, expresada en kg/cm^2. Si se multiplica este número por 10, se obtiene la presión en metros de columna de agua (m.c.a.).

Cobertura total: Sistema de riego por aspersión que cubre toda la superficie de riego sin mover las tuberías ni los aspersores.

Criba: Tipo de rejilla que se intercala en la tubería de captación de un pozo profundo. Las de acero inoxidable son más caras y se exigen en las instalaciones de agua potable.

Cuchareo: Operación de limpieza de sedimentos en pozos colmatados.

Desarrollo de pozo: Labor de limpieza de un pozo al término de su construcción destinada a mejorar el rendimiento del mismo.

Diente de fundación: Zanja o herido bajo el muro de un tranque, el cual se rellena con material de arcilla compactada.

Dren-topo: Conjunto de galerías subterráneas construidas a poca profundidad del suelo (40-50 cm) y diámetro pequeño (7-8 cm), rodeadas de fisuras, como complemento a las zanjas de drenaje en ñadis y sectores de vegas en el sur de Chile. Se utiliza el implemento llamado "arado-topo".

Empréstito: Sitio de donde se extrae material de suelo para relleno o terraplenes en obras de tranques cuando el suelo de la poza no es apropiado.

Equipo impulsor: Motobomba utilizada en los sistemas de riego a presión. En las captaciones y elevaciones mecánicas, es un segundo equipo que re-impulsa el agua a una mayor altura.

Enfierradura A-44 28-H: Denominación del acero de construcción, referida a la resistencia a la tracción y al punto de fluencia, expresados en Kg/cm^2. Este es el acero más utilizado en construcción de obras menores.

Escarpe: Eliminación de la capa superficial del suelo (20 a 30 cm), la que debido al mayor contenido de materia orgánica resulta inadecuada como material de construcción.

Especificación técnica: Condición que deben cumplir un equipo, instalación, elemento de riego o material de construcción, con el fin de alcanzar el estándar de calidad especificado en el proyecto.

Filtro de grava: En los sistemas de riego localizado, filtro compuesto por un recipiente lleno de arena de cuarzo destinado a retener partículas finas y material orgánico.

Filtro de mallas: Filtro que consiste en un cuerpo de plástico (hasta 2") o metal (desde 3"), en cuyo interior se alojan uno o dos cilindros de malla plástica o de acero inoxidable. Sirve para retener partículas de arena.

Filtro de anillas: Filtro consistente en un conjunto de anillas (discos de borde estriado, montados uno sobre otro). Sirve para retener partículas de arena.

Geoceldas: Sistema de confinamiento celular que está formado por tiras de polietileno de alta densidad soldadas mediante uniones ultrasónicas de alta resistencia, que una vez extendida forma una serie de alvéolos que pueden rellenarse con cualquier material (tierra, grava, hormigón). Es ideal para el revestimiento de canales y mantención de taludes.

Geomembrana: Lámina de PVC o polietileno especialmente fabricada para su empleo en revestimientos de tranques y canales.

Hormigón: Mezcla de cemento, arena, ripio y agua cuyas dosificaciones y forma de preparación varían de acuerdo con el tipo de obra y exigencias constructivas. **H. simple:** se utiliza en los radieres o pisos de poco tránsito. La dosificación más corriente es 4 sacos de cemento por m^3. **H15:** hormigón armado, que debe cumplir la norma de resistencia a la compresión (150 kg/cm^2). Una dosis tentativa de 240 kg de cemento por m^3 de hormigón. **H20:** hormigón armado (200 kg/cm^2 de resistencia), dosis tentativa de 290 kg cemento/m^3.

Lateral: Nombre que recibe la tubería de menor diámetro en cualquier sistema de riego. También denominada porta-emisores (goteros o aspersores).

Mesh: Norma americana para designar los tamices metálicos de la serie Tyler. Existe una equivalencia con las micras o milésimas de milímetros. Por ejemplo, un filtro de 150 mesh corresponde a un tamaño de partícula de 0,106 mm.

Mortero: Mezcla de arena, cemento y agua que se utiliza en mampostería de piedra, albañilería de ladrillo, etc. La dosificación más corriente es 3:1 (una parte de cemento por tres de arena).

Nivel freático: Nivel superior del agua en un suelo saturado.

Perfil estratigráfico: Secuencia de los materiales de suelo obtenidos en un sondaje, ordenados por capas o profundidades desde la superficie.

Pivote central: Un tipo de máquina de riego por aspersión autopropulsada, que gira en torno a su eje para regar una superficie de forma circular. Los mini pivotes riegan 1-10 ha. Un pivote central de radio 400 m cubre una superficie de 60 ha con cañón final.

Presa homogénea: Tranque cuyos muros están construidos con un solo tipo de material de suelo.

Presa zonificada: Tranque cuyos muros están construidos con materiales de suelos con diferente permeabilidad.

Presión gravitacional: Presión que se genera en una tubería o red hidráulica por el hecho de estar conectada a una fuente de agua elevada (torre, canal o tranque en ladera).

Presión hidrostática: Presión que ejerce el agua en todos los puntos de una tubería sin flujo (llave cerrada). Esta presión es mayor donde existe el mayor desnivel topográfico.

Prueba de agotamiento y recuperación: Prueba de bombeo en norias y vertientes hasta secarlas. Se mide el volumen de acumulación y el tiempo en la fuente recupera el nivel de aguas máximas.

Prueba de bombeo: Extracción de agua desde un pozo recién construido o habilitado para determinar el caudal máximo posible de obtener mediante bombeo continuo. Normalmente esta prueba se ejecuta con equipos portátiles: generador de potencia; motobomba sumergible y aparatos de aforo. La prueba de gasto constante se debe hacer por 24 horas.

Regulador de presión: Válvula de plástico que reduce la presión de salida a un valor predeterminado mediante un resorte.

Revancha: Altura de seguridad que se da al muro de un tranque o al borde un canal por sobre el nivel de aguas máximas, como protección o factor de seguridad frente a eventuales desbordes.

Shotcret: Hormigón proyectado sobre paredes verticales mediante un equipo compresor.

Solenoide: Dispositivo eléctrico que permite el cierre y apertura de las válvulas electro-hidráulicas en los sistemas de control automático.

Terraplén: Relleno de tierra por sobre el nivel del terreno original.

Tubo agrícola: Tubo de PVC rígido de menor espesor que el tubo hidráulico, que se utiliza para conducciones en baja presión. Se comercializa en clase 2.0 (hasta 20 metros de presión) y clase 2.5 (hasta 25 metros de presión).

Válvula meplat: Un tipo de válvula de compuerta, de cierre lento, construida en fierro fundido, y conexiones para terminales brida (con pernos).

Válvula solenoide: Válvula de control remoto, que abre y cierra el paso del agua por acción de un impulso eléctrico desde un programador.

PRESUPUESTOS DE OBRAS DE RIEGO

Obra 1: Construcción de pozo profundo, sector O'Higgins, comuna de Lampa, provincia de Chacabuco Región Metropolitana de Santiago.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Instalación de faena				
Instalación de faena	gl	1		
Construcción del sondaje				
Perforación	ml	80		
Sistema captante				
Proposición del sistema captante	gl	1		
Entubación definitiva ac. D:14", e: 6,35 mm	ml	60		
Cribas acero galvanizado ACP D:14", slot 40	ml	21		
Pared de gravilla seleccionada	ml	75		
Desarrollo	hr	48		
Sello sanitario de hormigón	ml	5		
Pruebas y análisis de agua				
Grupo de Prueba Q: 120 l/s	Nº	1		
Prueba de Gasto Variable	hr	12		
Prueba de Gasto Constante	hr	24		
Análisis Físico-Químico y Bacteriológico	gl	1		
Plano de Construcción e Informe Final	gl	1		
Paralización en espera de instrucciones	hr	8		

Fuente: Departamento de Riego región Metropolitana.

