

Seminario Internacional

**Restauración Hidrológico Forestal para la
Conservación y Aprovechamiento de Aguas y
Suelos**

DISEÑO DE CANALES DE EVACUACIÓN.

Ing. Enzo Martínez Araya.



CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Objetivo de un canal de evacuación.

Problemática.

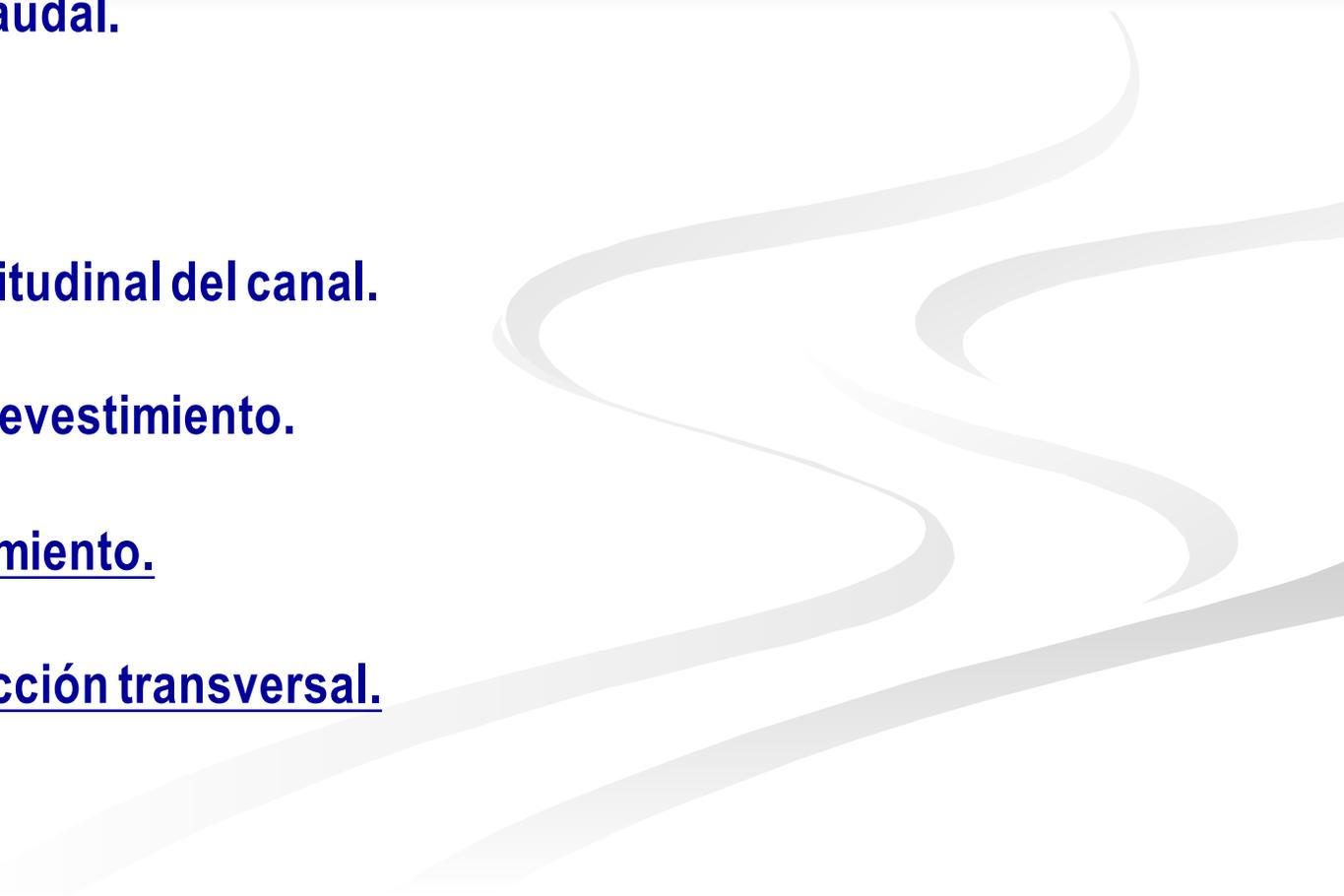
- La **recolección de agua**, a nivel de ladera o cauce, es un trabajo costoso en sectores con economías de subsistencia.
- Involucra **alto riesgo** en la conducción del recurso,

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En **función de lo expuesto**, se presentan los criterios y bases para la selección, diseño y cálculo de canales de desviación.



