

**SAGARPA**



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,  
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,  
PESCA Y ALIMENTACIÓN

**“SECRETARÍA DE AGRICULTURA,  
GANADERÍA,  
DESARROLLO RURAL,  
PESCA Y ALIMENTACIÓN”**

Subsecretaría de Desarrollo Rural  
Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural”

# Galerías Filtrantes.



# GALERÍAS FILTRANTES

## 1. DEFINICIÓN

La galería filtrante es un conducto casi horizontal permeable (semejante a un dren subterráneo), cerrado, enterrado, rodeado de un estrato filtrante, y adyacente a una fuente de recarga superficial que permite interceptar el flujo natural del agua subsuperficial. La galería filtrante termina en una cámara de captación donde el agua acumulada puede ser bombeada o derivada directamente por gravedad.

La galería filtrante se puede ubicar en dirección perpendicular al flujo de las aguas subterráneas, pero en caso de que exista una recarga constante de una fuente superficial, podrá optarse por una dirección paralela al mismo.

## 2. OBJETIVOS

- Captar agua subálvea de los lechos de los cauces permanentes e intermitentes.
- Captar agua subsuperficial de las laderas
- Extraer de los cauces agua libre de sedimentos.

## 3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SU CONSTRUCCIÓN

### 3.1 VENTAJAS

- a) Son fáciles de excavar e instalar.
- b) Permiten aprovechar los escurrimientos subsuperficiales o subálveos.

- c) Disponer de agua cuando el caudal de los ríos es mínimo o nulo.

### 3.2 DESVENTAJAS

- a) Son vulnerables al azolvamiento si no se protegen contra inundaciones.
- b) Requieren una alta inversión inicial

## 4. CONDICIONES PARA ESTABLECER UNA GALERÍA FILTRANTE

Este tipo de obras de derivación se establecen en sitios favorables para recibir la recarga de los ríos y lagos y para facilitar el desplazamiento del agua. Los cuales corresponden a las zonas de depósitos aluviales con niveles piezométricos próximos a la superficie y de alta porosidad efectiva.

Los lugares más convenientes para la construcción de galerías de filtración -con el fin de evitar grandes excavaciones- son las márgenes planas de los cursos y cuerpos de agua. Se debe buscar que el material que forma la zona de captación, en el lecho del río, tenga una granulometría que haga trabajar la galería como un filtro lento.

Para minimizar la contaminación de las aguas captadas por la galería, es recomendable ubicarla lo más alejada posible de las fuentes de contaminación tales como: lagunas de estabilización, filtros percoladores, letrinas, descargas industriales, etc. Asimismo, por cuestiones de seguridad, el lugar seleccionado

para la construcción de la galería de filtración no debe encontrarse expuesto a la acción erosiva de la corriente del agua en curso; ya que pondría en peligro al dren colector, adelgazando el espesor de la capa del suelo que la protege, así como la calidad del agua extraída por falta de un espesor mínimo para que la cubierta de suelo protectora funcione como filtro. Esto último es muy importante, porque casi siempre la ribera de los ríos está formada por gravas, arenas y limos no consolidados que ofrecen muy poca resistencia a la erosión.

En cuanto a la distancia que debe existir entre la galería y la fuente de recarga superficial, puede considerarse como distancia mínima la que pueda recorrer la contaminación bacteriana presente en el río o lago. Normalmente, se utiliza la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), con respecto a la distancia que debe existir entre una letrina y una fuente de agua subterránea, que es no menor a 15 metros.

La selección entre una galería que comprometa todo el espesor de un acuífero o que sólo aproveche la parte superior del mismo, depende: del espesor del acuífero, de la permeabilidad del suelo, del equipo disponible para hacer la excavación, de las condiciones naturales del área disponible y, sobre todo, de la demanda de agua.

En el caso de un acuífero muy delgado, lo más acertado sería colocar el dren en el fondo, de manera tal que se pueda extraer todo el caudal que escurre por él. En el caso de acuíferos de mediano espesor, vale la pena analizar si es más económico efectuar una excavación que

comprometa todo el espesor del acuífero o solamente la parte superior, lo que conducirá a obtener un menor rendimiento por unidad de longitud de galería.

#### **4.1 TRABAJOS PRELIMINARES**

Teniendo en cuenta que las galerías se construyen por debajo del nivel del suelo, será indispensable realizar estudios geotécnicos destinados a determinar las características geomorfológicas del lugar donde se tiene prevista la construcción de la galería. Una parte importante es el estudio geológico de la zona para conocer la disposición del material no consolidado en profundidad, así como sus características hidrogeológicas, y las variaciones en el nivel de las aguas subterráneas a lo largo del año, entre otros.

En cuanto a la calidad del agua, si se contara con dos alternativas para ubicar la galería, tales como ubicarla en un acuífero con escurrimiento propio o en las proximidades de la orilla de una masa de agua superficial, es preferible seleccionar la primera, por tener menor probabilidad de estar contaminada bacteriológicamente; sin embargo, en cuanto a la confiabilidad de la captación, es más atractiva la segunda alternativa.

#### **4.2 INFORMACIÓN BÁSICA**

La información necesaria para elaborar el diseño de una galería filtrante es:

- Plano topográfico de la zona y perfiles transversales.
- Plano geológico y perfil estratigráfico.



- Mapa de niveles de las aguas subterráneas y su variación en el año hidrológico.
- Parámetros hidrogeológicos determinados por ensayos de bombeo.
- Análisis físico-químico y bacteriológico del agua.

### 4.3 RECONOCIMIENTO DE CAMPO

El reconocimiento de campo es un factor imprescindible que permite apreciar el relieve, el afloramiento de rocas, la proximidad de posibles focos de contaminación, etc.

De no ser suficiente la información disponible, será necesaria la ejecución de trabajos complementarios, tales como: perforaciones exploratorias, trabajos de topografía, ensayos de bombeo de pozos y análisis físico-químico y bacteriológico de muestras de agua, entre otros.

## 5. DISEÑO DE GALERÍAS FILTRANTES

Para el diseño de galerías de filtración se dispone de varios métodos de cálculo: unos deducidos a partir de la ecuación de Dupuit y otros identificados con el apellido del científico que lo desarrolló.

Considerando que el proyectista de pequeñas obras de abastecimiento tiene que diseñar una galería de filtración en base a su experiencia, y por lo general, sin contar con un estudio hidrogeológico detallado, resulta una buena práctica realizar los cálculos por medio de diferentes métodos, variando los parámetros dentro de un rango razonable de magnitud, para luego seleccionar los resultados más probables.

Aunque el procedimiento no parece muy confiable, en muchos casos proporciona buenos resultados para el diseño. El procedimiento de emplear diferentes modelos en el diseño de la galería filtrante, permite al proyectista identificar los parámetros o factores de mayor influencia. Al efecto, en las formulaciones, es necesario tener en cuenta las características del acuífero y las características del dren.