Obra 2.A: Noria revestida con tubos prefabricados de hormigón (Profundidad 11 m - diámetro 1,50 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación con retroexcavadora	hr	8		
Traslado maquinaria	gl	1		
Anillo hormigón D = 1,2 m L = 0,5 m	u	22		
Tapa perforada de hormigón	u	1		
Filtro de bolones	m^3	15		
Mano obra profundización	jh	14		
Instalación con asesoría	gl	1		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	15		
		TOTALNETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área La Calera. Depto. Riego V región.

Obra 2-B. Noria revestida en albañilería de ladrillo (Profundidad 10 m - diámetro 2 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Ladrillo fiscal	u	2.600		
Cemento saco 42 kg	u	25		
Arena	m^3	15		
Excavación a mano (profundización)	jh	10		
Albañilería (maestro y ayudante)	jh	6		
Gastos generales e imprevistos	gl	1		
		TOTALNETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Lolol. Depto. Riego VI región.

Obra 2-C: Noria revestida en mampostería de piedra (profundidad 8 m - diámetro 2 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Bolón de río	m^3	7		
Cemento saco 42 kg	u	30		
Arena	m^3	4		
Excavación a mano	jh	10		
Albañilería (maestro y ayudante)	jh	18		
Gastos generales e imprevistos	gl	1		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Lolol, VI región.

Obra 3-A: Construcción y Habilitación de puntera.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Perforación y entubación de puntera en PVC C-4 110 mm	ml	16		
Electrobomba Reggio SA-100 de 1.0 HP c/ eyector P-30	u	1		
Válvula de pie 1”	u	1		
Válvula de compuerta de 1”	u	1		
Unión americana pvc de 32 mm	u	2		
Unión americana pvc de 40 mm	u	1		
Válvula de retención de 1”	u	1		
Tubería pvc c-10 de 32 mm	tira 6 m	5		
Tubería pvc c-6 de 40 mm	tira 6 m	3		
Codos pvc de 32 mm	u	7		
Codos pvc de 40 mm	u	1		
Tee de pvc de 32 mm	u	2		
Terminal pvc he de 32 mm	u	9		
Terminal pvc he de 40 mm	u	2		
Válvula de aire API de 1”	u	1		
Reducción corta pvc 32-25 mm	u	1		
Terminal pvc hi de 25 mm	u	1		
Válvula de jardín $^3/_4$”	u	1		
Manguera jardín bicolor $^3/_4$”	m	25		
Automático c/calota 10 A	u	1		
Cable concéntrico 2*4 mm	m	65		
Cable eléctrico NY 2,5 mm blanco	m	5		
Cable eléctrico NY 2,5 mm rojo	m	5		
Cable eléctrico NY 2,5 mm verde	m	5		
Barra copperweld 1,5 m c/conector	u	1		
Pegamento c/pincel de 250 cc	u	1		
Teflón de $^3/_4$”	u	3		
Lija metálica	u	2		
Mano de obra instalación	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	10		
Utilidad del contratista	%	20		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Cauquenes, Departamento de Riego región del Maule.

Obra 3-B: Captación con puntera simple.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Pozo perforado	m	12		
Tubo PVC 110 mm C-10 x 6 m	u	2		
Tubo PVC 40 mm C-10 x 6 m	u	2		
Válvula de retención $1^{1}/_{4}$”	gl	1		
Válvula de pie $1^{1}/_{4}$”	u	1		
Gravilla seleccionada	u	1		
Fittings PVC	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	10		
Utilidad del contratista	%	20		
		TOTAL NETO IVA 19% TOTAL		

Fuente: Depto. Riego VIII región.

Obra 3-C: Malla de 16 punteras e impulsión de 120 m (Q = 3,3 l/s; H = 25 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Pozo perforado 6” y 6 m profundidad	u	16		
Puntera D 50 mm (L = 0,5 m)	u	16		
Tubo PVC 32 mm x 6 m (puntera)	u	16		
Tubería recolectora PVC 50, 75 mm	gl	1		
Tubo PVC 63 mm x 6 m (impulsión)	u	20		
Motobomba Vogt H 610/150 bencinera	u	1		
Fittings, válvulas y varios	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	20		
		TOTAL NETO IVA 19% TOTAL		

Fuente: Adaptado de consultor de riego. Punteras en Larqui región del Biobío.

Obra 4-A: Elevación mecánica desde pozo-zanja (24 x 2 x 2).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Obra de Captación				
Excavación con retroexcavadora	hr	8		
Traslado maquinaria	gl	1		
Obra de habilitación				
Motobomba Honda 2” x 2” WH20X	gl	1		
Manguera de succión 2”	m	6		
Válvula de pie 2”	u	1		
Válvula de compuerta 2”	u	1		
Tubo PVC 90 mm tira 6 m (impulsión) C6	u	20		
Mano de obra instalación	jh	2		
Fittings varios	gl	1		
		TOTAL NETO IVA 19% TOTAL		

Fuente: Área El Carmen. Depto. Riego VIII región.

Obra 4-B: Elevación mecánica en sector Yaquil.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Red de tuberías 1427,00 m				
Tubería PVC C-4 D = 160 mm	tira 6 m	240		
Tubería PVC C-10 D =160 mm	tira 6 m	4		
Tee 160 mm	u	8		
Buje reducción corto 160/140	u	4		
Buje reducción corto 140/125	u	4		
Buje reducción corto 125/110	u	4		
Buje reducción corto 110/90	u	4		
Buje reducción corto 90/75	u	4		
Buje reducción corto 75/63	u	4		
Terminal hilo interior 2"	u	4		
Válvula de aire 2" cinética doble propósito	u	4		
Brida o flange PVC 160 mm	u	10		
Manguito porta brida 160 mm	u	10		
Empaquetadura de goma 160 mm	u	8		
Válvula globo fierro Tayson	u	4		
Codo 160 mm x 90º	u	4		
Pernos 5" x $^{3}/_{4}$ " c/tuerca y golilla	u	96		
Tubería 63 mm C-10	u	1		
Curva 160 mm x 90º	u	2		
Válvula de retención chapaleta con brida marca Tayson	u	1		
Succión, impulsión y equipo de bombeo				
Válvula de pie 5"	u	1		
Reducción 5" a 4" acero "	u	1		
Tubo acero 5"	m	6		
Flange acero 5"	u	1		
Flange acero 4"	u	1		
Motobomba Rovatti - Lombardini diesel modelo BCD 80/42	u	1		
Reducción concéntrica 3" x 6"	u	1		
Flange acero 3"	u	1		
Flange acero 6"	u	3		
Válvula globo fierro Tayson	u	1		
Tubo acero 6"	m	6		
Movimiento de tierra, obras civiles e instalación				
Exc. material semiduro maq.	m^3	856		
Relleno de tierra sin compactar	m^3	856		
Confección Manifold de succión e impulsión	gl	1		
Instalación tubería D = 160 mm	ml	1.440		
Caseta bomba y pozo de succión	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Santa Cruz, región de O'Higgins.

Obra 5-A: Revestimiento Canal Matriz Caspana III Etapa 490 m Revestidos con muros de piedra y radier de hormigón.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Arriendo de pieza faena	gl	1		
Transporte de equipos y herramientas	gl	1		
Replanteo topográfico	ml	490		
Excavación a mano mat. semiduro	m^3	349		
Relleno compactado a mano	m^3	156		
Demolición canal antiguo	ml	490		
Suministro y colocación de piedras	ml	490		
Radier de homigón	ml	490		
Roce, despeje y limpia	ml	490		
Compuertas sin tornillo	u	15		
Subtotal				
GASTOS GENERALES	%	5		
UTILIDADES	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de Antofagasta.