El diseño de un canal involucra la selección y equilibrio de distintos parámetros en juego, tales como:

- **Velocidad de caudal.**
 - **Revancha.**
 - **Pendiente longitudinal del canal.**
 - **Rugosidad de revestimiento.**
 - **Tipo de revestimiento.**
 - **Forma de la sección transversal.**
- 
- A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, light gray lines that flow from the bottom left towards the top right, creating a sense of movement and depth in the lower right portion of the slide.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

El tipo de **sección transversal** que ofrece las mejores perspectivas de construcción, es la **sección trapezoidal**, en función de diseño, replanteo y aspectos de costos.



Sección Hidráulicamente óptima.

Así también, un efectivo diseño deberá contemplar, la maximización del valor del radio hidráulico, es decir,

$$R \sim \text{máx } R$$

Si el **radio hidráulico** se define, como el cociente entre el área de la sección (A) y el perímetro mojado (Pm),

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

se desprende que el radio ideal estará definido por el perímetro mojado mínimo, situación que llega a definir para este caso.

donde,

R= radio hidráulico.

h= tirante o altura efectiva del canal

$$R = \frac{h}{2}$$

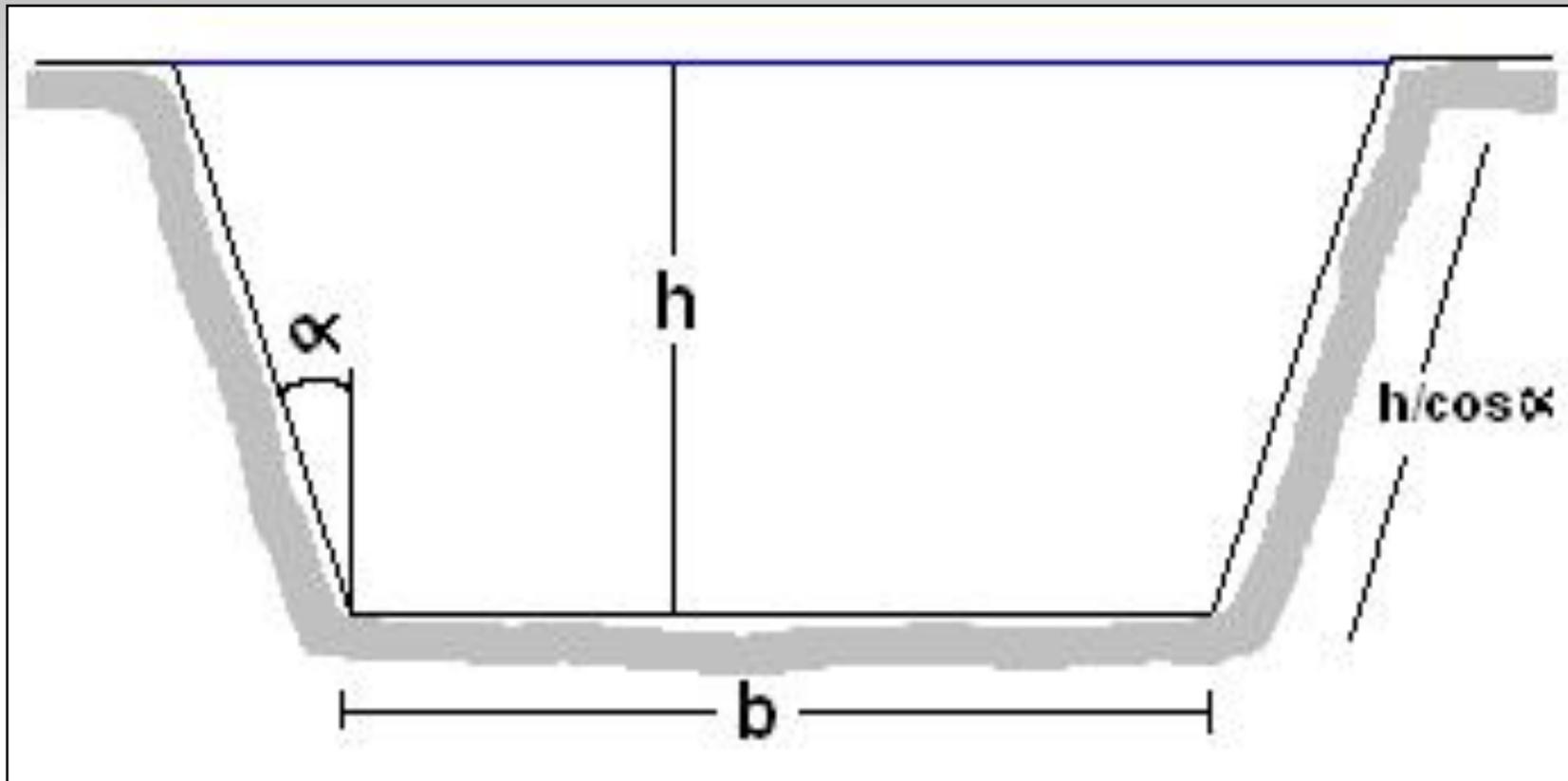


Figura 1. Sección transversal de un canal trapezoidal.

Cálculo de la sección del canal (A).

El **caudal** se define como

$$Q = A \times V$$

donde,

Q= caudal en m³/s.

A= sección del canal (m²)

V= velocidad en m/s.



Cálculo de la sección del canal (A).

$$A = \frac{Q}{V}$$

Existen situaciones en las cuales se conocen los caudales a ser conducidos, especialmente si éste deriva de **represas, cisternas u obras reguladoras**, o bien, a través de **estadísticas de aforos** con que se pueda contar.

Estimación de caudales

Ecuación racional

$$Q = C \times I \times A_i,$$

donde

Q = caudal en m³/s

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de precipitación máxima en minutos, en mm/hr.

A_i = Área de impluvio en ha

Ecuación de Manning

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

donde;

Q= caudal a conducir en m³/s.