Las características del acuífero se identifican por los siguientes parámetros con sus respectivos símbolos y dimensiones:

- Conductividad hidráulica o permeabilidad:  $k_f$  (m/s). Es la facilidad con la que un material permite el paso del agua a través de él, y está representado por el volumen de agua que escurre a través de un área unitaria de un acuífero bajo un gradiente unitario y por unidad de tiempo. También se le conoce como coeficiente de permeabilidad (Cuadro 1).
- Profundidad del acuífero:  $H$  (m).
- Transmisividad  $T = k_f * H$  (m<sup>2</sup>/s). Caudal a través de una sección de acuífero de anchura unitaria bajo un gradiente hidráulico unitario. Se expresa como el producto de la conductividad hidráulica por el espesor de la porción saturada de un acuífero.
- Espesor dinámico del acuífero en el punto de observación:  $H_b$  (m).
- Espesor dinámico del acuífero en la galería:  $H_d$  (m). Espesor del acuífero medido entre el nivel de agua del dren de la galería y la cota inferior del acuífero.
- Pendiente dinámica del acuífero:  $i$  (m/m).

- Porosidad efectiva:  $S$  (adimensional). Permeabilidad de un medio poroso a un fluido que ocupa solo una parte del espacio poroso, estando el resto ocupado por otros fluidos. Es una función de la saturación.
- Radio de influencia del abatimiento:  $R$  (m).
- Distancia entre la galería y el pozo de observación:  $L$  (m).
- Distancia entre la galería y el punto de recarga:  $D$  (m).

En lo que respecta a la galería de filtración, sus principales características físicas, con sus respectivos símbolos y dimensiones son:

- Radio del dren:  $r$  (m).
- Tiempo de extracción del agua de la galería:  $t$  (s).
- Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería:  $s$  (m).
- Mínimo tirante de agua encima del lecho del curso o cuerpo de agua superficial:  $a$  (m).
- Profundidad del estrato impermeable con respecto a la ubicación del dren:  $b$  (m).
- Profundidad de ubicación del dren con respecto al fondo del curso o cuerpo de agua superficial:  $z$  (m).
- Carga de la columna de agua sobre el dren:  $pd$  (m).

Adicionalmente, se tiene el caudal de explotación de la galería de filtración y que puede ser:

- Caudal unitario por longitud de dren:  $q$  ( $m^3/s\cdot m$ ).
- Caudal unitario por área superficial:  $q'$  ( $m^3/s\cdot m^2$ ).

La fórmula presentada por Darcy en 1856 hizo posible el tratamiento matemático del movimiento del agua subterránea y Dupuit, aparentemente, fue el primero en aplicar este tipo de análisis a la hidráulica de pozos, asumiendo la existencia de una isla circular asentada en una formación de características homogéneas y en cuyo centro se ubica el pozo.

**Cuadro 1. Conductividad hidráulica de algunos materiales.**

Permeabilidad (mm/día)	Calificación	Calificación del acuífero	Tipo de material
$10^{-6}$ a $10^{-4}$	Impermeable	Acuicludo	Arcilla compacta, Pizarra, Granito.
$10^{-4}$ a $10^{-2}$	Poco Permeable	Acuitardo	Limo Arenosa, Limo, Arcilla Limosa.
$10^{-2}$ a 1	Algo Permeable	Acuífero pobre	Arena Fina, Arena Limosa, Caliza Fracturada.
1 a $10^{2.5}$	Permeable	Acuífero de regular a bueno	Arena Limpia, Grava y arena, Arena Fina.
$10^{2.5}$ a $10^5$	Muy Permeable	Acuífero excelente	Grava Limpia.

**Nota:**

Acuicludo: Contiene agua en su interior, incluso hasta la saturación, pero no la transmite.  
 Acuitardo: Contiene agua y la transmite muy lentamente.  
 Acuífero: Almacena agua en los poros y circula con facilidad por ellos.

La fórmula de Dupuit representa el cálculo clásico de una galería de filtración. Los supuestos básicos son:

- 1) Flujo simétrico hacia una zanja que llega hasta la napa impermeable, es decir, que corta el acuífero hasta el fondo del mismo
- 2) Las líneas de flujo son horizontales con equipotenciales verticales



3) La pendiente de la superficie impermeable, que define la parte inferior del acuífero, es pequeña en el área cercana a la galería.

### 5.1 GALERÍAS

Las galerías que comprometen la parte superior del acuífero, consideran que la ubicación del dren (por debajo del nivel natural de la napa de agua), en relación con el espesor del acuífero, es pequeña. Es decir, la relación profundidad al estrato impermeable ( $b$ ) contra la profundidad al dren ( $z$ ) es mayor a 10:

$$\frac{b}{z} > 10$$

Las ecuaciones para los acuíferos con escurrimiento propio y con recarga superficial, aplicadas en el presente caso, son:

**Acuífero con escurrimiento propio:** La ecuación general para la obtención del gasto que gobierna este tipo de galería se menciona a continuación (Figura 1):

$$q = \frac{\pi * kf * s}{\left[ \text{Ln} \left( \frac{R}{r} \right) \right]} \quad (1)$$

Para obtener el Radio de Influencia (R):

$$R = \frac{\left[ \frac{q * s}{(\pi * kf)} \right]^{0.5}}{i} \quad (2)$$

Reemplazando "R" en la ecuación 1, se tiene:

$$q = \frac{\pi * kf * s}{\left[ \text{Ln} \left[ \frac{\left[ \frac{q * s}{(\pi * kf)} \right]^{0.5}}{r * i} \right] \right]} \quad (3)$$

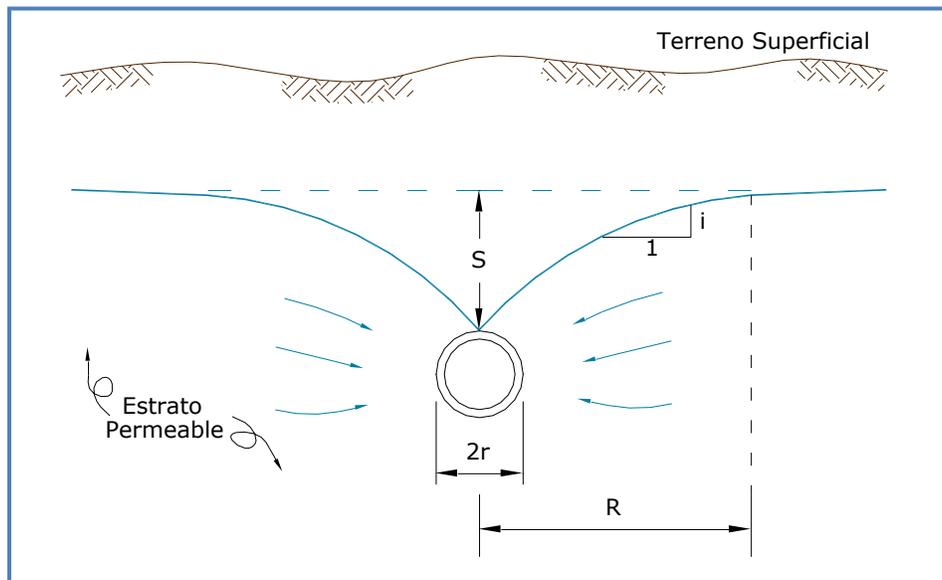


Figura 1. Galería que compromete la parte superior del acuífero con escurrimiento propio.