Obra 5-B: Presupuesto reparación Canal Matriz Revestimiento de 402 m con losetas prefabricadas y reposición de 8 compuertas.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Instalación de faenas	gl	1		
Transporte de equipos y herramientas	gl	1		
Trazado y replanteo topográfico	ml	402		
Revestimiento con losetas de 0,5 x 0,6 x 0,06 m	ml	402		
Barda de hormigón	ml	804		
Excavación a mano	m^3	235		
Relleno compactado a mano	m^3	185		
Radier de hormigón 0,07 m	ml	402		
Juntas de dilatación en canal de losetas	u	100		
Roce, despeje y limpia	ml	402		
Compuertas sin tornillo simples	u	8		
Subtotal				
GASTOS GENERALES	%	5		
UTILIDADES	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de Antofagasta.

Obra 5-C: Revestimiento Canal Chiu Chiu, 182 m de revestimiento con hormigón y estanque.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Revestimiento de canal				
Excavación	m^3	94		
Relleno	m^3	94		
Moldajes	m^2	328		
Canal de hormigón, losetas 40 x 40 x 12 cm	ml	182		
Juntas de dilatación	u	60		
Estanque				
Trazado	gl	1		
Excavación de estanque	m^3	281,90		
Excavación fundación de muros	m^3	3		
Relleno estabilizado	m^3	32		
Cama de ripio	m^3	11		
Muros de piedra inc. fundación	m^2	96		
Estuco interior y coronación del muro	m^2	88,55		
Radier de hormigón	m^2	160		
Malla acma C-139	m^2	160		
Canal de entrada	ml	11		
Válvula tipo compuerta de 160 mm	u	1		
Cañería de desagüe 160 mm	ml	30		
Compuertas de distribución				
Compuerta de 1 entrega				
Sección 0,4 x 0,4 x 0,003m	u	8		
Canal 0,6 m	ml	5		
Trazado y niveles	ml	182		
Limpia franja	ml	182		
Instalación de faenas	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales	%	5		
Utilidad	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de Antofagasta.

Obra 5-D: Revestimiento de canal con geoceldas (base = 1 m; altura = 0,75 m; longitud = 1.943,54 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación cubeta canal	m^3	699,7		
Perfilamiento, repaso a mano	m^3	17,49		
Retiro de material con camión tolva	m^3	40		
Relleno de tierra compactada	m^3	607,3		
Alcantarilla cruce camino Q = 0,15 m^3/s	m	8		
Revestimiento canal con geoceldas	m^2	4.858,85		
Compuerta tipo A	u	17		
Letrero	u	1		
Nivelación y replanteo topográfico	día	22		
Subtotal				
Gastos generales	%	4,5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de La Araucanía.

Obra 5-E: Revestimiento Canal Villelano.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Instalación de faenas e instalaciones varias				
Letrina jefe de obra 1,2 x 1 m: Confección y colocación	u	1		
Letrina obreros 1,2 x 1 m: Confección y colocación	u	1		
Galpón taller sin forrar: Confección y colocación	m	20		
Caseta prefabricada cuidador (1 uso): Confección y colocación	u	1		
Cuidadores en frentes de obras y máquinas	día	30		
Revestimiento 273 m				
Roce y despeje	m^2	546		
Destronque (incluye transporte a botadero)	ha	0,55		
Replanteo y control topográfico	día	1		
Excavación a mano para obra de arte (terreno semiblando)	m^3	326		
Agotamiento de napa para faenas	día	11		
Relleno compactado con pizón manual	m^3	160		
Hormigón H25 controlado (fabricación in situ y colocación)	m^3	197		
Malla Acma C-188 (suministro y colocación)	kg	6.521		
Moldaje para muro bajo o cámara baja (3 usos)	m^2	546		
Emplantillado (4 sacos/m^3)	m^3	34		
Perfilamiento general de canal	m^3	30		
Relleno compactado con pizón manual	m^3	70		
Subtotal				
Gastos Generales	%	2		
Imprevistos	%	4		
Utilidades	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de O'Higgins.

Obra 6-A: Conducción simple en tubo PVC agrícola. Caudal 50 l/s (Longitud = 300 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación terreno blando	m^3	150		
Cámara de entrada	u	1		
Tubo PVC Agrícola 200 mm x 6 m C2	u	50		
Collarín de arranque 200 x 3" Aluminio	u	1		
Válvula de compuerta 3"	u	1		
Fittings	gl	1		
Mano de obra instalación	gl	1		
Subtotal				
Diseño y asesoría	%	5		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Obra 6-B: Conducción entubada con elevación, 300 m, para riego en arroz.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Succión				
Válvula de pie 3”	u	1		
Terminal HE 90 mm x 3”	u	2		
Tubería PVC 90 mm clase 6	tira 6 m	1		
Codo PVC 90 mm	u	1		
Unión americana 90 mm	u	1		
Centro de Bombeo				
Electrobomba Pedrollo modelo HFm 6 B	u	1		
Terminal HE 90 mm x 3”	u	1		
Codo PVC 90 mm	u	1		
Unión americana 90 mm	u	1		
Interruptor de nivel (5 m)	u	1		
Impulsión y conducción a sup. de riego				
Codo PVC 90 mm	u	2		
Tubería PVC 90 mm clase 4	tira 6 m	50		
Mano de obra instalación riego	gl	1		
Movimiento de Tierra				
Tubo PVC 125 mm C-10 (profundización)	tira 6 m	1		
Instalación tubo PVC de 125 mm	ml	5		
Profundización noria (0,5 m)	jh	4		
Excavación y tapado de zanjas	ml	300		
Instalación Eléctrica				
Cordón eléctrico 2,5 x 3 m/m	ml	5		
Polín impregnado 2,2 m x 2”	u	1		
Interruptor automático	u	1		
Calota	u	1		
Guardamotor Termomag 6,3 - 20 A	u	1		
Huincha aisladora 3M 1500 $^{3}/_{4}$” x 10 m	u	1		
Barra Copperweld x 1 m	u	1		
Conector T.T. $^{5}/_{8}$”	u	1		
Instalación Eléctrica (Bomba)	gl	1		
Varios				
Pegamento Vinilit	u	6		
Lija metálica	u	1		
Movilización	gl	1		
Teflón	u	6		
Subtotal				
Gastos generales	%	3,0		
Utilidad del contratista	%	5		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Parral, Departamento de Riego región del Maule.

Obra 7-A: Canoa de hormigón armado; L = 10 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación terreno semi-duro	m^3	10		
Relleno compactado	m^3	8		
Enfierradura A44-28H	kg	810		
Hormigón H-25	m^3	11		
Moldaje recto	m^2	115		
Subtotal				
Diseño	%	8		
Gastos generales e imprevistos	%	2		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Depto. Riego VII región.