n= coeficiente de rozamiento de Manning

S= pendiente longitudinal del canal (m/m)

R= radio hidráulico (m)

A= sección transversal (m²)



DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Ecuación racional

$$Q = C \times I \times A_i,$$

Coeficiente de escorrentía en función del Manual de Carreteras

- **Relieve del terreno (k1)** : este factor clasifica el relieve entre el rango accidentado y Llano sumado a la pendiente media del terreno.
- **Permeabilidad del suelo (k2)** : representa la permeabilidad del suelo a través de la predominancia de roca (impermeable), arcilla, y arena (permeable).
- **Vegetación (k3)** : indica la presencia de vegetación medida en cobertura.
- **Capacidad de almacenaje de agua (k4).**

Luego, con la suma de los valores que toman estos factores, se obtiene un valor para K, el que está asociado a un valor de Coeficiente de escorrentía.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Ecuación racional

$$Q = C \times I \times A_i,$$

Intensidad de precipitación.

Para ambos ensayos se utilizó la estación pluviográfica de Pencahue (cercana a Llanillos), dado que esta estación presenta registros de intensidades de precipitación y cuenta con las curvas IDF (intensidad - duración - frecuencia).

En este contexto la curva utilizada para ambos ensayos viene dada por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{63,694 \times T^{0,164143}}{D^{0,469797}}$$

Donde,

T = período de retorno en años

D = duración de la lluvia en minutos

En este caso, para ambos ensayos, D = 30 minutos y T = 20 años, entonces

Así,

$$I = 21,07 \text{ mm/hr}$$

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Ecuación racional

$$Q = C \times I \times A_i,$$

Área de impluvio.

Es la superficie de captación de aguas lluvias, la cual aporta directamente el agua a la obra en estudio. Es decir, es la superficie que proporcionará el agua que será evacuada por la obra.

Para este caso, dada la configuración del terreno, el área de impluvio para ambos ensayos es de:

Ensayo	Área de impluvio, A_i (ha)
Paredones, VI Región	2
Llanillos, VII Región	3

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo del caudal de diseño.