La ecuación 3 se resuelve por aproximaciones sucesivas. El caudal máximo, que puede ser

extraído, se obtiene cuando el cono de abatimiento de la napa de agua ( $s$ ), alcanza la

parte superior del dren entubado. Para resolver dicha ecuación se recomienda el siguiente procedimiento:

1. El largo de la galería, la profundidad, la conductividad hidráulica ( $K_f$ ), la pendiente del acuífero ( $i$ ) y el abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería ( $s$ ), son valores conocidos.

2. Al resolver por aproximaciones sucesivas, se va proponiendo “ $q$ ” y se compara con el “ $q$ ” calculado, hasta que la diferencia entre ambos sea mínima.

La ecuación de Hooghoudt fue desarrollada para el cálculo de drenes paralelos y permite determinar el caudal específico por área superficial y expresa el caudal unitario por área superficial (Figura 2).

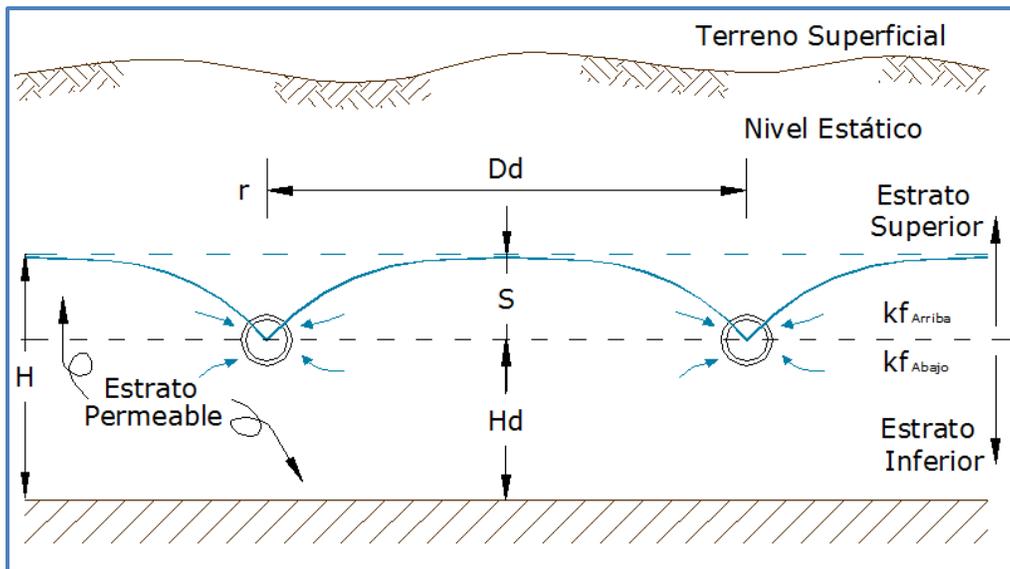


Figura 1. Galería con drenes paralelos que comprometen la parte superior del acuífero.

$$q' = \frac{8 * k_{f\text{Abajo}} * d * s + 4 * k_{f\text{Arriba}} * s^2}{D_d^2} \quad (4)$$

$$Fr = Ln \frac{Hd}{\sqrt{2} * r}$$

A su vez:

$$d = \frac{D_d}{8 * (Fh + Fr)} \quad (5)$$

Donde:

$d$  = Profundidad equivalente (m).

$$Fh = \frac{(D_d - Hd * \sqrt{2})^2}{8 * Hd * D_d}$$

$D_d$  = Separación entre drenes (m).

$H_d$  = Espesor dinámico del acuífero en la galería (m).

Para relaciones de  $Dd/H_d$  menores a 3.18, la deducción de los valores de  $F_h$  y  $F_r$  se debe calcular para una profundidad  $H_d$  igual a  $Dd/3.18$ . En el Anexo 1, se presentan valores de  $d$  para un radio de 0.1 m. El caudal total de drenaje es igual al área definida por el espaciamiento entre drenes y la longitud del mismo.

**Acuífero con recarga superficial:** La ecuación que gobierna esta situación es similar a la anterior, con la única diferencia que el radio de influencia de la galería ( $R$ ) es conocido y está representado por la distancia a la fuente de recarga ( $D$ ) (Figura 3):

$$q = \frac{\pi * k_f * s}{\left[ \text{Ln} \left( \frac{D}{r} \right) \right]} \quad (6)$$

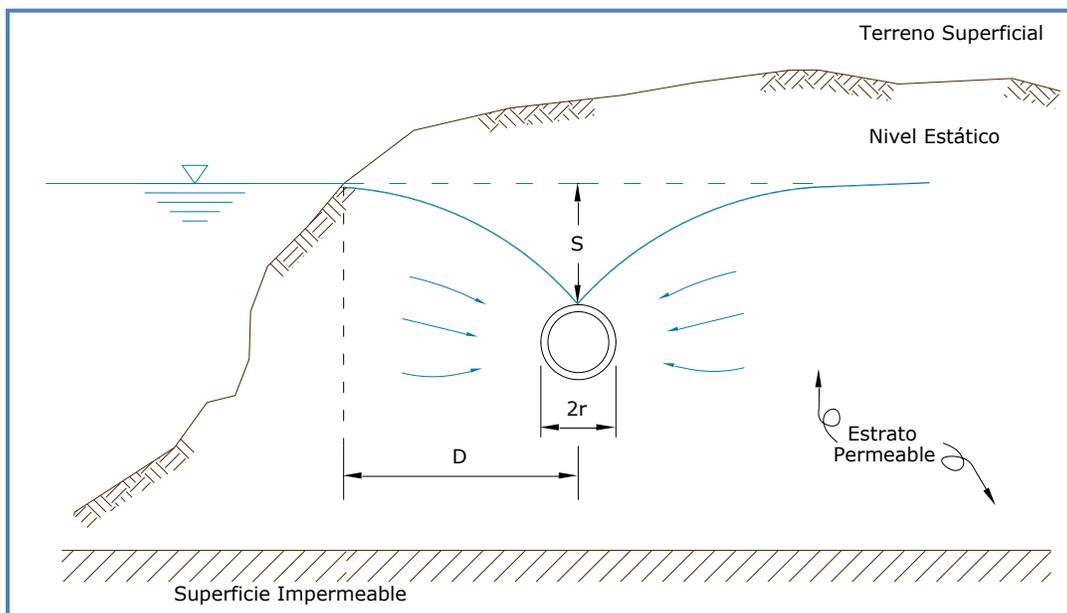


Figura 2. Galería que compromete la parte superior del acuífero adyacente a una fuente de recarga superficial.

## 5.2 GALERÍAS EN ACUÍFEROS CON RECARGA SUPERFICIAL

$$\frac{b}{z} \Rightarrow 10$$

**Galería en acuífero de gran espesor:** Se puede considerar a un acuífero de gran espesor, cuando la relación profundidad del dren al estrato impermeable, *versus* profundidad de ubicación al dren, es mayor o igual a 10 (Figura 4).