Obra 7-B: Canoa de acero (0,5 m x 1 x 6m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Hormigón H20 c/boló n desp. Transporte 20 km	m^3	13,58		
Enfierradura a-44 1ømm	kg	674,08		
Confección moldaje recto 6 usos	m^2	62,06		
Instalación moldaje recto	m^2	62,06		
Desmolde y limpieza de tablero	m^2	62,06		
Emplantillado de ripio 20 km	m^3	0,92		
Preparación de cancha	m^2	3,10		
Acero calidad a37-24 es	kg	502,20		
Doblado de planchas de acero 4 mm	u	6,00		
Perno 1" x 3/4" grado 8	u	84,00		
Goma caucho pl. E=0.005	m^2	2,00		
Subtotal				
Gastos generales	%	5,0		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Obra 8-A: Sifón en cemento comprimido D = 0,5 m, L = 7 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación a mano	m^3	3,7		
Emplantillado e = 5 cm	m^3	0,14		
Moldaje	m^2	15		
Cámara E/S en hormigón H20	m^3	1,55		
Relleno tierra compactada a mano	m^3	3,7		
Enfierradura D = 8	kg	93,06		
Tubo CC D = 0,5 m; L = 1 m	u	7,0		
Flete	gl	1,0		
Subtotal				
Diseño	%	10		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	15		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región del Maule.

Obra 8-B: Sifón para 200 l/s en tubería de PVC. Largo total 44 m H = 4 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Instalación de faenas	gl	1		
Trazado y niveles	u	1		
Cámara E/S en albañilería H = 4 m	m^3	2		
Excavación con retroexcavadora	m^3	150		
Material suelo harneado	m^3	30		
Relleno con retroexcavadora	m	120		
Sum./instal. tubo PVC C-6 315 mm	m	54		
Machones de anclaje	m	4		
Curva PVC 315 mm x 22,5°	m	4		
Subtotal				
Diseño	%	8		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	20		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Actualización Departamento de Riego región de Coquimbo.

Obra 9: Marco Partidor Villa Rosa, Urrutiano y Municipal.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Roce y despeje	km	0,15		
Replanteo topográfico	día	0,25		
Excavación	m^3	82,1		
Excavación manual	m^3	9,3		
Carguío y traslado excedente excavación	m^3	21,367		
Colocación y compactación de relleno	m^3	24,4		
Emplantillado	m^3	6,07		
Grava para estabilizado	m^3	6,07		
Malla marco y revestimiento C-257	m^2	265,4		
Moldaje	m^2	295		
Revestimiento hormigón H 25 in situ	m^3	32,32		
Junta de dilatación (cada 10 m)	u	2		
Agujas marco partidor 1 x 1,42 m^2 (6 mm)	u	1		
Demolición marco existente	m^3	3,278		
Subtotal				
Gastos Generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Depto. Riego VII región.

Obra 10-A: Aforador de fondo plano a = 1.50 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación a mano	m^3	35		
Emplantillado e = 5 cm	m^2	10		
Enfierradura	kg	13		
Moldaje	m^2	36		
Hormigón H - 15	m^3	4,5		
Pedraplén de protección	m^2	2,5		
Relleno estructural en torno a la obra	m^3	33		
Regleta graduada	u	1		
Subtotal				
Diseño	%	5		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Actualización diagnóstico de canales de riego. Primera sección del Río Claro, Rengo.

Obra 10-B: Instalación de vertedero triangular en madera para canal de 0,5 m de base x 0,5 m de altura.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Madera de pino 1 x 5” - 3,2 m	u	3		
Listón pino 2 x 2” - 3,2 m	u	1		
Clavos 4”	kg	1		
Corte, biselado y armado	gl	1		
Diseño e instalación de regleta graduada	u	1		
Topógrafo	día	0,33		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Elaboración del autor.

Obra 11-A: Construcción de compuerta sin tornillo 0,4 m x 0,5 m x 4 mm.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Fabricación				
Fierro (plancha y perfiles)	kg	20		
Fe A44	kg	0,66		
Transporte	gl	1		
Instalación				
Maestro	día	1,2		
Ayudante	día	1,2		
Leyes Sociales	%	57		
Subtotal				
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área norte, región Metropolitana.

Obra 11-B: Compuerta de admisión con descarga lateral.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación	m^3	28		
Emplantillado e = 5 cm	m^2	4		
Moldaje	m^2	24		
Hormigón H15	m^3	3		
Aceros corrientes	kg	230		
Aceros especiales	kg	54		
Enfierraduda	kg	203		
Ferretería	kg	50		
Candado cadena para seguro	gl	1		
Mecanismo de compuerta	u	1		
Álamo impregnado	pulg	9		
Pedraplén de protección	m^2	2		
Relleno estructural en torno a la obra	m^3	25		
Subtotal				
Diseño	%	10		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	15		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Actualización diagnóstico de canales de riego. Primera sección del Río Claro, Rengo.

Obra 11-C: Compuerta tipo jardín - saque lateral.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Excavación	m^3	4,7		
Emplantillado e = 5 cm	m^2	1		
Moldaje	m^2	6		
Hormigón H15	m^3	1		
Aceros corrientes	kg	29		
Aceros especiales	kg	2		
Pedraplén de protección	m^2	0,3		
Relleno estructural en torno a la obra	m^3	4		
Subtotal				
Diseño	%	10		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	15		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Actualización diagnóstico de canales de riego. Primera sección del Río Claro, Rengo.

Obra 12-A: Construcción de tranque acumulador de 12.000 m^3
Contempla poza de inundación, muro frontal, vertedero y obra de entrega al predio.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Movimiento de tierras embalse				
Excavación material semiduro en embalse	m^3	6.956		
Relleno de material arcilloso compactado	m^3	640,01		
Obra vertedero				
Hormigón H-25	m^3	2,46		
Moldaje recto 2 usos	m^2	7,91		
Desmolde y limpieza de tablero	m^2	7,91		
Suministro e instalación malla acma C-139	m^2	16,05		
Emplantillado de ripio 20 km	m^3	0,88		
Albañilería de piedra trans. 15 km	m^2	17,20		
Obra de entrega al predio				
Hormigón H-25	m^3	0,51		
Suministro e instalación malla acma C-139	m^2	3,72		
Albañilería de piedra trans. 15 km	m^2	4,95		
Emplantillado de ripio 20 km	m^3	0,34		
Tubo PVC 110 mm C-10	tira 6 m	3,00		
Válvula meplat sello elastomérico (tyson) 4”	U	1,00		
Canastillo acero inoxidable 4”	U	1,00		
Flange PVC con manguito 4”	U	4,00		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Santa Cruz, región de O’Higgins.

Obra 12-B: Acumulador nocturno con capacidad de almacenamiento de 771 m³.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Roce y despeje	km	0,20		
Replanteo y control topográfico	día	0,45		
Excavación	m³	497,80		
Carguío y traslado excedentes de excavación	m³	0,00		
Colocación y compactación de relleno	m³	357,10		
Emplantillado	m³	0,20		
Malla Acma C-188. Revestimiento	m²	8,00		
Moldaje	m²	10,00		
Hormigón H-25 (preparación in situ)	m³	1,00		
Compuerta manual de admisión	u	1,00		
Fletes	gl	1,00		
Subtotal				
GASTOS GENERALES	%	5		
UTILIDADES	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región del Maule.

Obra 13-A: Construcción de estanque 6 x 3 x 1,5 en albañilería de ladrillo.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Cemento saco de 42,5 kg	u	35		
Arena incluye flete	m³	4		
Ripio incluye flete	m³	4		
Ladrillos c/flete	u	850		
Pilares de 15 x 15 x 2,5 m	u	4		
Pilares de 14 x 14 x 3,4 m	u	6		
Carga de tabla tapa canteada 4”	carga	8		
Impermeabilizante cave fugo lt	lt	10		
Electrobomba 1 HP	u	1		
Flete de materiales	gl	1		
Mano de obra excavaciones	gl	1		
Mano de obra albañilería	gl	1		
Subtotal				
GASTOS GENERALES	%	5		
UTILIDADES	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Santa Cruz, región de O’Higgins.