Teniendo los valores de todos los parámetros, se calcula el caudal de diseño, a través de la siguiente relación.

$$Q = C \times I \times A_i$$

reemplazando,

Llanillos: $Q = 0,70 \times 21,07 \text{ mm/hr} \times 30.000 \text{ m}^2$

$$Q = 0,1229 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Paredones: $Q = 0,70 \times 21,07 \text{ mm/hr} \times 20.000 \text{ m}^2$

$$Q = 0,0819 \text{ m}^3/\text{seg}$$

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la sección del canal (A).

$$A = \frac{Q}{V}$$

donde

Q = caudal en m³/s

A = Sección del canal en m²

V = Velocidad del agua en m/s

La **velocidad del agua** involucrada, es aquella que sea máxima en función del tipo de superficie que posea el canal, de tal manera que no sea erosiva.

Velocidad límite o velocidad mínima de flujo.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

CUADRO N°1. Velocidades máximas permitidas en canales (Agres y Scoates, 1939, aumentada con valores de Foster, 1967).

Material	Velocidad (m/s)
Suelo arenoso muy suelto	0.30 - 0.45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0.46 - 0.60
Suelo arenoso promedio	0.61 - 0.75
Suelo franco arenoso	0.76 - 0.83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0.84 - 0.90
Césped de crecimiento ralo o débil	0.90
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0.90 - 1.20
Suelo con vegetación regular	1.22
Suelo arcilloso o cascajoso	1.20 - 1.50
Césped vigoroso, denso y permanente	1.52 - 1.83
Conglomerados, cascajo cementado, pizarra blanda	1.80 - 2.40
Roca dura	3.00 - 4.50
Hormigón	4.51 - 6.00

Fuente: Ciancaglini citando a Foster

Canales erosionables

- Sedimentos.



DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la sección del canal (A).

Según las características de suelo encontrado en Llanillos, éste corresponde a un suelo franco pesado o franco arcilloso, por lo que se considerará una velocidad de 0,9 m/s.

Del mismo modo en Paredones encontramos un suelo arcillo arenoso, por lo que se considerará la misma velocidad, es decir, 0,9 m/s.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la sección del canal (A).

Teniendo los valores de todos los parámetros, se calcula el caudal de diseño, a través de la siguiente relación.