La ecuación aplicada en el presente caso es:

$$q = \frac{2 * \pi * k_f * (z + a)}{\left[ \text{Ln} \left( \frac{2 * z}{r} \right) \right]} \quad (7)$$

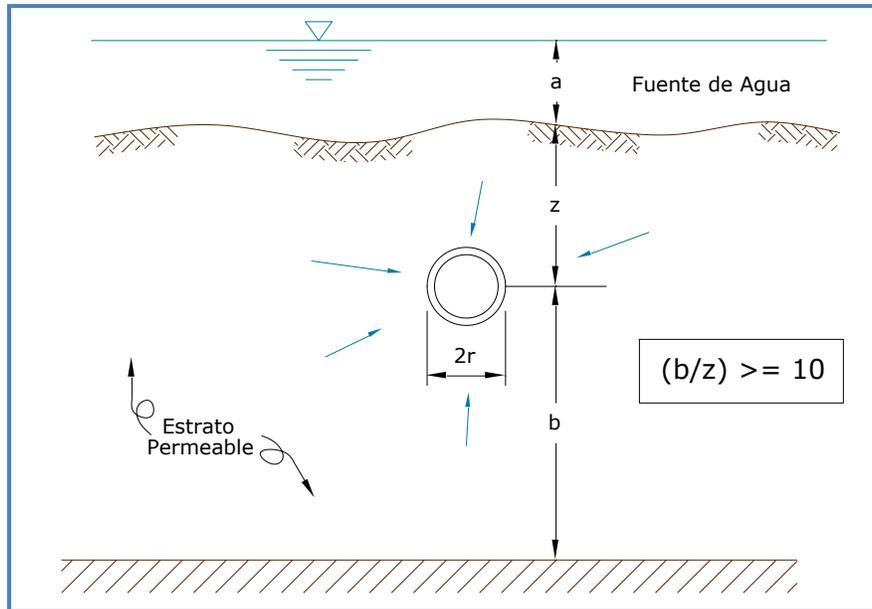


Figura 3. Galería en acuífero de gran espesor con recarga superficial.

La experiencia ha demostrado que las galerías ubicadas en acuíferos con recarga superficial, inicialmente producen el doble de agua que las galerías situadas adyacentes al cuerpo de agua, pero después de un tiempo son afectadas por el régimen de sedimentación que altera el valor de la conductividad hidráulica, por eso se recomienda aplicar la ecuación deducida a partir de la ecuación teórica anterior:

$$q = \frac{2 * \pi * kf * (z + a)}{4 * \ln\left(\frac{1.1 * z}{r}\right)} \quad (8)$$

**Galería en acuífero de poco espesor:** se considera a un acuífero de poco espesor, cuando la relación profundidad del dren al estrato impermeable, *versus* profundidad al dren, es menor a 10 (Figura 5).

$$\frac{b}{z} < 10$$

La ecuación aplicada en el presente caso y obtenida por el método de las imágenes es:

$$q = \frac{2 * \pi * kf * (z + a)}{\ln\left(\frac{2 * z * (z + b)}{r + b}\right)} \quad (9)$$

Al igual que para el caso anterior, se propone el empleo de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{2 * \pi * kf * (z + a)}{4 * \ln\left(\frac{1.1 * z * (z + b)}{r + b}\right)} \quad (10)$$

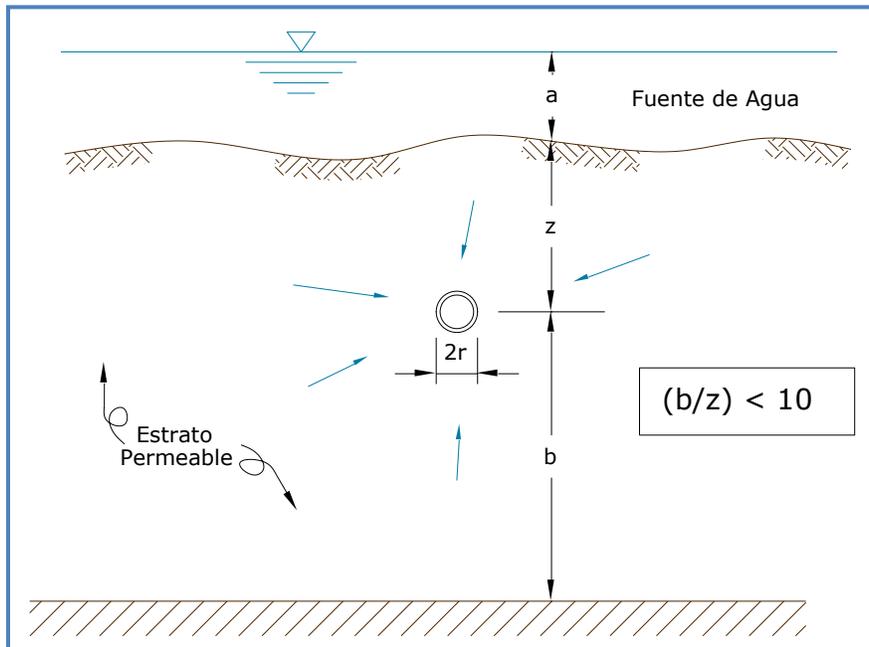


Figura 4. Galería en acuífero de poco espesor con recarga superficial.

## 6. DISEÑO DEL CONDUCTO COLECTOR

En el diseño del conducto colector de la galería, se deben considerar los aspectos siguientes:

- Sección con capacidad suficiente para que fluya el caudal de diseño.
- Mínimas pérdidas por fricción.
- Área de las aberturas del dren que faciliten el flujo de agua del acuífero hacia el conducto.

### 6.1 DIÁMETRO

El diámetro mínimo a utilizar es el que garantice el escurrimiento del caudal de diseño con un tirante no mayor al 50%, pero en ningún caso la tubería deberá tener menos de 200 mm. Este

diámetro facilita la limpieza y mantenimiento de los drenes.

En casos de galerías muy largas, es posible usar distintos diámetros, teniendo en cuenta que en los tramos iniciales no es necesaria una alta capacidad de conducción.

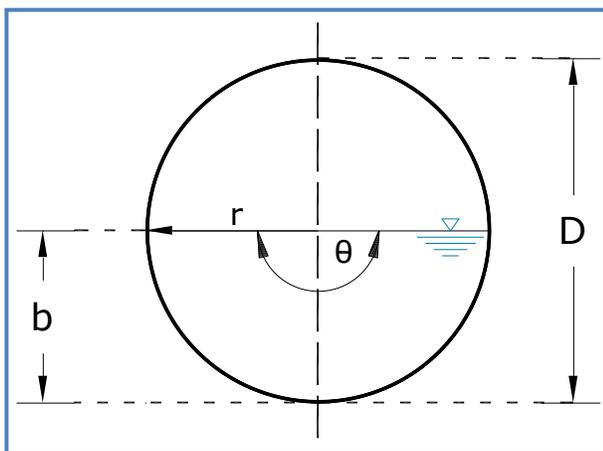
En el diseño de este tipo de conductos, los requisitos a cumplir en la alternativa más eficiente de las secciones circulares, se sintetizan en los siguientes puntos, para posibles alternativas -suponiendo  $D$ - ya sea en tamaños comerciales y para secciones preconstruidas, la relación  $k = \frac{d}{D}$  debe ser menor o igual a 0.5, porque la tubería deberá conducir con un tirante no mayor al 50%.