Obra 13-B: Construcción de estanque de hormigón armado H-20, medidas interiores 6,0 m x 5,0 m x 1,0 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Cemento 42,5 kg	saco	76		
Ripio	m³	10		
Arena media	m³	6		
Cadenas acma fe 8 mm L= 4,5 m	u	11		
Pilares acma fe 8 mm L= 3,0 m	u	4		
Malla acma C-92 de 2,6 m* 5,0 m	u	5		
Placa aglomerada desnuda 15 mm de 2,44 m * 1,52 m	u	14		
Listones de pino 2” * 2” de 3,2 m	u	30		
Clavos de 21/2”	kg	5		
Alambre negro nº 18	kg	2		
Sika 1 impermeabilizante 18 lts	tineta	1		
Rodillo sintético 18 cm	u	1		
Flete de materiales	gl	1		
Mano de obra construcción	gl	1		
Subtotal				
GASTOS GENERALES	%	5		
UTILIDADES	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región del Maule.

Obra 13-C: Estanque australiano para 127 m³. Diámetro = 12,9 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Escarpe y excavación a mano	m³	50		
Zanja de fundación	m³	2,5		
Cimiento hormigón simple	m³	3		
Base estabilizada e = 5 cm	m²	130		
Malla acma C139	u	10		
Radier hormigón 300 kg cem/m³	m³	13		
Relleno tierra compactado	u	25		
Estanque australiano de fibrocemento 127 m³	u	1		
Junta de dilatación	gl	1		
Obra de salida	u	1		
Instalación	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	20		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Depto. Riego región Metropolitana.

Obra 14: Conducción californiana.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Replanteo y control topográfico				
Replanteo y control topográfico	gl	1		
Conducción californiana				
Tubería agrícola de D = 200 mm C-2.6	tira 6 m	41		
Válvula alfalfa. D = 200 mm	m	1		
Conector válvula alfalfa. D = 200 mm	m	1		
Válvula mariposa D = 200 mm (regula caudal)	u	1		
Brida 200 mm con pernos	u	1		
Válvulas de huerto D = 75 mm	u	26		
Llave alfalfa D = 200/200 mm	u	1		
Campanas de distribución	u	26		
Tubo elevador PVC, D = 75 mm	u	26		
Goma agrícola 75 mm	u	26		
Lubricante Vinilit	u	1		
Lija	u	6		
Pegamento Oatey 237 gr	u	3		
Excavación zanja tubería	m³	164		
Relleno zanja material común	m³	156		
Cama de arena	m³	8		
Cámaras				
Cámara entrada al sistema	gl	1		
Cámara terminal	gl	1		
Compuerta	gl	1		
Instalaciones sistemas de riego				
Instalación de tuberías, válvulas y campanas de distribución	gl	1		
Subtotal				
Utilidad del contratista (7%)	%	7		
Gastos generales e imprevistos (3%)	%	3		
Estudio	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego, región de La Araucanía.

Obra 15-A: Habilitación de pozo e implementación de riego por goteo para 0,5 has de frambuesa. Presupuesto presenta el desglose por partidas de materiales.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Unidad de bombeo de riego				
Bomba Reggio sixteam sm 200	u	1		
Interruptor de nivel 10 m	u	1		
Kit hidroneumático 24 lt (completo)	u	1		
Tubería hidráulica C - 10 50 mm	tira 6 m	2		
Tapón HE 32 x 1”	u	2		
Terminal soldable /HE 40 x 1 1/4”	u	4		
Terminal soldable /HE 50 x 1 1/2”	u	1		
Red larga 50-32 mm	u	1		
Red larga 40-32 mm	u	1		
Terminal soldable/HI 63 x 2”	u	2		
Codo soldable 90° 40 mm	u	4		
Codo soldable 90° 50 mm	u	1		
Unión americana soldable PVC presión 50 mm	u	2		
Unión americana soldable PVC presión 40 mm	u	2		
Válvula compuerta 1 1/4”	u	1		
Válvula aire 1” PVC	u	1		
Tee soldable PVC presión 40 mm	u	4		
Buje reducción sold PVC presión 63 x 50 mm	u	2		
Buje reducción sold PVC presión 50 x 40 mm	u	2		
Buje reducción sold PVC presión 40 x 32 mm	u	4		
Terminal soldable/HI 32 x 1”	u	4		
Bushing 1 x 1/2”	u	2		
Bushing 1/2 x 1/8” bronce	u	2		
Manómetro 0-7 bar	u	2		
Válvula pie 1 1/2”	u	1		
Válvula retención vaivén 1 1/4”	u	1		
Filtro de malla 2” 120 mesh	u	1		
Matriz				
Tubo PVC C6 40 mm presión	tira 6 m	10		
Codo soldable 90° 40 mm	u	2		
Tee soldable PVC presión 40 mm	u	3		
Adhesivo PVC	u	5		
Lija metal grano 100 1/2 m-620409	u	3		
Teflón 3/4” x 10 m	u	20		
Sector				
Tubo PVC C6 40 mm presión	tira 6 m	14		
Codo soldable 90° 40	u	20		
Tapa PVC presión gorro HI 1 1/4	u	5		
Tee soldable PVC presión 40 mm	u	5		
Terminal soldable/he 40 x 1 1/4	u	15		
Válvula compuerta 1 1/4”	u	5		
Buje reducción PVC presión 40 x 32	u	3		
Terminal soldable/HI 32 x 1”	u	3		
Conector gromeet 1/2” riego	u	64		
Goma conector 1/2” riego gromeet Hoffens	u	64		
Conector PP 16 mm	u	64		
Copla pp 16 mm	u	10		
Válvula aire 1” Tvc. api-usa	u	3		
Tapón final cinta	u	64		
Manómetro	u	1		
Toma manométrica	u	5		
Racor sonda	u	1		
Gotero Drip Tape 1,6 lt/hr/0,3 m	rollo 400 m	10		
Tubo polietileno 100% virgen 16 mm	m	41		
Inyector de fertilizante				
Tee soldable PVC presión 40 mm	u	2		
Reducción larga 40-32 mm	u	2		
Tubería hidráulica C-10 32 mm	u	1		
Terminal soldable /HE 32 x 1”	u	5		
Válvula compuerta 1”	u	2		
Codo soldable 90° 32 mm	u	2		
Terminal soldable/HI 32 x 1”	u	2		
Tee soldable PVC presión 32 mm	u	1		
Unión americana soldable PVC presión 32 mm	u	2		
Buje reducción sold PVC presión 32 x 25 mm	u	1		
Terminal soldable/HI 25 x 3/4”	u	1		
Manguera 3/4”	u	2		
Kit de inyección	u	2		
Llave jardín 3/4”	u	1		
Inyector Venturi 1”	u	1		

Continúa en página siguiente.

Viene de la página anterior.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Elementos eléctricos				
Alambre NYA 2,5 mm, verde	m	1		
Alambre THHN 10, blanco	m	5		
Alambre THHN 10, rojo	m	5		
Cordón 3 x 2,5	m	3		
Protector termmag 6,3-10 amp	u	1		
Caja ms-655 c/membrana	u	1		
Huincha aisladora 3/4”	u	1		
Barra copperweld	u	1		
Conector TT 5/8”	u	1		
Caseta (2,5 x 1,6 x 2)				
Cemento	saco	3		
Plancha zinc 5V (0,85 x 2 m)	plancha	10		
Plancha zinc acanalado (2,5 m)	plancha	4		
Pino dimensionado 2 x 2”	u	27		
Tapa corriente 1 x 4”	u	4		
Clavo techo 1 3/4”	kg	2		
Bisagra	u	3		
Tornillo madera 7 x 1”	u	18		
Clavo 1 x 1	kg	1		
Clavo 4 x 8 x 1	kg	5		
Arena gruesa	m^3	0,5		
Ripio	m^3	0,5		
Habilitación pozo				
Tubos de cemento 1 m (ext) x 1 m (alto)	u	6		
Bolón	m^3	11		
Plástico 0,10 x 1.000	ml	6		
Material de relleno (tierra)	m^3	1		
Movimiento de tierra y obras civiles				
Excavación de zanjas metro lineal	ml	84		
Tapado cañería metro lineal	ml	84		
Instalación hidráulica	gl	1		
Instalación eléctrica bombeo	gl	1		
Instalación caseta bombeo	gl	1		
Instalación tubos	gl	6		
Relleno y sellado del pozo	gl	12		
Flete de materiales (goteros de Stgo.-Linares)	gl	10		
Fletes de tubos de cemento y materiales (flete 4 tubos/viaje)	gl	2		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego, región del Maule.