reemplazando

$$A = \frac{Q}{V}$$

Llanillos: $A = 0,1229 \text{ (m}^3\text{/seg)} / 0,9 \text{ (m/s)}$

$$A = 0,137 \text{ m}^2$$

Paredones: $A = 0,0819 \text{ (m}^3\text{/seg)} / 0,9 \text{ (m/s)}$

$$A = 0,091 \text{ m}^2$$

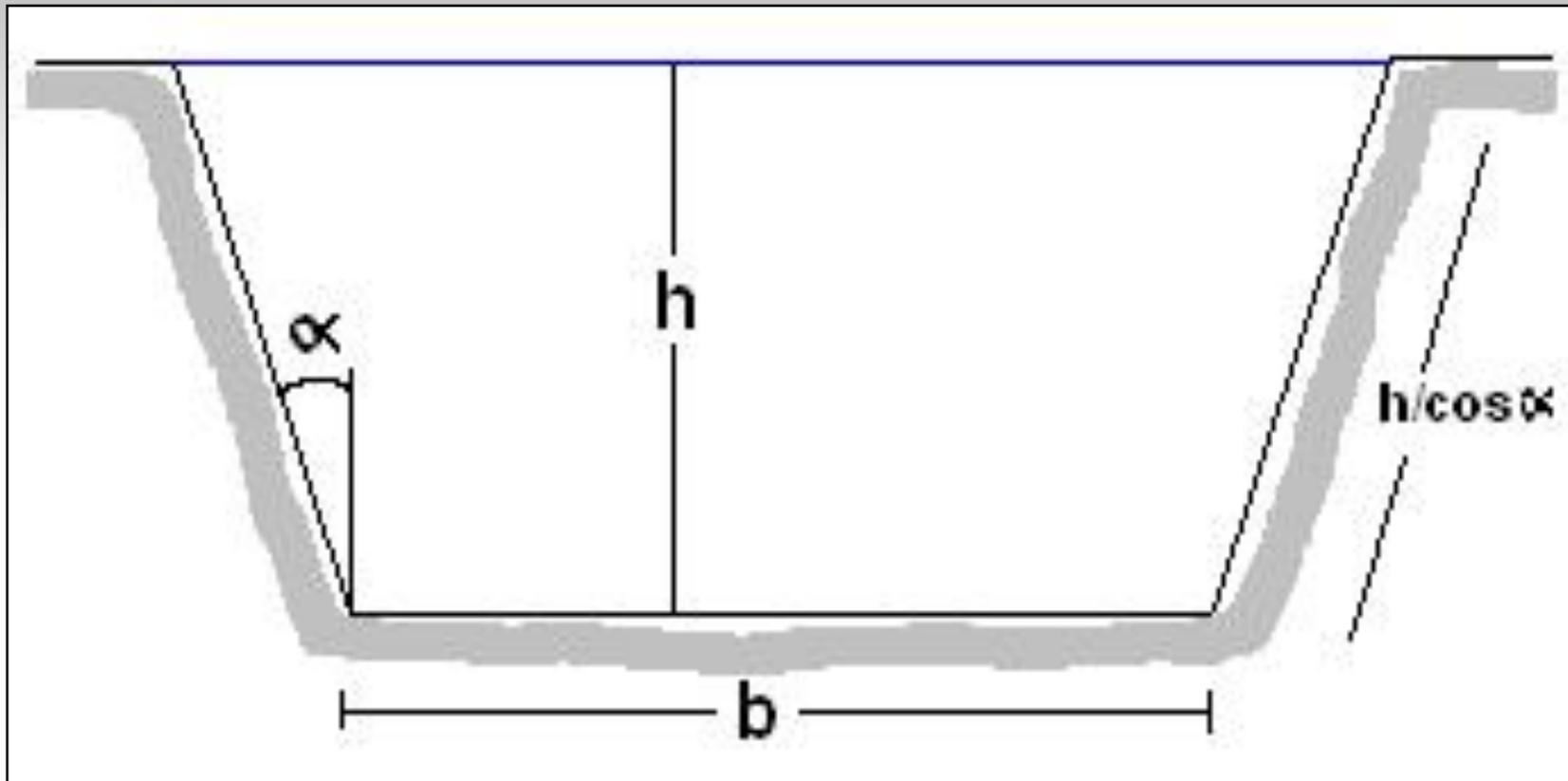


Figura 1. Sección transversal de un canal trapezoidal.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo del tirante (h)

El **tirante o altura efectiva del canal**, para ser definido, necesita previamente definir el ángulo de inclinación del talud del canal, con respecto a la vertical, según la maximización del radio hidráulico.

En este contexto, h se define como sigue:

$$h = \sqrt{\frac{A \cos \alpha}{2 - \operatorname{sen} \alpha}}$$

donde,
A = sección transversal del canal.
 α = ángulo del talud con respecto a la vertical.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Por otra parte, el **ángulo α** se limita en canales de tierra, en virtud del proceso erosivo que puedan sufrir las márgenes del canal.



Se puede recomendar que **α no sea menor a 20°**.

Si el canal se encuentra adecuadamente revestido, puede asumir cualquier valor.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Así se puede dar lo siguiente, en términos de ejemplo orientador a la elección del ángulo.

$$\text{Si } \alpha = 36.37^\circ \Rightarrow b = l/2$$

$$\text{Si } \alpha = 30.00^\circ \Rightarrow b = l$$

$$\text{Si } \alpha = 21.47^\circ \Rightarrow b = 2l$$

$$\text{Si } \alpha = 16.31^\circ \Rightarrow b = 3l$$

$$\text{Si } \alpha = 13.00^\circ \Rightarrow b = 4l$$

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la base de fondo (b)

La **base del canal**, está determinada por la siguiente expresión:

$$b = \frac{A}{h} - h \times \operatorname{tg} \alpha$$

donde todos los términos son conocidos.

Cálculo de la longitud del talud (l)

La **longitud de talud**, se define como sigue:

$$l = \frac{h}{\cos \alpha}$$

donde todos los términos son conocidos.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la pendiente del canal (s).

Se aplica la **ecuación de Manning**, queda,

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

donde;

Q= caudal a conducir en m³/s.

n= coeficiente de rozamiento de Manning

s= pendiente longitudinal del canal (m/m)

R= radio hidráulico (m)

A= sección transversal (m²)

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la pendiente del canal (s).