1. Esguerrimiento tranquilo donde el tirante normal sea mayor al tirante crítico ( $d > d_c$ ), para un régimen de la corriente de fácil control.
2. Velocidad media ( $v$ ) entre una velocidad mínima ( $v_{\min}=0.6 \text{ m/s}$ ) y una máxima ( $v_{\max}=0.9 \text{ m/s}$ ).

En el Cuadro 2 y la Figura 6 se muestran las características geométricas del conducto.

**Cuadro 2. Ecuaciones para el cálculo de las características geométricas de la sección circular del canal o conducto.**

Intervalo	$0 \leq \frac{d}{D} \leq 1$
Ángulo en Radianes ( $\theta$ )	$\theta = 2 \operatorname{arccos} \left( 1 - \frac{2d}{D} \right)$
Ancho de la Superficie Libre del Agua (T)	$D \operatorname{sen} \frac{\theta}{2}$ ó $2\sqrt{d(D-d)}$
Área Hidráulica (A)	$\frac{D^2}{8} (\theta - \operatorname{sen} \theta)$
Perímetro Mojado (P)	$\frac{D\theta}{2}$



**Figura 5. Características geométricas de la sección de circular del canal o conducto**

Generalmente la metodología más utilizada en el diseño hidráulico de canales es la propuesta por Manning, la cual calcula la velocidad del agua y el gasto que pasas por el conducto con las siguientes ecuaciones:

$$v = \frac{1}{n} s^{1/2} r^{2/3} \quad (11)$$

Donde:

Q= Gasto del conducto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )\*

$$Q = q * L \quad (12)$$

Donde:

q= Gasto unitario ( $\text{m}^3/\text{s-m}$ ).

L= Longitud total del conducto (m).

n= Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional), Cuadro 3.

s= Pendiente del conducto (m/m).

A= Área Hidráulica ( $\text{m}^2$ ).

r= Radio de mojado (m)

\*Cuando el conducto de la galería filtrante es muy largo, es posible llegar a utilizar dos diámetros diferentes a lo largo del mismo para que sea más costeable.

Al multiplicar la ecuación 11 por el área hidráulica, se obtiene el gasto (Q):

$$Q = A * \frac{1}{n} s^{1/2} r^{2/3} \quad (13)$$

El diseño de una sección de canal de tipo circular se realiza por tanteos con ayuda de una plantilla de cálculo.

**Cuadro 3. Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning para tuberías de diferente material**

Material	Valores		
	Mínimo	Normal	Máximo
Concreto	0.013	0.017	0.020
Asbesto Cemento	0.009	0.010	0.011
Polietileno o PVC	0.007	0.008	0.009
Fierro fundido	0.011	0.014	0.016
Acero remachado en espiral	0.013	0.015	0.017

A continuación, se muestran los pasos a seguir para el diseño hidráulico del conducto de la galería filtrante, mostrándose en los Cuadros 4 y 5 la plantilla de cálculo:

1. Se propone un diámetro del conducto.
2. Se calcula el tirante con la relación  $k = \frac{d}{D}$ , teniendo en cuenta que k debe ser menor o igual a 0.5; en este caso se utiliza el 0.5, porque representa el tirante al 50%.
3. Se calcula el ángulo ( $\theta$ ), que para este caso será igual o muy cercano a  $180^\circ$  ó  $\pi$  radianes.
4. Se calcula el área hidráulica.
5. Se calcula el perímetro de mojado.
6. Con los valores anteriores de área y perímetro se obtiene el radio hidráulico.
7. Con la ecuación de Manning se obtiene la velocidad del agua que pasa por el conducto, cuidando de no sobrepasar las restricciones, cuando la velocidad se encuentre dentro de dicho intervalo, se acepta el valor de D propuesto y se procede al afine del tirante.

**Cuadro 4. Alternativas para el diseño del canal.**

Q=	Valor Conocido	$k = \frac{d}{D} \leq 0.5$		0.5
n=	Valor Conocido			
s=	Valor Conocido			
1	2	3	4	5
Diámetro	Tirante	Ángulo	Ancho de la SLA	Área
<b>D</b>	<b>d</b>	$\theta$	<b>T</b>	<b>A</b>
(m)	(m)	(radianes)	(m)	(m <sup>2</sup> )
Se propone	$\frac{0.5}{D}$	$2 \operatorname{arccos} \left(1 - \frac{2d}{D}\right)$	$D \operatorname{sen} \frac{\theta}{2}$ ó $2\sqrt{d(D-d)}$	$\frac{D^2}{8}(\theta - \operatorname{sen} \theta)$
Vmáx=	0.9 m/s			
Vmín=	0.6 m/s			
6	7	8		
Perímetro	Radio Hidráulico	Velocidad		
<b>P</b>	<b>R</b>	<b>v</b>		
(m)	(m)	(m/s)		
$\frac{D\theta}{2}$	$\frac{A}{P}$	$\frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$		

**Cuadro 5. Afine.**

Q=	Valor Conocido	<b>D=</b>		Valor obtenido en la tabla anterior
n=	Valor Conocido			
s=	Valor Conocido			
1	2	3	4	5
Tirante	Velocidad	Gasto	Velocidad	Diferencia
<b>d</b>	<b>v<sub>2</sub></b>	<b>Q<sub>2</sub></b>	<b>v</b>	<b>%</b>
(m)	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)	
Se propone	$\frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$	$v_2 * A$	$\frac{Q}{A}$	

1. Se propone un tirante, comenzando con el obtenido de la primera tabla de cálculo.
2. Se obtiene la velocidad con la ecuación de Manning.
3. Se calcula el gasto al multiplicar la velocidad obtenida por el área hidráulica.



4. Se obtiene la velocidad con el gasto que se tiene como dato, dividiéndose por el área hidráulica.
5. Se comparan las dos velocidades obtenidas y la diferencia porcentual debe ser igual o muy cercana a cero, en caso contrario se debe proponer un nuevo tirante y repetir los pasos anteriores.

Los tirantes subsecuentes que se propondrán, si es que existe necesidad, no serán muy diferentes al primero propuesto de acuerdo al Cuadro 5.

## 6.2 TIPO DE MATERIAL

Por lo general, se utilizan las tuberías comerciales disponibles, entre las que se pueden mencionar: las de cloruro de polivinilo (PVC), asbesto-cemento, hierro fundido y concreto simple o armado.

La selección del tipo de material está condicionada por la resistencia estructural del conducto y su capacidad para reaccionar con la calidad de agua. Adicionalmente, los conductos empleados debe ser fáciles de perforar.

Si se evalúan los diferentes tipos de materiales, se encuentra que la tubería de PVC presenta grandes ventajas: es barata, liviana, induce pocas pérdidas por fricción, fácil de transportar, instalar y perforar, no se corroe y tiene una larga vida útil.