Obra 15-B: Riego por goteo en frambuesas, 0,32 has con tubería de pared delgada.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
LÍNEA DE RIEGO				
Polietileno virgen 16 mm	ml	80		
P.E. pared delgada 0,5 mm c/gotero a 0,3 m Qg = 2,0 l/h	ml	3.300		
Goma Gromeet 16 mm	u	80		
Conector Gromeet 16 mm	u	80		
Conector de cinta de 17 mm	u	80		
RED HIDRÁULICA				
PVC 40 mm C-6	tira 6 m	20		
PVC 32 mm C-6	tira 6 m	10		
Conduit de 25 mm	tira 6 m	3		
Conduit de 20 mm	tira 6 m	10		
Conduit de 16 mm	tira 6 m	4		
Accesorios y Fitting de PVC	gl	1		
Válvula de bola de 1” en PVC	u	6		
Válvula de aire API de 1”	u	3		
Electroválvula de 1”	u	6		
Válvula de compuerta de 1 $^1/_4$”	u	6		
Cajas eléctricas de derivación	u	6		
Alambre NYA de 1,5 mm^2 blanco	ml	100		
Alambre NYA de 1,5 mm^2 rojo	ml	300		
CENTRO DE CONTROL				
Bomba monofásica Pentax CM-75 0,8 HP	u	1		
Tablero de partida manual/automático	u	1		
Programador de 6 estaciones	u	1		
Interruptor de nivel con cable de 5 m	u	1		
Filtro de arena c/válvula Hayward de 1 $^1/_2$” para 6 m^3/h	u	1		
Filtro de malla 1$^1/_2$” para 12 m^3	u	1		
Válvula de retención 1$^1/_2$”	u	1		
Válvula de compuerta de 1$^1/_2$”	u	1		
Manómetros de 0-6 bar de glicerina, acero inoxidable	u	2		
Inyector Venturi con caudalímetro de 3/4”	u	1		
Accesorios conexión cabezal, PVC C-10 de 40 mm	u	1		
Materiales eléctricos conexión tablero a bomba	u	1		
Subtotal Materiales				
M.O. Excavación y tapado de zanjas	ml	110		
M.O. Instalación red de riego	gl	1		
M.O. Instalación bomba y cabezal de riego	gl	1		
Subtotal Mano de Obra				
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de riego, región del Maule.

Obra 15-C: Proyecto de riego por goteo en arándanos con control automático, para una superficie de 0,69 has, dividida en 8 sectores de riego.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
LÍNEA DE RIEGO				
Polietileno virgen 16 mm	ml	100		
P.E. Pared delgada c/gotero a 0,4 m Qg=2,0 l/h	ml	3.100		
Goma Gromeet 16 mm	u	140		
Conector Gromeet 16 mm	u	140		
Conector de cinta de 17 mm	u	70		
RED HIDRÁULICA				
PVC 40 mm C-6	tira 6 m	34		
PVC 32 mm C-6	tira 6 m	15		
Conduit de 32 mm	tira 6 m	2		
Conduit de 25 mm	tira 6 m	12		
Conduit de 20 mm	tira 6 m	6		
Conduit de 16 mm	tira 6 m	6		
Accesorios y Fitting de PVC	gl	1		
Válvula de bola de 1" en PVC	u	8		
Válvula de aire API de 1"	u	4		
Electroválvula de 1"	u	8		
Válvula de compuerta de 1 1/4"	u	8		
Cajas eléctricas de derivación	u	7		
Alambre NYA de 1,5 mm2 blanco	ml	150		
Alambre NYA de 1,5 mm2 rojo	ml	700		
CENTRO DE CONTROL				
Bomba monofásica Pentax sumergible 1 HP	u	1		
Tablero de partida manual/automático	u	1		
Programador de 8 estaciones	u	1		
Interruptor de nivel con cable de 10 m	u	1		
Filtro de malla 1 1/2" para 12 m3	u	1		
Válvula de retención 1 1/4 "	u	1		
Válvula de compuerta de 1 1/4"	u	1		
Manómetros de 0-6 bar de glicerina, acero inoxidable	u	2		
Inyector Venturi con caudalímetro de 3/4"	u	1		
Accesorios conexión cabezal, PVC C-10 de 40 mm	u	1		
Materiales eléctricos conexión tablero a bomba	u	1		
Excavación y tapado de zanjas	ml	165		
Caseta para el centro de control	u	1		
Instalación red de riego	gl	1		
Instalación bomba y cabezal de riego en caseta	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área San Fernando, región de O'Higgins.

Obra 15-D: Sistema de riego por cinta para 1.740 m2 de invernaderos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Cabezal de bombeo	gl	1		
Elementos de conducción y regulación (tuberías, válvulas, fitting)	gl	1		
Líneas de riego (3600 m de cinta más conectores)	gl	1		
Materiales eléctricos	gl	1		
Minicaseta de protección bomba	gl	1		
Zanja conducción hidráulica	m3	31		
Relleno zanja conducción hidráulica	m3	31		
Instalación eléctrica mano de obra especializada	gl	1		
Instalación hidráulica y sistemas de riego	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
Total Neto del Proyecto ($)		**TOTAL NETO**		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Bulnes, región del Biobío.

Obra 15-E: Sistema de riego con lateral doble y goteros autocompensados (Naranjos 5 x 5. Superficie 2 hectáreas).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Motobomba 2 HP Pedrollo CPM 190	u	1		
Tablero eléctrico 0,5-3 HP	u	1		
Filtro arena 24" V. Hayward 1 1/2"	u	1		
Filtro 2" anillas	u	1		
Tubo PVC 63 mm C-6 x 6 m	u	30		
Tubo PVC 50 mm C-6 x 6 m	u	17		
Tubo PVC 40 mm C-6 6 m	u	17		
Tubo PVC 32 mm C-10 x 6 m	u	4		
Tubo PE 16 mm	u	8.000		
Gotero botón autocomp. 4 LPH	u	5.600		
Sistema control automático	u	1		
Fittings, adhesivo y varios	gl	1		
Excavación y tapado zanjas	m^3	152		
Subtotal				
Diseño	%	5		
Instalación y asesoría	%	15		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región Metropolitana.