Valores de "n" dados por Horton, para ser empleados en la fórmula de Manning

Superficie	Condiciones			
	Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
Canales y Zanjas				
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0,025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra, enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
Corrientes naturales				
1. Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual a 1, pero con algo de hierbas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual a 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual a 3, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual a 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150

* Valores corrientemente usados en la práctica.

Extractado de Canales de Desviación; Ciancaglini, N.1966, Argentina, UNESCO.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Cálculo de la revancha (r).

Con el objetivo es evitar derrames por turbulencia y oleaje del agua, se hace necesario estructurar un margen de seguridad; por ello, se adiciona a la longitud del talud, el valor “**r**”, o **revancha**, que se define empíricamente como sigue;

$$r = \frac{1}{3} \times h$$

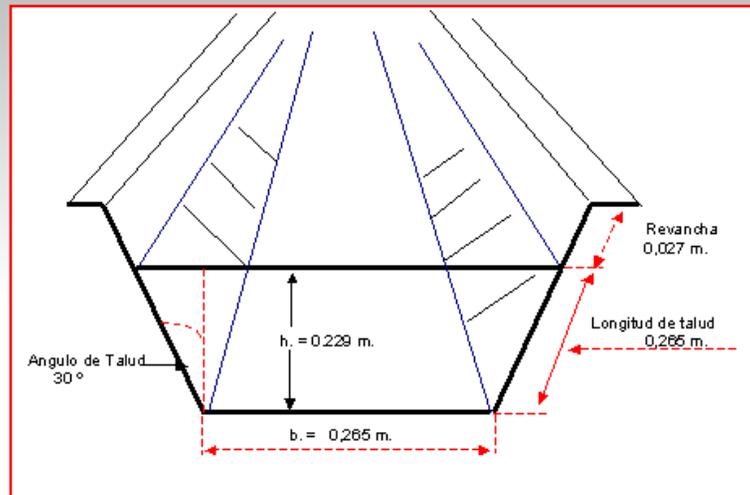
,o bien a través del empirismo que el constructor posea para este tipo de obras.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

<u>Dimensiones del canal de desviación</u>	<u>Paredones, VI Región</u>	<u>Llanillos, VII Región</u>
Sección del canal (m ²)	0,091	0,137
Tirante (m)	0,229	0,281
Base de fondo (m)	0,265	0,324
Longitud de talud (m)	0,265	0,324
Pendiente del canal	0,016	0,012
Revancha (m)	0,027	0,027

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Ensayo Paredones, VI Región



Diseño con velocidad del agua conocida

Cálculo del caudal a conducir.

El caudal a ser encauzado por una obra hidráulica de este tipo, es una información fundamental en el diseño.

Así,

$$Q = d \times s$$

donde,

d= dotación máxima estacional asignada al canal en l/s/ha. (en la estación punta).

S= superficie a regar en ha.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Si el caudal no es continuo, es decir

$$Q = d \times s \times FC$$

en que,

$$FC = \frac{NHM}{NHT \times NTM}$$

y donde;

FC= factor de corrección.

NHT= número de horas por turno de agua.

NTM= número de turnos en un mes considerado.

NHM= número de horas del mes considerado.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

Deben considerarse otros factores como:

- la eficiencia de aplicación del riego, y
- la pérdida por conducción

Es conveniente definir un **caudal de diseño con un margen de seguridad**, dado que en ocasiones se producen cambios en los patrones cultivos.

Se recomienda utilizar la tabla que entrega **Hidalgo Granados**.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES

CUADRO N°2. Coeficiente de seguridad para dimensionamiento de canales frente a dos o más cultivos, en función de superficie.

Superficie (há)	Coeficiente de seguridad (c)
40	1.7
41 - 80	1.6
81 - 120	1.5
121 - 160	1.4
161 - 200	1.3
201 - 240	1.2
241 - 280	1.1
281	1.0

Fuente: Ciancaglini, citando a Hidalgo Granados

Seminario Internacional

**Restauración Hidrológico Forestal para la
conservación y Aprovechamiento de Aguas y
Suelos**

DISEÑO DE CANALES DE EVACUACIÓN.

Ing. Enzo Martínez Araya.