Los conductos de asbesto-cemento tienen la desventaja de ser frágiles y pesados, y además, de difícil perforación. Su manejo e instalación es

delicado, por lo que exige mano de obra especializada.

El hierro fundido tiene a su favor la alta resistencia a las cargas, su gran durabilidad y el hecho de que permite un alto porcentaje de área abierta. Sin embargo, tiene el inconveniente que es muy costoso y propenso a la formación de incrustaciones las que disminuyen su capacidad hidráulica.

Las tuberías de concreto son muy pesadas y frágiles, lo que complica su manejo, perforación e instalación. No obstante, pueden ser instaladas en pequeños tramos con las juntas abiertas.

## 6.3 VELOCIDAD

Para evitar la acumulación del material fino que pueda entrar al conducto, la tubería del dren debe tener una pendiente adecuada que facilite su auto-limpieza. Normalmente, la velocidad de escurrimiento del agua en el dren debe ser menor a 0.90 m/s pero con un valor mínimo de 0.60 m/s. De esta manera, el material fino podrá ser arrastrado hasta la cámara colectora donde se depositará para su eliminación.

La velocidad de auto-limpieza se logra con pendientes que varían de 0.001 m/m a 0.005 m/m. No se recomiendan pendientes muy altas para evitar profundizaciones excesivas en casos de galerías de gran longitud.

## 6.4 ÁREA ABIERTA

En el diseño del área perimetral abierta de los conductos, se deben tomar en consideración fundamentalmente dos aspectos:



- Pérdida de la resistencia estructural de la tubería.
- Velocidad de ingreso.

Existen diversas opiniones acerca del valor de la máxima velocidad de entrada permisible para evitar el arrastre de partículas finas. Estos valores varían desde 2.5 cm/s hasta 10 cm/s, con un valor recomendado de 3 cm/s y calculado para un coeficiente de contracción de entrada por orificio de 0.55. En todo caso, es recomendable disponer de la mayor cantidad de área abierta para tener bajas velocidades de entrada.

El área abierta por unidad de longitud del conducto estará dada por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q_u}{V_e \times C_c} \quad (14)$$

Donde:

$A$  = Área abierta por unidad de longitud del conducto ( $m^2$ ).

$Q_u$  = Caudal de diseño de la galería por unidad de longitud ( $m^3/s$ ).

$V_e$  = Velocidad de entrada (m/s).

$C_c$  = Coeficiente de contracción (adimensional).

#### 6.4.1 Forma, tamaño y distribución de las aberturas

El tipo de abertura que se practica en las tuberías son las perforaciones y las ranuras, mismas que pueden ser realizadas con taladros o discos.

Las dimensiones de las perforaciones dependen de las características del conducto.

Según la publicación "The Desing of Small Dams", del "The Bureau of Reclamation", la relación que debe existir entre la mayor dimensión de la abertura y el tamaño de los granos del filtro está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{D_{85} \text{ de la grava del forro filtrante}^*}{\text{ancho o diámetro de las aberturas}} \geq 2$$

(\*)  $D_{85}$  es el tamaño de la abertura del tamiz por donde pasa el 85 por ciento en peso del material filtrante.

A su vez, la relación de diámetros entre el forro filtrante y el material granular del acuífero debe ser igual o menor a cinco

$$\frac{D_{15} \text{ de la grava del forro filtrante}}{D_{85} \text{ del material granular del acuífero}} \geq 5$$

La distribución de las aberturas se hace de forma tal que no reduzca sustancialmente la resistencia a las cargas externas del conducto original. Se recomienda que tanto las perforaciones como las ranuras se distribuyan uniformemente en el área perimetral, tal como se muestra en la Figura 7, lo que evita la creación de zonas débiles por donde podría fallar la tubería.

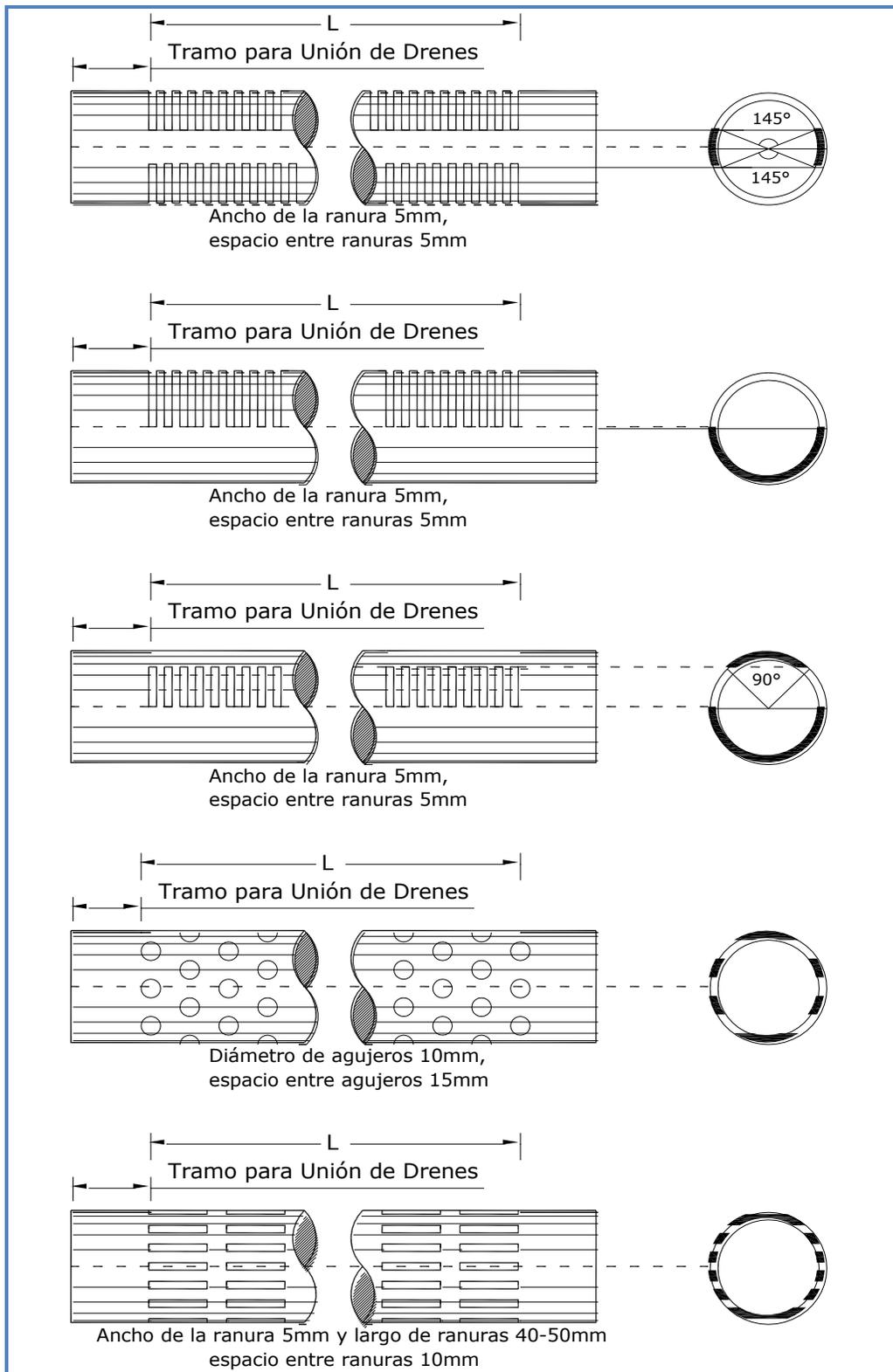


Figura 6. Modelos de drenes.