Obra 15-F: Caseta malla Acma (3 m x 3 m x 2,5 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Materiales				
Zinc 0,35 x 1,85 x 3.000 mm	plancha	7		
Caballete galvanizado 0,3 x 303 x 2.000 mm	u	2		
Soldadura M&H AC-1 6011 3/32	kg	12		
Pilar, cadena, escalerilla, fierro construcción	gl	1		
Perfil cuadrado 40 x 40" 2 mm	tira 6 m	16		
Perfil ángulo 40 x 40 x 2 mm	tira 6 m	4		
Plancha de acero 1 x 2 x 3 mm	u	2		
Rueda corredera	u	4		
Candado 50 mm	u	1		
Malla Acma C-193 sin economía de borde	u	2		
Anticorrosivo y pintura	gal	1		
Remache pop	u	500		
Aguarrás	lt	1		
Hormigón y Albañilería				
Hormigón H-20	m^3	1		
Emplantillado	m^3	1		
Bloques	u	500		
Mano de obra				
Construcción de caseta	gl	1		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Obra 16: Sistema de riego por micro-aspersión para 2 has de paltos (6 m x 5 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Motobomba 5,5 HP Pedrollo 2CP32/200B	u	1		
Tubo PVC 63 mm C-10 – tira 6 m	u	30		
Tubo PVC 50 mm C-6 – tira 6 m	u	17		
Tubo PVC 40 mm C-6 – tira 6 m	u	17		
Tubo PVC 32 mm C-10 – tira 6 m	u	2		
Tubo PE 16 mm	m	3.400		
Microaspersor Dan 2.001 completo 47 LPH	u	667		
Control automático	u	1		
Fittings, adhesivo y varios	gl	1		
Excavación y tapado de zanjas	m^3	160		
Mano de obra instalación	ha	2		
Subtotal				
Diseño	%	5		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de Valparaíso.

Obra 17-A: Proyecto de aspersión móvil con tubería de aluminio en 2 has de achicoria industrial.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
CONDUCCIÓN				
Componentes kit succión y descarga 3 $^1/_2$" x 2 $^1/_2$"	u	1		
Manómetro de glicerina (0-10 Bar) con boq. bronce	u	2		
Teflón prof. $^3/_4$ GAS	u	8		
MATRIZ SECTORES				
Tubo 4" x 5,7 m S/T(long. especial) pestillo	u	16		
Tubo 4"X 2,72 m S/T(long. especial) pestillo	u	8		
Tapón 4" pestillo	u	1		
Cruz con dos salidas roscadasa 4 x 4 x 2 x 2 pestillo	u	9		
Hembra con rosca macho 50 X 2" M COB.	u	18		
Válvula de bola 2"	u	18		
LATERALES DE RIEGO				
Tubo 50 mm X 6 m (medida especial)	u	68		
Aspersor VYR-36 c/boquilla 4,36 mm y tapón	u	36		
Estabilizador 55 X 400 c/T.Y tuerca	u	36		
T M-H c/soporte para aspersor 50-70 cm X 3/4"H cob.	u	36		
Tapón 50 mm cob.	u	4		
EQUIPO DE BOMBEO				
Motobomba Megadiesel 32-160.1/162 - 7 HP	u	1		
Accesorios de flange	u	1		
SUPERVISIÓN DE INSTALACIÓN				
Puesta en marcha	u	1		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Raesa Chile S.A., Proyecto ejecutado en la comuna de El Carmen, región del Biobío.
Equipo riega con dos juegos de laterales, uno regando y otro en espera, con 18 aspersores cada uno ubicados a 12 m de distancia.

Obra 17-B: Proyecto de riego por aspersión semimóvil para 1,5 has de alfalfa.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Elevación mecánica (2 bombas en serie)	gl	1		
Elementos de conducción	gl	1		
Línea móvil de acople rápido PVC 2”	gl	1		
Materiales eléctricos	gl	1		
Mini caseta de protección bomba	gl	1		
Zanja tubería principal (0.6 x 0.4 x 259)	m^3	62		
Relleno zanja tubería principal	m^3	62		
Instalación eléctrica mano de obra especializada	gl	1		
Instalación hidraúlica y sistemas de riego	gl	1		
Subtotal				
Diseño	%	5		
Instalación y asesoría	%	15		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Sistema de riego por aspersión semimóvil, que cuenta con una unidad de bombeo, accionada mediante dos bombas eléctricas monofásicas, conectadas en serie, elementos de conducción y regulación, matriz de PVC 63 mm (clase 6), línea móvil de acople rápido en PVC de 50 mm y extensión eléctrica monofásica aérea.

Presupuesto detallado de la obra 17-B.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
ELEVACIÓN MECÁNICA				
Bomba CPM 25/160B Pedrollo 1.5 HP	u	2		
Válvula de pie 2”	u	1		
Terminal HID. 63 x 2” CEM. HE	u	5		
Terminal HID. 50 x 1 $^1/_2$” CEM. HE	u	2		
Terminal HID. 32 x 1” CEM. HE	u	2		
Tubo hidráulico 63 mm C-6	tira 6 m	1		
Tubo hidráulico 50 mm C-6	tira 6 m	1		
Tubo hidráulico 32 mm C-10	tira 6 m	1		
Codo 63 mm	u	2		
Codo 32 mm	u	1		
Reducción larga 63 x 50 mm	u	1		
Reducción larga 50 x 32 mm	u	1		
Reducción larga 63 x 32 mm	u	1		
Unión americana 50 mm	u	1		
Unión americana 32 mm	u	2		
Válvula de compuerta 2”	u	1		
Collarín 63 x 1”	u	1		
Collarín 63 x 1/2”	u	1		
Válvula de aire 1”	u	1		
Bushing bronce 1/2” x 1/4”	u	1		
Manómetro de glicerina 0-6 Bar	u	1		
Válvula de retención 2”	u	1		
ELEMENTOS DE CONDUCCIÓN				
Tubo hidráulico 63 mm C6	u	46		
Tee Hid 63 mm Cem	u	8		
Codo Hid 63 mm Cem	u	1		
Collarín 63 x 1”	u	1		
Terminal HID. 32 x 1” CEM. HE	m	1		
Válvula de aire 1”	u	1		
Lubricante Vinilit	u	4		
Pegamento Vinilit 250 cc s/lento c/brocha	u	3		
Lija metal	u	4		
Teflón 3/4	u	10		

Continúa en página siguiente.

Viene de página anterior.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
LÍNEA MÓVIL DE ACOPLE RÁPIDO 2”				
Tubería U-R L=6 m blanco 50 mm	tira 6 m	15		
Gancho 50 mm	u	15		
Collarín 50 x 1”	u	5		
Elevador 1” x 1 m”	u	5		
Soporte elevador 50 mm	u	5		
Válvula de bola 2” Italia	u	9		
Aspersor plástico 3/4” HE VYR 36 6C	u	5		
Tapón 50 mm	u	1		
Terminal HE hembra 50 x 1 $^1/_2$”	u	9		
Terminal HI 50 x 1 $^1/_2$”	u	9		
Codo Hid. 90º c/Cem 63 mm	u	9		
Terminal PVC Cem. HE 63 x 2”	u	9		
SUMINISTRO ELÉCTRICO				
Alambre PI 6 mm	m	140		
Soporte remate 1 vía 2” 25 mm	u	4		
Aislador carrete 1013 (3118)	u	4		
Perno galvanizado 1/7 x 7	u	4		
Golilla presión 1/2	u	4		
Golilla 40 x 40 x 5 de 1/2	u	4		
Caja Xamax chica	u	1		
Protector Termomag. MS 6.3-10 A	u	2		
Caja MS-G55 IP55/ c/membrana	u	2		
Calota 1 CC DIN blanca MEC CS-0011-1	u	2		
Int. Lex. 1 x 10A DE/C 6KA #03384	u	2		
Interruptor nivel MAC-10 220 V 15 a 10 m	u	1		
Riel Din Omega 1 m eléctrico galvanizado	u	0,2		
Perno cocina 3/16 x 1/2	u	4		
Tuerca cocina 5/32	u	4		
Conduit PVC 25 mm	tira 6 m	2		
Terminal Conduit 25 mm c/2 tuercas	u	2		
Curva PVC Conduit 25 mm	u	8		
Huincha aisladora 3/4 x 20 m #33 3M	u	1		
Barra tipo Copperweld 5/8 x 1”	u	1		
Conector T.T. 5/8	u	1		
Cordón 3 x 10 TOP (RVK 6 mm)	u	10		
Alambre NYA 4 verde	u	5		
Condulet PVC Conduit 25 mm	u	1		
Mini caseta de protección bomba				
Radier instalación bomba hormigón H-15	m^3	0,3		
Moldaje	m^2	1,9		
Caseta protección bomba	u	1		