## 7. FORRO FILTRANTE

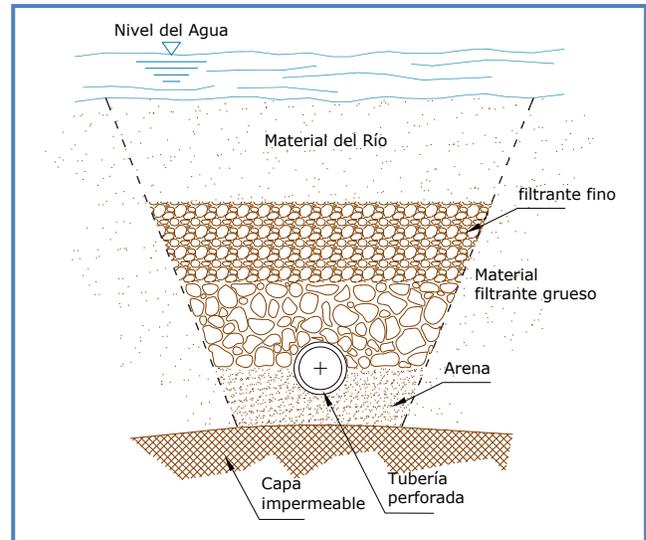
Este elemento es de suma importancia en el buen funcionamiento de las galerías de filtración. Su función principal es impedir que el material fino del acuífero llegue al interior del conducto sin que sea afectada la velocidad de filtración, debiendo el forro filtrante ser mucho más permeable que el acuífero.

El forro filtrante se asemeja a la capa soporte de los filtros de arena, y pueden aplicarse las recomendaciones que para el efecto existen y que se sintetizan en el Cuadro 6:

**Cuadro 6. Granulometría del forro filtrante.**

Capa	Diámetro (mm)		Altura (cm)
	Mínimo	Máximo	
1	0.5 - 2.0	1.5 - 4.0	5
2	2.0 - 2.5	4.0 - 15.0	5
3	5.0 - 20.0	10.0 - 40.0	10

Como se observa en el cuadro anterior, el espesor de cada una de las capas del filtro no excede los 5 ó 10 cm para lograr una filtración eficiente. Sin embargo, para evitar que durante la construcción queden tramos de conducto sin recubrimiento, puede ser necesario usar mayores espesores, lo cual no afecta el funcionamiento de los drenes, sino que más bien lo protege contra cualquier defecto constructivo, ya que a medida que aumenta el espesor de las capas del forro filtrante, disminuye el riesgo de que los granos más finos del acuífero sean arrastrados hacia el interior del conducto (Figura 8).



**Figura 7. Sección transversal del forro filtrante.**

## 8. SELLO IMPERMEABLE

En las galerías ubicadas en las márgenes de los ríos o lagos y en los acuíferos con escurrimiento propio, es recomendable sellar la parte superior del relleno de la galería. El sello se ejecuta con material impermeable para evitar que el agua estancada se filtre hacia la galería y pueda contaminar el agua captada. Adicionalmente, la función del sello impermeable es aumentar la longitud del recorrido del agua superficial a través de la masa de suelos, y así mejorar su calidad física y bacteriológica.

El sello impermeable puede estar formado por una capa de arcilla de unos 30 centímetros de espesor. Este sello se puede complementar colocándole en su parte inferior papel impermeable o geo-membrana. Para evitar que el agua superficial se estanque, se recomienda que la capa impermeable quede en un nivel un poco más alto que el terreno circundante, y con

una pendiente que facilite el drenaje del agua superficial fuera del área donde se ubica el dren como se muestra en la Figura 9.

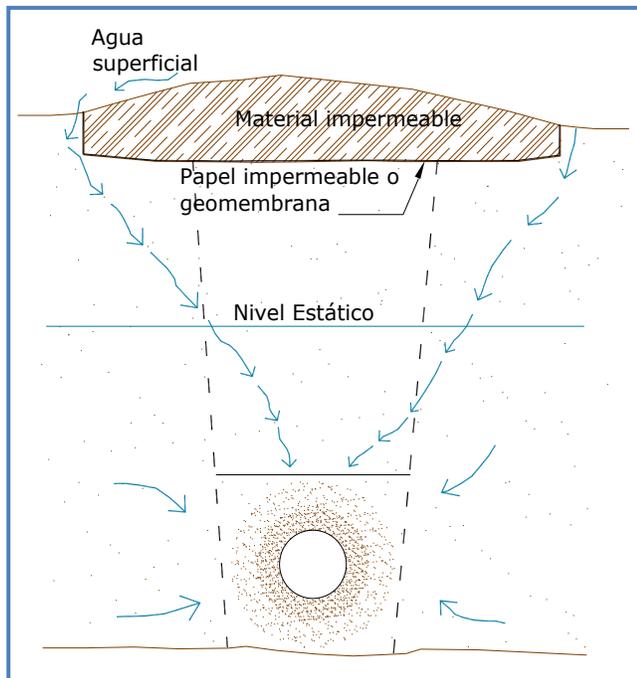


Figura 8. Sello impermeable de galería.

## 9. POZO COLECTOR O CAJA CAPTADORA

La función de este pozo es reunir el agua drenada por la galería de filtración y facilitar, si fuera el caso, bombearla. El pozo puede ser circular o rectangular, y sus dimensiones deben permitir a un hombre realizar labores tanto de limpieza como de mantenimiento de los conductos y válvulas de regulación de los drenes y de los equipos de impulsión.

Es recomendable que el fondo del pozo se prolongue unos 60 cm por debajo de la boca de salida del dren, para permitir por un lado la

acumulación de la arena que pudiera ser arrastrada por las aguas captadas y por otro facilitar el funcionamiento satisfactorio del equipo de impulsión del agua, si lo hubiera.

Las paredes, el fondo y la parte superior del pozo deben ser fabricados de concreto reforzado y los acabados de las paredes y del fondo deben ser impermeables. La parte superior del pozo debe llevar una abertura para la instalación de una tapa de concreto o de fierro y, dependiendo de su profundidad, debe estar dotado de escalinatas para facilitar el acceso de un hombre al fondo del pozo (Figura 10).

En caso que la galería se encuentre ubicada en los márgenes de un curso o cuerpo de agua, y que el área donde se ubica el pozo esté sujeta a inundación durante grandes avenidas, se debe elevar la tapa del pozo colector hasta una altura mayor a la que pueda alcanzar el agua, para evitar la entrada de agua superficial y la contaminación del agua captada por la galería de filtración.

### 9.1 CÁMARAS DE INSPECCIÓN

En casos de galerías de gran longitud, es conveniente colocar cámaras de inspección en el extremo inicial y a intervalos regulares para facilitar su mantenimiento. Sin embargo, en pequeñas galerías, en el inicio del ramal pueden colocarse tapones. Las cámaras de inspección son similares a las usadas en los sistemas de alcantarillado sanitario, distanciadas entre ellas unos 50 m para diámetros de 200 mm, y hasta de 100 m para diámetros mayores de 200 mm.

Estas cámaras, al igual que el pozo colector, deben tener el fondo y las paredes impermeabilizados. Además, la elevación de la

tapa debe estar por encima del nivel máximo que alcanzan las aguas en el caso que la galería se encuentre expuesta a inundaciones.

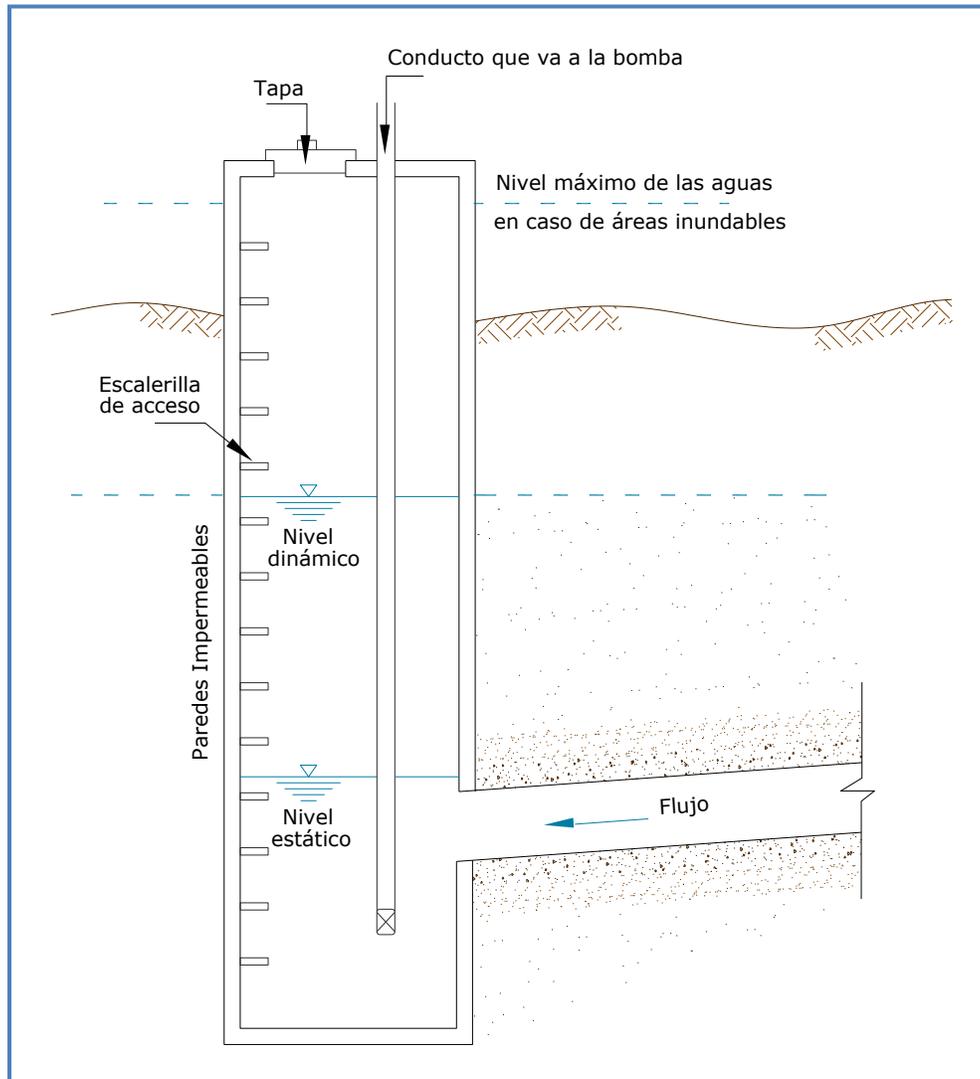


Figura 9. Detalles del pozo.

## 10. CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y GENERADORES DE VOLÚMENES

Por lo general, la construcción de una galería de filtración es una operación sencilla. En las

galerías localizadas en las márgenes de una corriente o en un acuífero con escurrimiento propio, la excavación puede hacerse con equipo mecánico o manualmente. A continuación, en el Cuadro 3 se enumeran los conceptos que una galería filtrante podría llevar:

**Cuadro 7. Conceptos para la construcción de una galería filtrante.**

Concepto	Unidades
Limpieza y trazo del área de trabajo.	m <sup>2</sup>
Excavación en roca fija, para desplante de estructuras, en agua hasta "x" m de profundidad	m <sup>3</sup>
Bombeo de achique con bomba autocebante, de "x" de diámetro y "x" hp	hora
Suministro e instalación de tubería hidráulica de PVC según precios de lista, tubo hid. angrd/"x" de "x" de diámetro	ml
Suministro y colocación de material pétreo para filtro, grava graduada, de "x" a "x" de diámetro.	m <sup>3</sup>
Acarreo de materiales pétreos, arena, grava, mat. producto de excavación en camión volteo, descarga	m <sup>3</sup>
Relleno en zanjas a volteo con material producto de excavación	m <sup>3</sup>
Fabricación y colado de concreto vibrado y curado de f'c= "x" kg/cm <sup>2</sup> .	m <sup>3</sup>
Cimbra de madera para acabados no aparentes en cimentación, muro, piso y losa	m <sup>2</sup>
Suministro y colocación de acero de refuerzo del no. "x"	kg ó ton
Suministro y colocación de impermeabilizante integral.	kg
Suministro e instalación de marcos c/tapa de fierro fundido de "x" cm con peso de "x" kg.	pza

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Arteaga Tovar, R. E. 1993. Hidráulica Elemental. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. México.

El agua subterránea y los pozos.- 1975 – Johnson Division University of Phoenix, Inc.

Manual de diseño de galerías filtrantes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, 2002.

Olivera, F. R. 1997. Cuaderno sobre galerías filtrantes. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Galer%C3%ADa\\_filtrante](http://es.wikipedia.org/wiki/Galer%C3%ADa_filtrante)

### ELABORARON:

**Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso**  
**Dr. Mario R. Martínez Menes**  
**Ing. Ricardo Castillo Vega**  
**Ing. Sixto García Antonio**  
**Ing. Bulmaro Luis Martínez**

Para comentarios u observaciones al presente documento contactar a la

Unidad Técnica Especializada (UTE) COUSSA  
[www.coussa.mx](http://www.coussa.mx)

**Dr. Mario R. Martínez Menes**  
[mmario@colpos.mx](mailto:mmario@colpos.mx)

**Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso**  
[demetrio@colpos.mx](mailto:demetrio@colpos.mx)

Teléfono: (01) 595 95 5 49 92

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.