Obra 18: Control automático para 6 sectores de riego en 1,5 ha.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Tablero eléctrico fuerza y control 2 HP monofásico c/Rele 24 V	u	1		
Programador de riego 6 estaciones	u	1		
Válvula solenoide 1”	u	6		
Terminal 32 HE x 1”	u	12		
Cable THHN AWG 14	rollo 100 m	8		
Tubo conduit 25 mm	tira 6 m	27		
Fittings, adhesivo y varios	gl	1		
Subtotal				
Diseño	%	5		
Instalación y asesoría	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Presupuesto no incluye excavación ni tapado de zanjas ya que se considera su instalación en conjunto con la red hidráulica.

Obra 19: Impermeabilización de tranque con lámina de HDPE 0,75 mm 1.120 m².

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Lámina HDPE 0,75 mm	m²	1.120		
Retiro de piedras	jh	12		
Afinamiento fondo y taludes	gl	1		
Excavación terreno blando para zanja de anclaje	m³	94		
Instalación con técnico y máquina	m²	1.120		
Mano de obra apoyo a instalación	jh	2		
Alojamiento y pensión 1 persona	día	1		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Elaboración del autor.

Obra 20: Nivelación de suelos con traílla para 5 has de maíz.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Estudio topográfico	u	5		
Movimiento de tierra	m³	2.250		
Petróleo	lt	428		
Preparación de suelo	ha	5		
Mano de obra	jh	3		
Pensión	día	5		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Área Lolol, región de O'Higgins.

Obra 21-A: Proyecto drenaje Collico Ranco.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Instalación de faenas	gl	1		
Replanteo y control topográfico	día	5		
Alcantarilla de cajón 1.5 x 3 L=12 m, con mecanismo de clapetas				
Hormigón H30	m³	24,96		
Hormigón H10	m³	2,16		
Moldaje 2 usos	m²	111,6		
Enfirredura A44-28H	kg	2.046		
Relleno en o. de arte	m³	109,4		
Acero est. soldable instalado	kg	532,3		
Terraplén y enrocado obra sobre alcantarilla de cajón				
Escarpe para fundar terraplén	m³	235		
Selección y acopio material terraplén	m³	345		
Carguío y transporte material terraplén 2,5 km	m³	345		
Relleno en o. de arte	m³	345		
Enrocado rocas d. medio 1 m, puesta en obra	m³	646		
Instalación Geotextil	m²	942		
Preparación sub-base alcantarilla				
Excavación en obra de arte	m³	48		
Relleno en obra de arte	m³	48		
Instalación geotextil	m²	80		
Base chancada 1 1/2", 75 Km"	m³	48		
Subtotal				
Utilidades	%	10		
Gastos Generales	%	5		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de La Araucanía.

Obra 21-B: Presupuesto obra de drenaje, zanja matriz de 400 metros (0,6 m de base).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Faenas de zanjado				
Apertura de faja y limpieza	hr	1		
Excavación de zanja	hr	12		
Perfilado de foso	jh	30		
Cercado de zanjas (800 m)				
Estacones	u	267		
Alambre púa	rollo 500 m	5		
Grampas 1 1/2"	kg	20		
Mano de obra				
Maestro semicalificado	jornada	35		
Flete maquinaria	gl	1		
Topografía y replanteo	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	8		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de Los Ríos.

Obra 22: Mejoramiento de tranque "Las Mariposas".

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Instalación de faenas e instalaciones varias				
Letrina jefe de obra 1,2 x 1 m: confección y colocación	u	1		
Letrina obreros 1,2 x 1 m: confección y colocación	u	1		
Galpón taller sin forrar: confección y colocación	m^2	20		
Caseta prefabricada cuidador (1 uso): confección y colocación	u	1		
Cuidadores en frentes de obras y máquinas	día	30		
Mejoramiento poza de inundación				
Roce y despeje	m^2	3820		
Detronque (incluye transporte a botadero)	ha	0,38		
Replanteo y control topográfico	día	3		
Excavación a mano para obra de arte	m^3	3990,71		
Agotamiento de napa para faenas	día	30		
Carguío y transporte material de excavación - L=3 Km	m^3	4788,85		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	4		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Departamento de Riego región de O'Higgins.

Obra 23: Proyecto de instalación de riego por goteo para 500 m², con kit familiar de riego de baja presión, accionado por energía solar a través de un panel fotovoltaico de 85 W.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Panel solar 85 W	u	1		
Regulador de voltaje	u	1		
Bomba sumergible Shurflo	u	1		
Kit familiar de riego 500 m²	u	1		
Estanque 1.000 litros (fibra de vidrio)	u	1		
Cable araflex RVK 3 x 4 mm²	m	15		
Cable THHN 10	m	15		
Fittings, adhesivo y varios	gl	1		
Soporte metálico para panel solar	gl	1		
Mano de obra especializada instalación	gl	1		
Subtotal				
Diseño	%	5		
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Proyecto ejecutado en la comuna de María Pinto, región Metropolitana.

Obra 24-A: Instalación de rueda hidráulica (D = 1,8 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Bomba ZM-51, rueda 1,8 x 0,18	u	1		
Captación y conducción a bomba	gl	1		
Conducción a estanque (300 m PE 1”)	gl	1		
Flete hasta 200 km desde Temuco	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Empresa Metalúrgica Germania (www.metalurgicagermania.cl).

Obra 24-B: Instalación de rueda hidráulica (D = 2,0 m).

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Bomba ZM-95, rueda 2,0 x 0,35	u	1		
Captación y conducción a bomba	gl	1		
Conducción (600 m PVC 50 mm C6)	gl	1		
Flete hasta 200 km desde Temuco	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Empresa Metalúrgica Germania (www.metalurgicagermania.cl).

Obra 25-A: Molino de viento con torre de 7,8 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Molino de 8 pies, con torre de 7,8 m instalada standard	gl	1		
Flete hasta 200 km desde Temuco	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Empresa Molinos Surgente, representante en Chile: Metalúrgica Germania (www.metalurgicagermania.cl).

Obra 25-A: Molino de viento con torre de 9,8 m.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio $	Total $
Molino de 10 pies, con torre de 9,8 m instalada standard	gl	1		
Flete hasta 200 km desde Temuco	gl	1		
Subtotal				
Gastos generales e imprevistos	%	5		
Utilidad del contratista	%	10		
		TOTAL NETO		
		IVA 19%		
		TOTAL		

Fuente: Empresa Molinos Surgente, representante en Chile: Metalúrgica Germania (www.metalurgicagermania.cl).

AUTOR 1ª EDICIÓN 2000:
Carlos Barrientos Díaz

AUTORES 2ª EDICIÓN 2010:
Miguel Sandoval Cortez
Carlos Barrientos Díaz

COMITÉ EDITOR:
Departamento de Riego de INDAP

SELECCIÓN DE OBRAS:
Realizada por los autores en colaboración
con las Unidades de Riego en regiones

FOTOGRAFÍAS:
Miguel Sandoval Cortez
Archivo fotográfico de INDAP

DIBUJOS:
Miguel Sandoval Cortez

ARTE Y DISEÑO:
Veritas Publicidad

INDAP
Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile