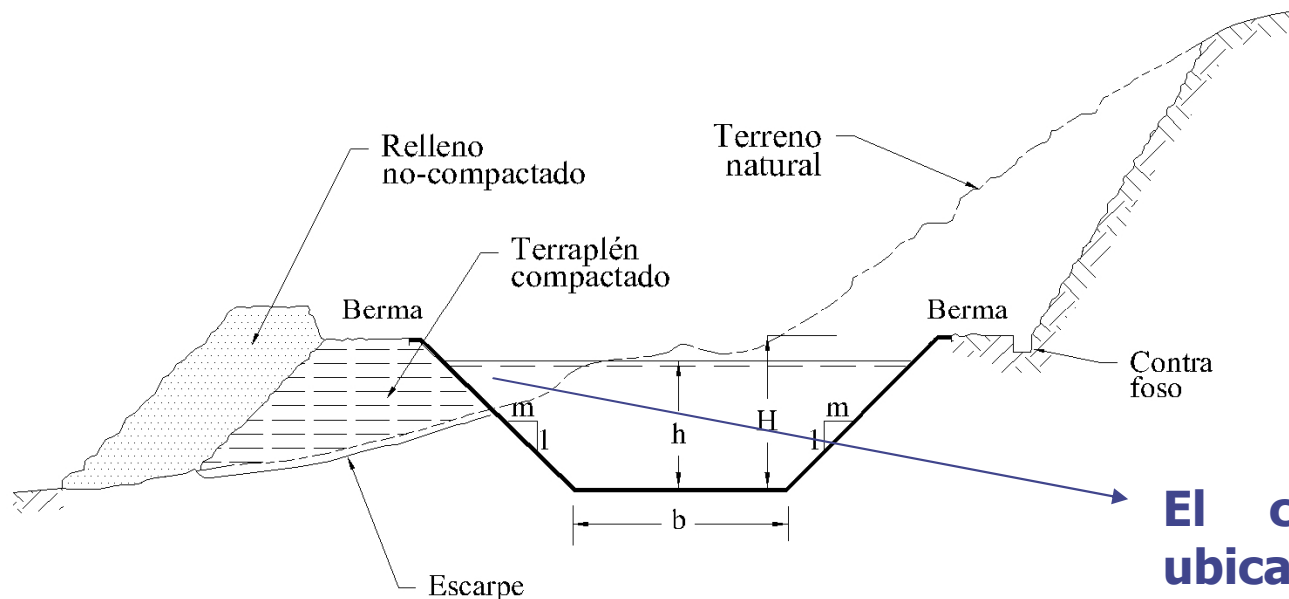


OBRAS DE ADUCCIÓN

Canales de aducción

Canales no revestidos

Los canales de tierra, como se los denomina habitualmente, tienen normalmente una sección trapezoidal. Resguardo o revancha: distancia que debe dejarse entre el nivel máximo en el canal y el nivel del coronamiento de la cuneta o de los terraplenes laterales



El canal debe ubicarse en corte

Inclinación de los taludes laterales (m)

Taludes recomendados Etcheverry y Harding

Tipo de terreno en contacto con el agua.	m
a.- Terrenos en contacto con el agua.	
Corte en roca firme	0,25
Corte en roca fisurada o más o menos desintegrada.	0,50
Corte en grava cementada, dura arcillosa (hardpan).	0,75
Corte en grava firme, suelo arcilloso.	1,00
Corte o relleno en arcilla plástica o grava arcillosa.	1,50
Corte o relleno en arena arcillosa.	2,00
Corte o relleno en terrenos arenosos.	3,00
b.- Terraplenes no expuestos al agua.	
Rellenos de rocas y gravas	1,25
Rellenos de arcilla y gravas arcillosas	1,50
Rellenos de arcilla arenosa y suelos arenosos.	2,00

Resguardo o revancha

En canales medianos y menores se recomienda un resguardo equivalente a un 15% de la altura total de la cuneta con un valor mínimo de 0,20 [m].

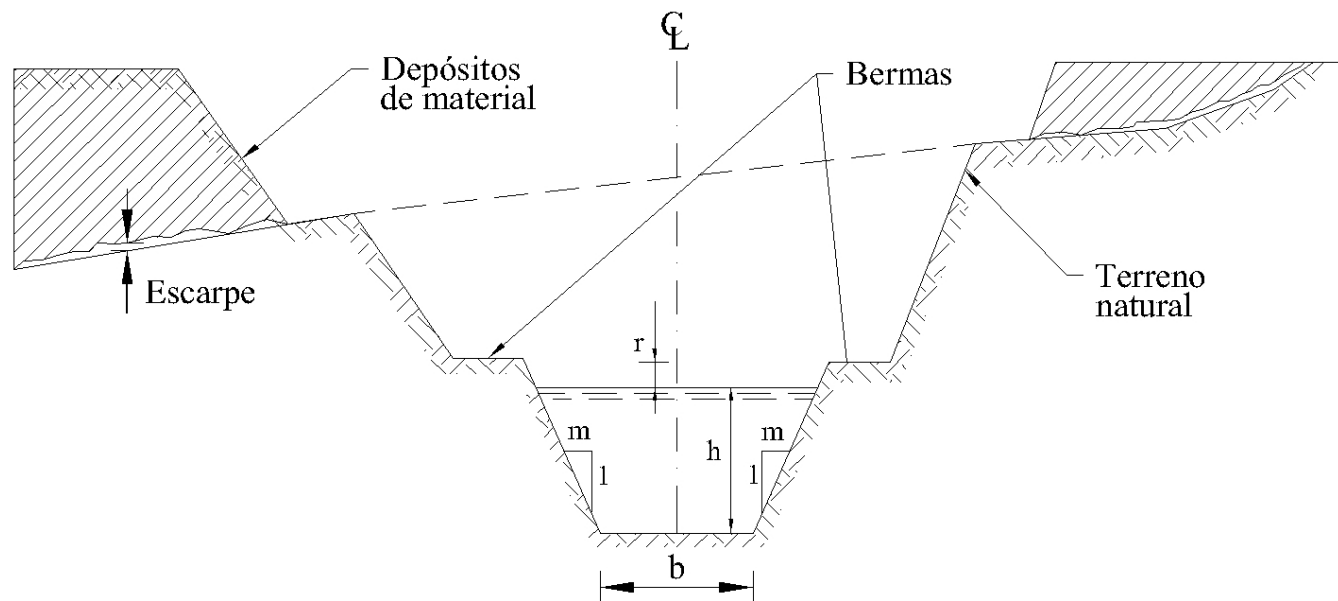
En grandes canales no revestidos, el USBR recomienda los valores indicados

Q m^3/s	0	25	50	75	100	150	200	300	400	500
R_{res} . m	0,30	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,62

Terraplenes. Bermas. Botaderos.

El ancho del coronamiento de los terraplenes debe ser suficiente para soportar las fuerzas hidrostáticas sobre el relleno y evitar la salida de agua por percolación en el terreno.

Las bermas pueden tener un ancho de 1,50 [m] a 3,60 [m] si constituye un camino de borde.



Forma y Dimensiones de la Sección

Un procedimiento usual para dimensionar la sección del canal, consiste en elegir arbitrariamente un valor de la relación (b/h) (base/altura de agua) y denominando A al área mojada, la altura del escurrimiento queda dada por la relación:

$$h = \sqrt{\frac{A}{m + \frac{b}{h}}}$$

$$h > 0,6 \times \sqrt{A}$$

Ex Dirección de Riego,
DOH, MOP

Pérdidas por infiltración.

$$I = 0,0115 \times C \times \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

Esta relación es conocida como fórmula de Moritz. El significado de las variables es el siguiente:

I: infiltración en [m³/s] por kilómetro de canal.

v: velocidad media del escurrimiento en el canal en [m/s].

Q: caudal en [m³/s].

C: factor que depende del tipo de terreno.

Tipo de terreno	C
Gravilla cementada y “hardpan” limo arenoso	0,34
Arcilla y limo arcilloso.	0,41
Limo arenoso.	0,66
Ceniza volcánica.	0,68
Arena con ceniza volcánica y arcilla.	1,20
Suelo de arena y piedras.	1,68
Suelo arenoso con gravas.	2,20

Para fines prácticos, se debe dimensionar para Q + I en lugar de usar sólo Q.

DISEÑO DE CANALES

CRITERIO DE LA VELOCIDAD MÁXIMA ACEPTABLE

Tipo de terreno.	v [m/s]	τ_0 [kg/m ²]	v [m/s]	τ_0 [kg/m ²]
	Agua	Limpia	Agua con	sedim.
Arena fina.	0,45	0,132	0,75	0,366
Tierra arenosa.	0,55	0,181	0,75	0,366
Limo.	0,60	0,235	0,90	0,537
Limo aluvial.	0,60	0,235	1,05	0,733
Terreno vegetal.	0,75	0,366	1,05	0,733
Ceniza volcánica.	0,75	0,366	1,05	0,733
Arcilla coloidal.	1,15	1,27	1,50	2,248
Pizarra y tosca.	1,80	3,27	1,80	3,27
Grava fina.	0,75	0,366	1,50	1,56
Grava gruesa.	1,20	1,47	1,80	3,27
Piedras y ripios.	1,15	1,85	1,50	3,22
Roca sedimentaria.	3	-	3	-
Roca ígnea,	6	-	6	-

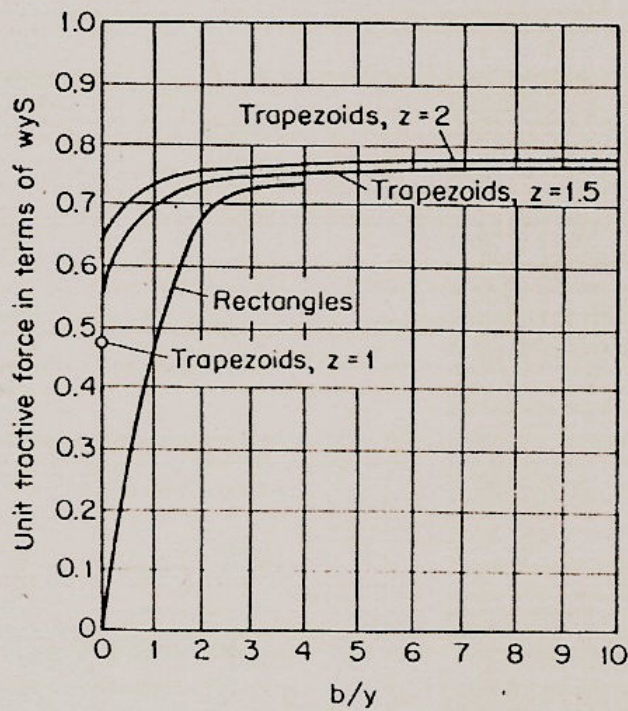
Fortier y Scobey.

Tipo de terreno	Velocidad máx. [m/s]
Arena fina	0,20 a 0,30
Suelo arenoso.	0,30 a 0,75
Limo arenoso.	0,75 a 0,95
Limo arcilloso	0,85 a 1,10
Arcilla compacta	1,10 a 1,50

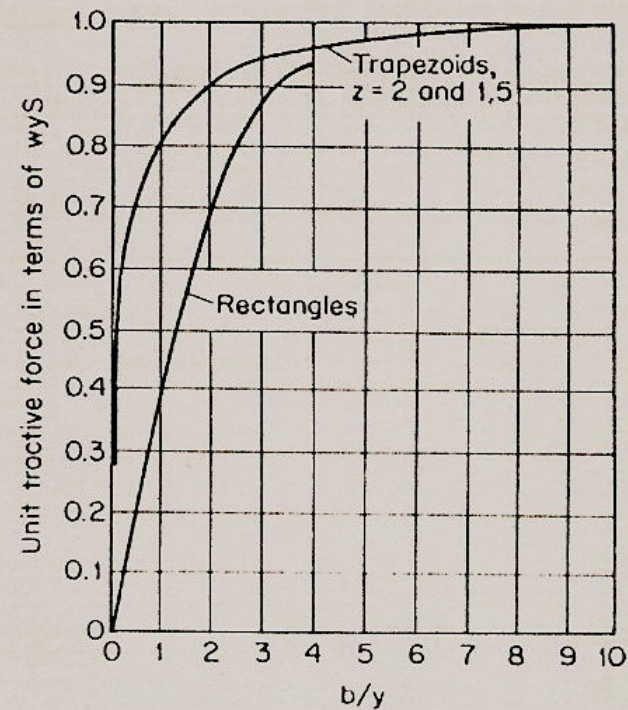
Zimmerman

DISEÑO DE CANALES CRITERIO DE LA FUERZA TRACTRÍZ

$$\tau_0 = \gamma * R_h * J < \tau_{\text{admisible}}$$

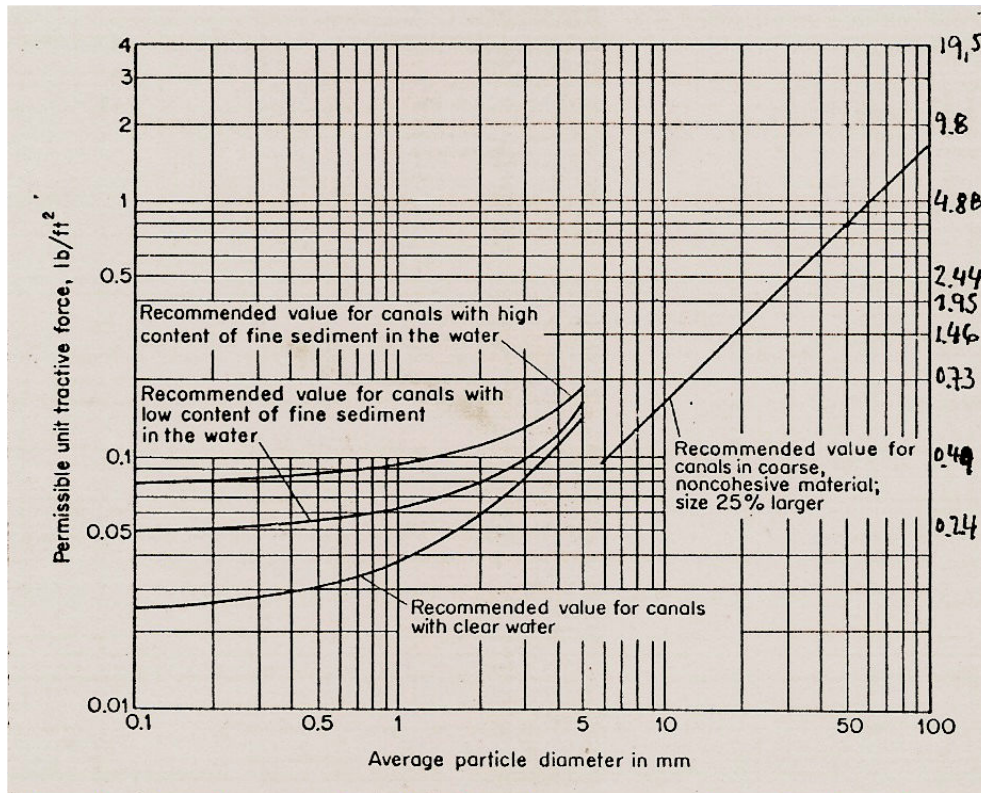


On sides of channels



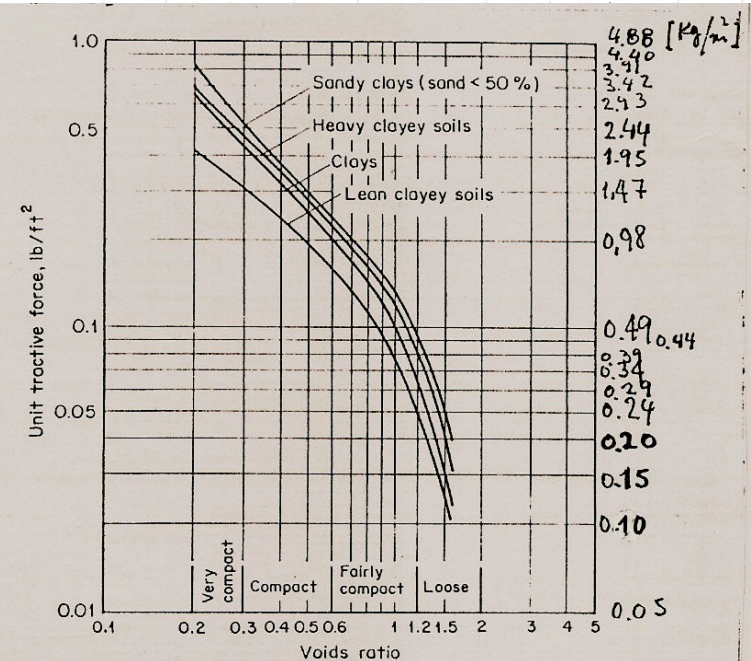
On bottom of channels

Valores máximos de la fuerza tractiva en función $g^* R_h^* i$



Tensión tractiva máxima recomendada en suelos granulares.
Extraído del libro de Ven Te Chow
"Open Channel Hydraulic".

Fuerza tractiva máxima para suelos cohesivos
(Extraído del libro "Open Channel Hydraulic")



Permissible unit tractive forces for canals in cohesive material as converted from the U.S.S.R. data on permissible velocities.

COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Descripción	Mínimo	Medio	Máximo
Canal recto.			
Limpio y terminado recientemente.	0,016	0,018	0,020
Limpio con uso.	0,018	0,022	0,025
Con grava, sección uniforme y limpio.	0,022	0,025	0,030
Con musgos cortos y pocas malezas.	0,022	0,027	0,033
Canal con curvas.			
Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
Con musgos y pastos.	0,025	0,030	0,033
Con pastos densos, malezas en canales profundos.	0,030	0,035	0,040
Fondo de tierra y taludes de mampostería de piedra partida.	0,028	0,030	0,035
Fondo pedregoso y taludes con pastos.	0,025	0,035	0,040
Fondo de piedras rodadas y taludes limpios.	0,030	0,040	0,050
Canales excavados con pala.			
Sin vegetación.	0,025	0,028	0,033
Pocos arbustos en los taludes	0,035	0,050	0,060
Canales excavados en roca.			
Roca lisa y uniforme.	0,025	0,035	0,040
Roca cortada irregularmente.	0,035	0,040	0,050
Canales sin ningún mantenimiento.			
Pastos densos de la altura del escurrimiento	0,050	0,080	0,120
Fondo limpio y taludes con arbustos.	0,040	0,050	0,080
Arbustos densos y nivel alto.	0,080	0,100	0,140

**Coeficientes de rugosidad de Manning en canales de tierra.
(Según Ven-Te-Chow).**

El SCS propone los siguientes valores básicos (no)

Canales en tierra (0,020)
 Canales cortados en roca (0,025)
 Canales de grava fina (0,024)
 Canales de grava gruesa (0,028)

$$n = n_0 + \Delta n$$

1.- Modificación debido a la vegetación.		Δn
Crecimiento de pastos flexibles y plantas acuáticas. Profundidad del flujo de 2 a 3 veces la altura de la vegetación.		0,005 a 0,010
Matorrales densos como sauces de 2 a 3 años en los taludes del canal. El radio hidráulico cercano a 0,60 [m].		0,010 a 0,025
Crecimiento de matorrales de sauces de 1 año y hierbas de gran follaje en los taludes con poca vegetación en el fondo. $R_h \approx 0,60$ [m].		0,025 a 0,050
Matorrales de sauces de 1 año y plantas de gran follaje en los taludes y fondo del canal. $R_h > 3$ [m]		0,050 a 0,100
2.-Por irregularidades de la sección de escurrimiento.		
Cambios en las dimensiones y formas de la sección graduales.		0
Secciones grandes y pequeñas alternadas o cambios en la forma produciendo ocasionalmente desviación del escurrimiento en el canal.		0,005
Secciones grandes y pequeñas alternadas frecuentemente y cambios de la forma con frecuentes desplazamientos del flujo de lado a lado.		0,010 a 0,015
3.-Por irregularidades de las superficies mojadas.		
Superficies lisas.		0
Ligeramente erosionadas y taludes limpios.		0,005
Irregularidades severas. Márgenes empantanadas y deformadas con superficies irregulares.		0,020
4.-Por obstrucciones en las secciones de escurrimiento..		
Despreciable		0
Menor		0,010 a 0,015
Apreciable		0,020 a 0,030
Severa		0,040 a 0,060
5.-Por alineamiento del canal. Depende del valor de (l_m / l_s)		
$1,0 < l_m / l_s < 1,20$	Menor	0
$1,2 < l_m / l_s < 1,5$	Apreciable	$0,15 \times n'$
$1,5 < l_m / l_s$	Severa	$0,30 \times n'$

VELOCIDADES MÍNIMAS

De acuerdo a lo expuesto anteriormente la velocidad media del escurrimiento en un canal no revestido, no debe ser superior a un valor límite, sobre el cual habría peligro de erosión de las paredes del canal.

Por otra parte la velocidad no debería ser inferior al valor de la velocidad de depositación de los materiales sólidos en suspensión acarreados por el agua.

$$\overline{v}_{\min} = \beta \times h^{0,64}$$

Tipo de sedimento en suspensión	β
Légamo muy fino.	0,53
Arena muy fina.	0,58
Barro arenoso.	0,64
Légamo grueso.	0,70

Canales de aducción

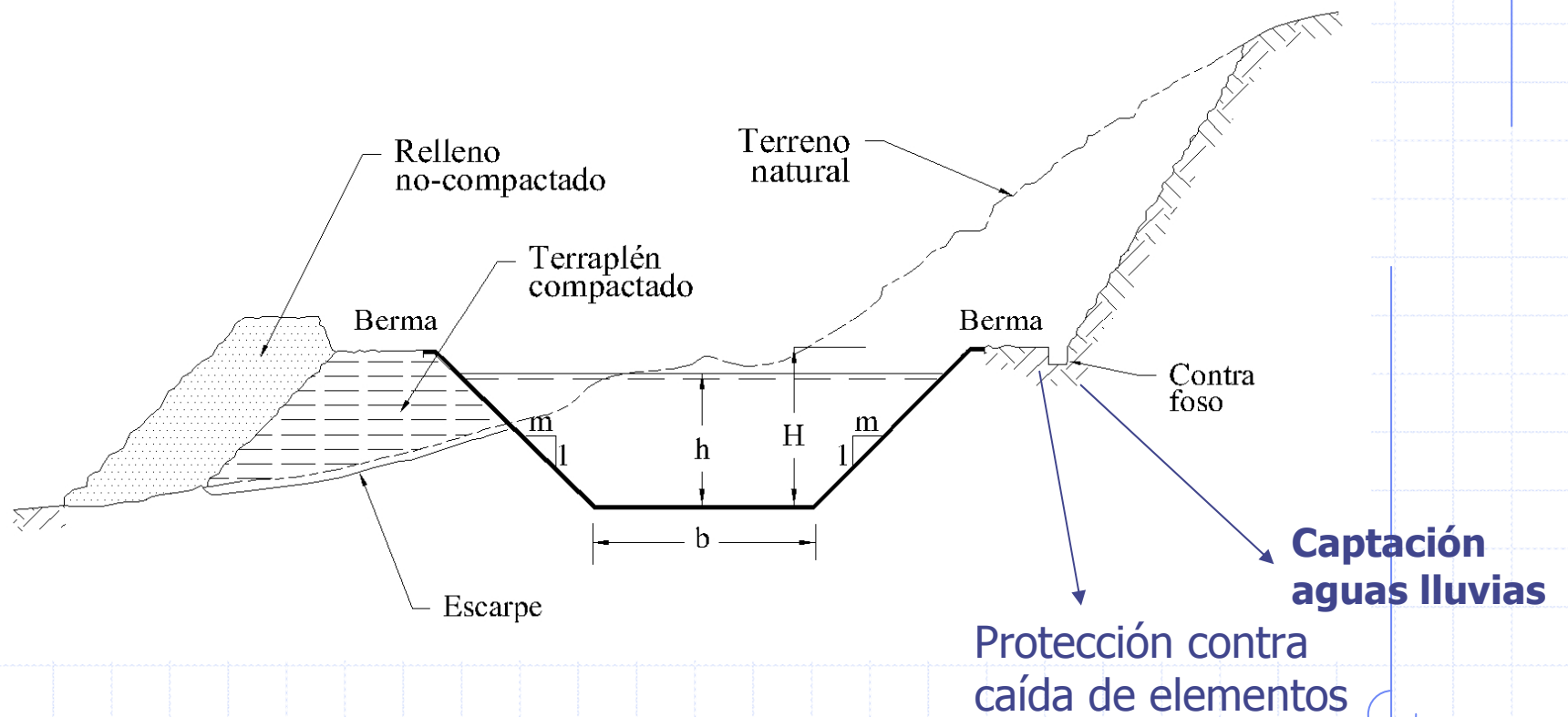
Canales Revestidos

En un sistema de riego un canal se reviste principalmente para disminuir las pérdidas por infiltración.

En el caso de una central hidroeléctrica la conveniencia de revestir un canal de aducción es más clara y la justificación se encuentra en un estudio económico entre el mayor costo de revestir al canal y el valor de la energía perdida la que se recuperaría debido a la menor rugosidad del canal revestido.

Los canales revestidos con materiales de superficie dura como los de hormigón de cemento Pórtland, los de albañilería de piedra, losetas prefabricadas...etc, admiten velocidades máximas más elevadas que los canales de tierra.

En los primeros las velocidades se sitúan entre 1,50 [m/s] y 2,50 [m/s], en cambio en los de tierra las velocidades máximas varían entre 0,50 [m/s] y 1,50 [m/s].



Características de los revestimientos

Existe una gran variedad de revestimientos de superficie dura como los de hormigón de cemento Pórtland, de hormigón asfáltico, de losetas pre-fabricadas de mortero de cemento, de albañilería de piedra, de suelo cemento, de ladrillo...etc.

El costo de los revestimientos es elevado e indudablemente el más económico es el de menor perímetro mojado para una determinada área de escurrimiento. La sección de canal más usual es la de trapecio isósceles.

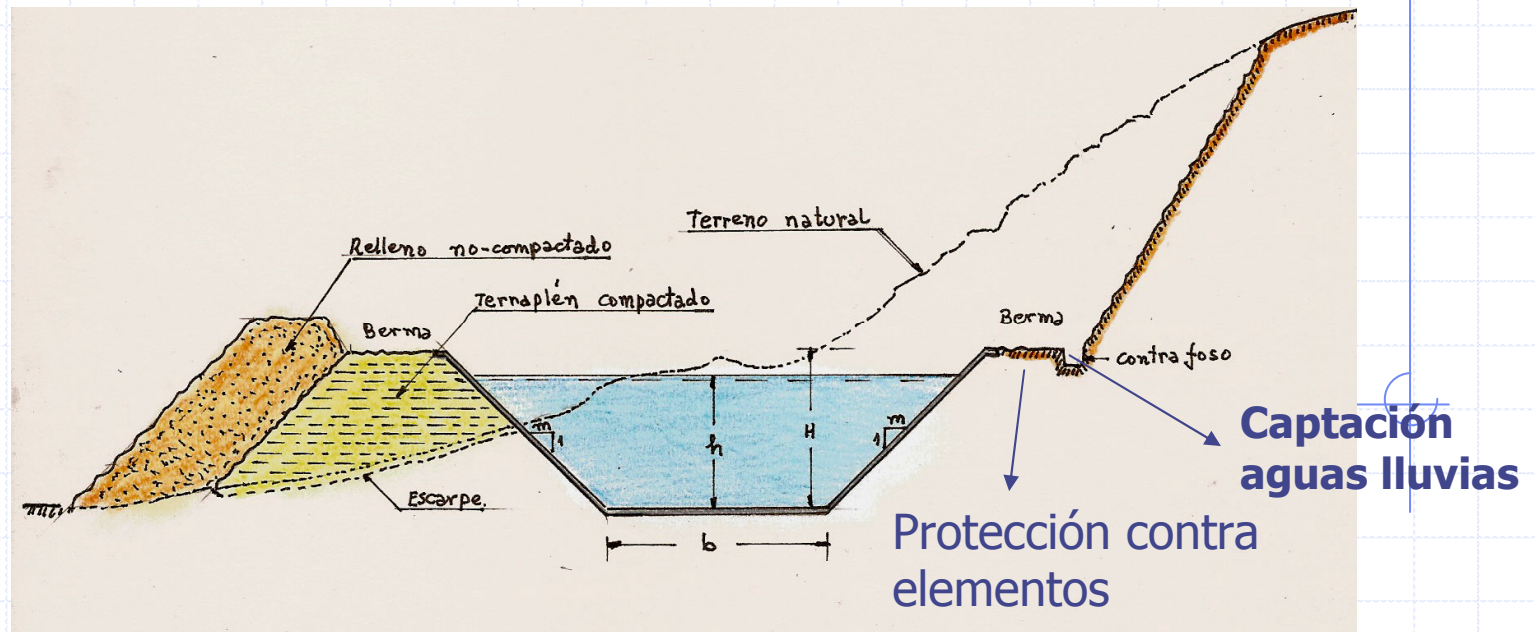
Normalmente la relación entre la base y la altura varía entre 1 y 2, siendo el menor valor adecuado para canales pequeños y el mayor valor para canales mayores

El suelo de fundación debe ser firme y estable para asentar adecuadamente a un revestimiento duro.

La mayoría de los problemas en los canales se producen en zonas de rellenos naturales. A fin de evitar problemas es necesario eliminar estos rellenos **reemplazándolos por rellenos compactados o bien disponer un revestimiento de hormigón armado.**

Los rellenos de los terraplenes que forman la cubeta de un canal, deben ser compactados por lo menos hasta la altura del revestimiento.

Deben dejarse bermas de mantención a ambos costados del canal con un ancho mínimo de 1,50 [m] para canales de hasta 3 [m³/s] y de 2 [m] a 2,50 [m] para los grandes canales. Si una de las bermas constituye un camino de borde debe tener un ancho mínimo de 3,60 [m].



A. Revestimientos de superficie dura.

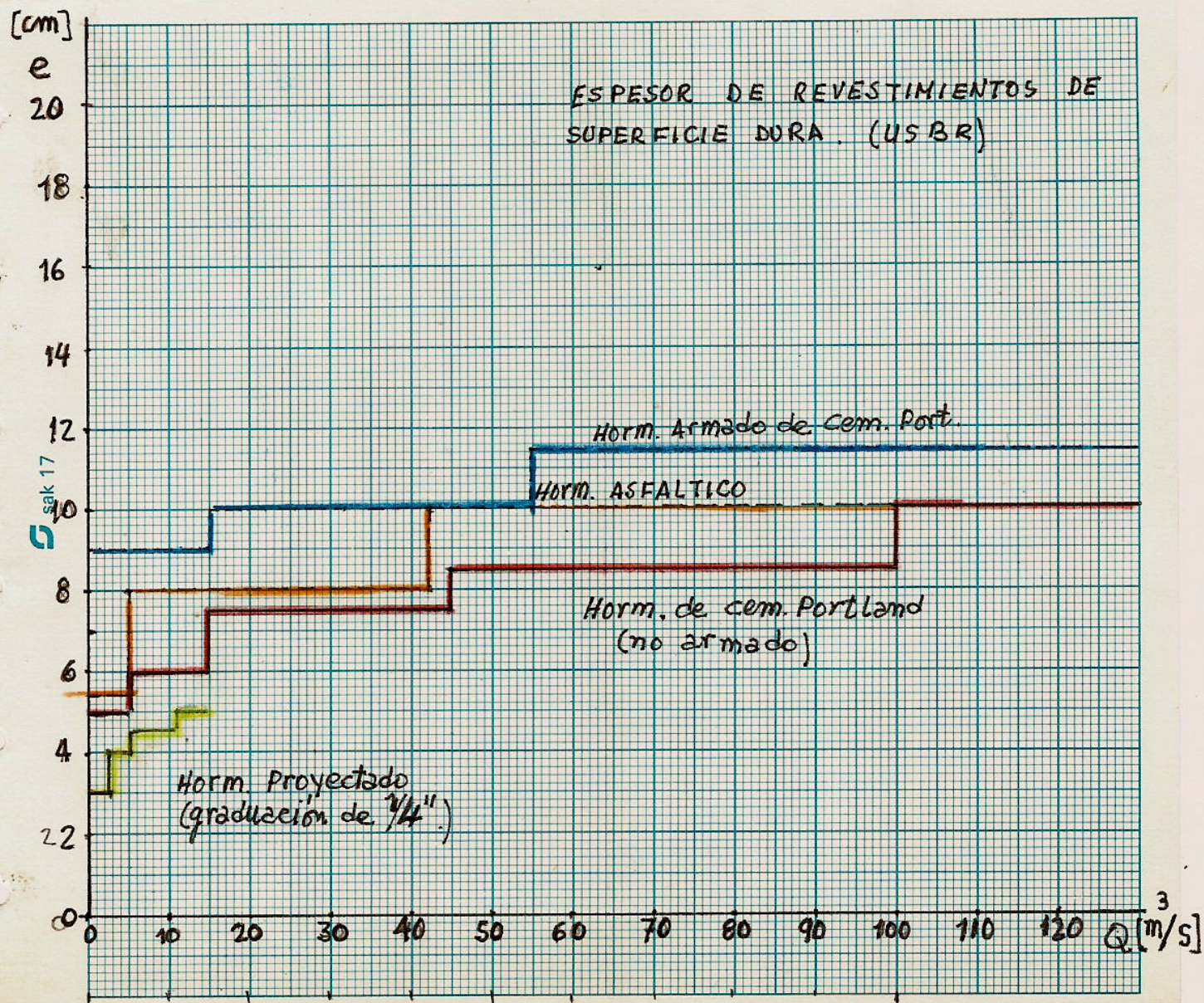
Hormigón de cemento Pórtland.

Este es el tipo de revestimiento más convencional y que ha sido usado extensamente en todas partes del mundo. Este revestimiento es ventajoso cuando el escurrimiento es de velocidad alta debido a que el hormigón de cemento tiene una gran resistencia a la erosión. Velocidades hasta de 2,50 [m/s]

El revestimiento de hormigón elimina el crecimiento de plantas acuáticas y mejora las características del flujo. El revestimiento de hormigón reduce los costos de mantención.

Como desventaja el revestimiento de hormigón es susceptible de desarrollar fisuras y grietas debido al efecto de la temperatura, a la retracción del hormigón durante el fraguado, a la consolidación y asentamiento de los suelos de la subrasante.

Con respecto al espesor del revestimiento no se puede dar una regla general, pero en canales pequeños y no existiendo peligro de grandes heladas, el espesor puede ser de unos 4 [cm]. En países de climas suaves se encuentran revestimientos de hormigón en canales pequeños y medianos con espesores de 5 a 8 [cm] y en canales medianos y grandes con espesores de 8 a 10 [cm].



Revestimiento con elementos prefabricados de hormigón.

Las losas y losetas prefabricadas de hormigón de cemento Pórtland se utilizan extensamente en revestimientos de canales.

La principal ventaja del hormigón prefabricado es la posibilidad de ejercer un **control de su calidad**.

El revestimiento de prefabricados tiene **normalmente un menor espesor y una superficie más suave** que otros tipos de revestimientos.

La **simplicidad de la construcción y el almacenamiento de los elementos prefabricados** son ventajas adicionales.

El relleno del suelo bajo los elementos prefabricados es importante para evitar la ruptura de las losas o losetas.

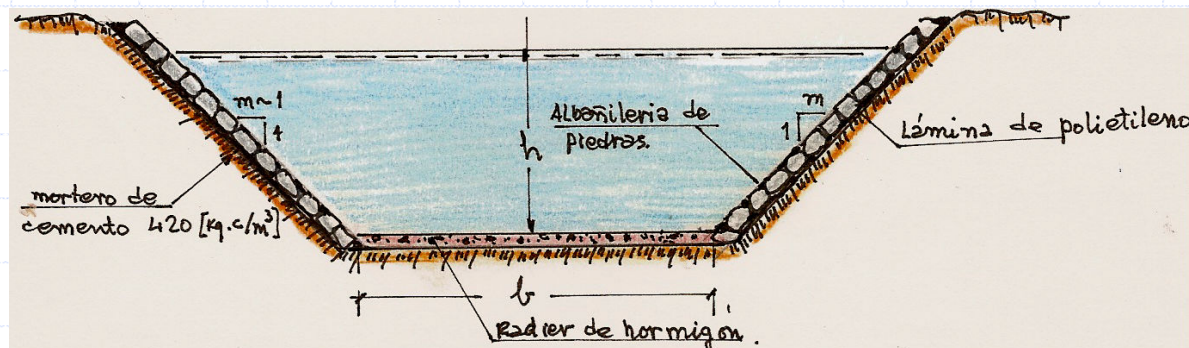
Revestimiento de albañilería de piedras.

El revestimiento de piedras ha sido muy empleado donde hay abundancia de los materiales usados, como bolones de granito.

Este revestimiento generalmente es más barato que el revestimiento de hormigón y su costo depende de la mano de obra que es intensiva, pues las piedras deben ser colocadas a mano.

Es conveniente utilizar un mortero rico en cemento con una dosis de unos 420 [kg.cem/m³].

Se recomienda una velocidad máxima del escurrimiento de 1,50 [m/s].



Revestimiento de suelo-cemento.

El suelo cemento es una mezcla de suelo arenoso, cemento Pórtland y agua. Al endurecer la mezcla tiene el aspecto de un hormigón corriente. El suelo-cemento es recomendable su utilización en lugares donde el clima es suave o benigno.

Los espesores de este revestimiento varían entre 7,5 y 15 [cm].

El revestimiento de suelo-cemento no es resistente a los agentes climáticos y su vida útil es comparativamente corta y su mantención debe ser acuciosa y resulta costosa.

No deben permitirse velocidades del escurrimiento más altas que las correspondientes al canal no revestido en el suelo del canal, pero se reducen las pérdidas de infiltración.

Revestimiento de hormigón asfáltico.

El asfalto mezclado con arena y grava se utiliza como revestimiento de canales.

El hormigón asfáltico es más barato que el hormigón de cemento y tiene la ventaja que soporta mejor los asentamientos de la sub-base. También admite la posibilidad de utilizar agregados de más pobre calidad.

La vida útil del revestimiento de hormigón asfáltico varía en el rango de 10 a 20 años y la máxima velocidad aceptable es de 1,50 [m/s].

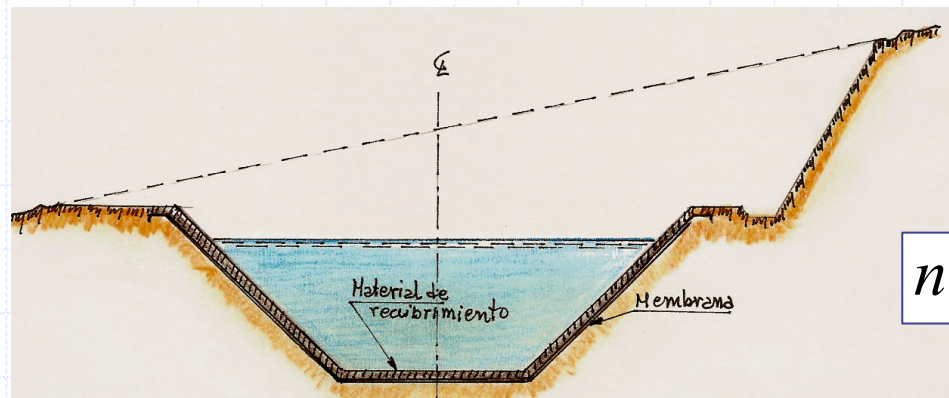
También este revestimiento puede ser dañado por el crecimiento de plantas en el suelo bajo el revestimiento y es necesario efectuar la esterilización del suelo como parte integrante de la construcción.

B. Revestimientos de membranas.

Las membranas son hojas o láminas delgadas de asfalto, de materiales plásticos o de caucho sintético. Su permeabilidad es muy baja y combinada con un suelo de fundación de buena resistencia mecánica, se evita toda infiltración. Presentan una baja vida útil (3 a 5 años)

La colocación de las membranas no enterradas es sumamente simple una vez que el suelo ha sido preparado. Deben eliminarse rocas y piedras de cantos vivos y otros. Se recomienda disponer una capa de arena de algunos centímetros sobre el terreno y sobre ella disponer la membrana. La membrana debe anclarse en una zanja de 0,30 [m] de profundidad sobre el nivel máximo de las aguas en el canal (NAM).

El USBR recomienda como máximo el talud de 2:1 (H:V), otros autores recomiendan incluso 3:1.



$$n \approx 0,012$$

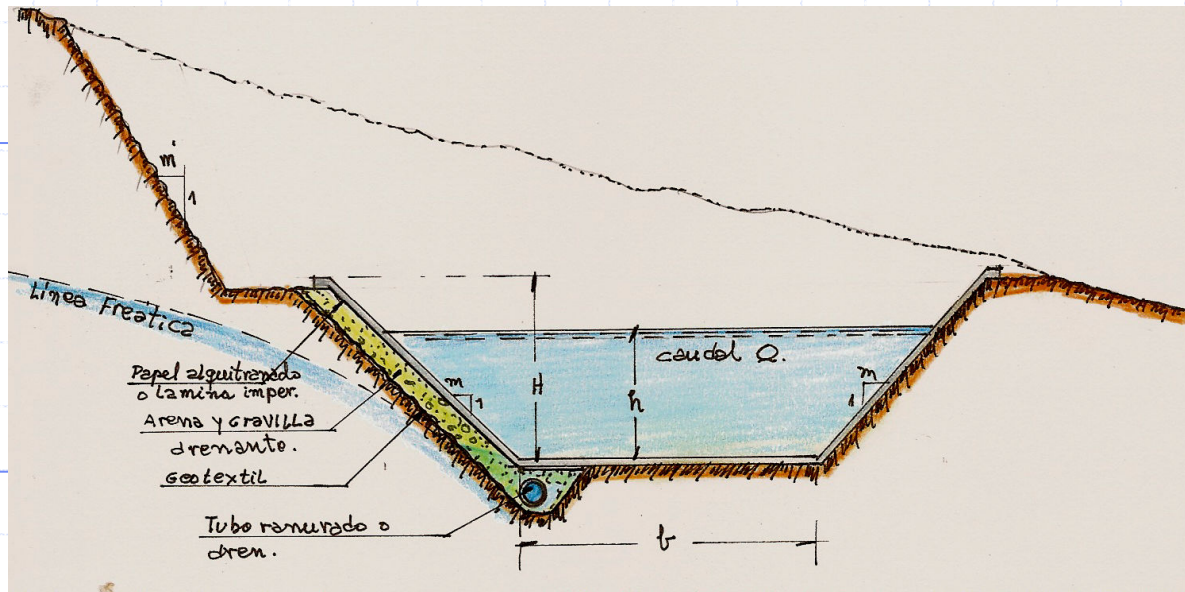


Drenaje y dispositivos de alivio de presión.

Las fallas de los revestimientos en los canales se deben principalmente a un exceso de presión hidrostática detrás de los revestimientos, lo que puede ocurrir debido a una napa freática alta y a la incapacidad del sistema de drenaje de la sub-base o del drenaje natural de la misma para aliviar la sub-presión.

Para asegurar la estabilidad de los revestimientos del canal es esencial eliminar el exceso de la presión detrás de los revestimientos mediante un sistema adecuado de drenaje.

Sistema de drenaje mediante una tubería ranurada.



Disposición de una tubería de drenaje (PVC ranurada, $D = 100 - 150$ mm) bajo el revestimiento en el lado del cerro.

Además bajo el talud del revestimiento se dispone una capa drenante de gravilla graduada de 20 a 40 [mm] y de unos 150 a 300 [mm] de espesor que se apoya sobre el terreno donde se dispone un geotextil para evitar que la capa drenante se contamine con el material fino del suelo. Sobre la capa drenante se dispone papel alquitranado o una lámina de 0,2 [mm] de polietileno para no contaminar a la capa drenante, durante el hormigonado del revestimiento.

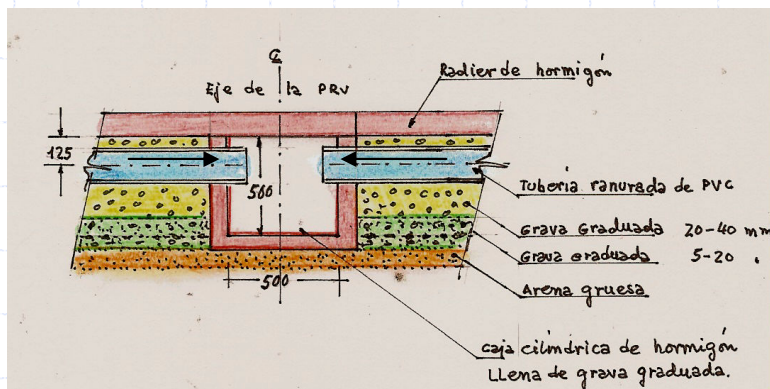
Cada cierto trecho a lo largo del canal, el dren debe descargar a un punto bajo del terreno en el sentido transversal, para mantener la capacidad de la tubería de drenaje.

Sistema de drenaje en una zona de llanura

En estos casos no es posible utilizar un sistema de drenaje como el indicado anteriormente, debido a que es difícil encontrar puntos bajos para descargar a las tuberías ranuradas de drenaje, y es necesario recurrir a un sistema diferente.

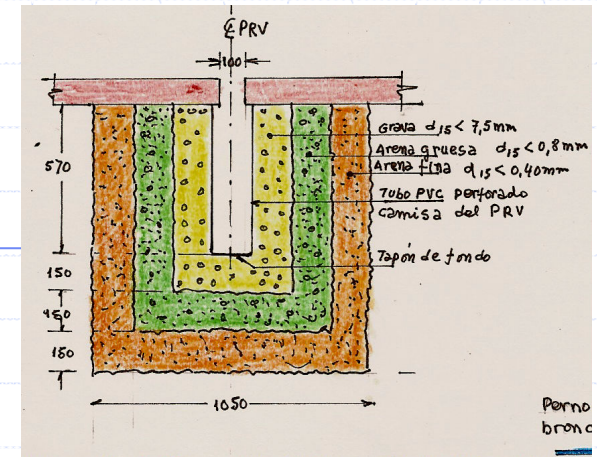
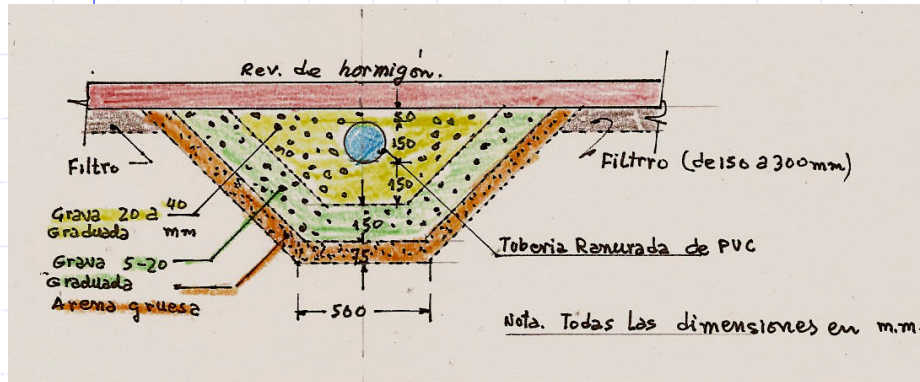
Lo más utilizado es descargar las tuberías de drenaje hacia el interior del canal mediante una válvula aliviadora de presión o PRV (pressure-relief-valve). Si la presión de la napa freática es más elevada que la presión dada por la altura de agua en el canal, la válvula se abre y se alivia la presión detrás del revestimiento hasta igualarse a la presión dada por la altura de agua en el canal.

Si la presión dada por la altura de agua en el canal es mayor que la de la napa freática, la válvula permanece cerrada.

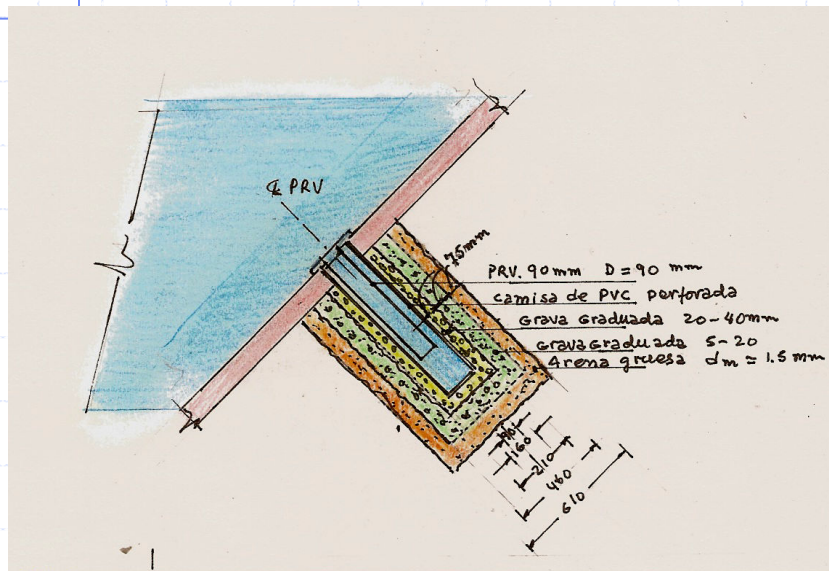


Descarga del sistema de drenaje mediante una PRV.

Tubería ranurada bajo el revestimiento del canal.



Bolsón drenante bajo el radier del canal.



Bolsón drenante ubicado en el talud del canal

Una válvula aliviadora de presión, consiste en una "barbacana" en cuya boca de entrada se dispone una lengüeta de goma que tiende a cerrar la entrada por su peso y por la presión sobre ella de la masa de agua en el canal. Si por el contrario la presión del agua embebida en el terreno es mayor, la lengüeta se abre y pasa agua del terreno hacia el canal.

Coeficientes de rugosidad de Manning en canales revestidos

Descripción	Mínimo	Medio	Máximo
Superficie metálica.			
Superficie de acero lisa sin pintar.	0,011	0,012	0,014
Superficie de acero pintada.	0,012	0,013	0,017
Superficie corrugada.	0,021	0,025	0,030
Canal de superficie no metálica.			
Cemento.			
Superficie muy limpia.	0,010	0,011	0,013
Mortero.	0,011	0,013	0,015
Madera.			
Cepillada sin tratar.	0,010	0,012	0,014
Cepillada tratada con creosota.	0,011	0,012	0,015
Sin cepillar.	0,011	0,013	0,015
Planchas con listones.	0,012	0,015	0,018
Revestida con papel impermeable.	0,010	0,014	0,017
Superficie de hormigón.			
Terminada con llana.	0,011	0,013	0,015
Terminada con lechada.	0,013	0,015	0,016
Con grava en el fondo.	0,015	0,017	0,020
Sin terminar.	0,014	0,017	0,020
Con shotcrete liso.	0,016	0,019	0,023
Con shotcrete ondulado.	0,018	0,022	0,025
Sobre roca excavada pareja.	0,017	0,020	-
Sobre roca excavada irregular.	0,022	0,027	-

Fondo de hormigón terminado con lechada y costados:			
Piedra acomodada con mortero.	0,015	0,017	0,020
Piedra volcada en mortero.	0,017	0,020	0,024
Mampostería de piedra partida cementada y revocada	0,016	0,020	0,024
Mampostería de piedra partida cementada.	0,020	0,025	0,030
Piedra partida suelta o riprap.	0,020	0,030	0,035
Descripción.	Mínimo	Medio	Máximo
Fondo de grava con costados de:			
Hormigón con moldaje.	0,017	0,020	0,025
Piedra volcada en mortero.	0,020	0,023	0,026
Piedra partida suelta o riprap.	0,023	0,033	0,036
Ladrillo.			
Vidriado	0,011	0,013	0,015
En mortero de cemento.	0,012	0,015	0,018
Mampostería			
Piedra partida cementada.	0,017	0,025	0,030
Piedra partida suelta.	0,023	0,032	0,035
Piedra cortada y acomodada.	0,013	0,015	0,017
Asfalto.			
Liso	0,013	0,013	-
Rugoso.	0,016	0,016	-

Rugosidad equivalente

Cuando la sección transversal de un canal está parcialmente revestida o tiene revestimientos de distinto tipo en el radier y las paredes, la pérdida de carga se calcula aplicando Manning, pero con un **coeficiente de rugosidad ponderado**, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$n_{\text{equiv}} = \left(\sum (p_i n_i^{3/2} / p) \right)^{2/3}$$

En que los p_i son los tramos de perímetros con rugosidad n_i constituyentes del perímetro mojado total p .

La fórmula racional.

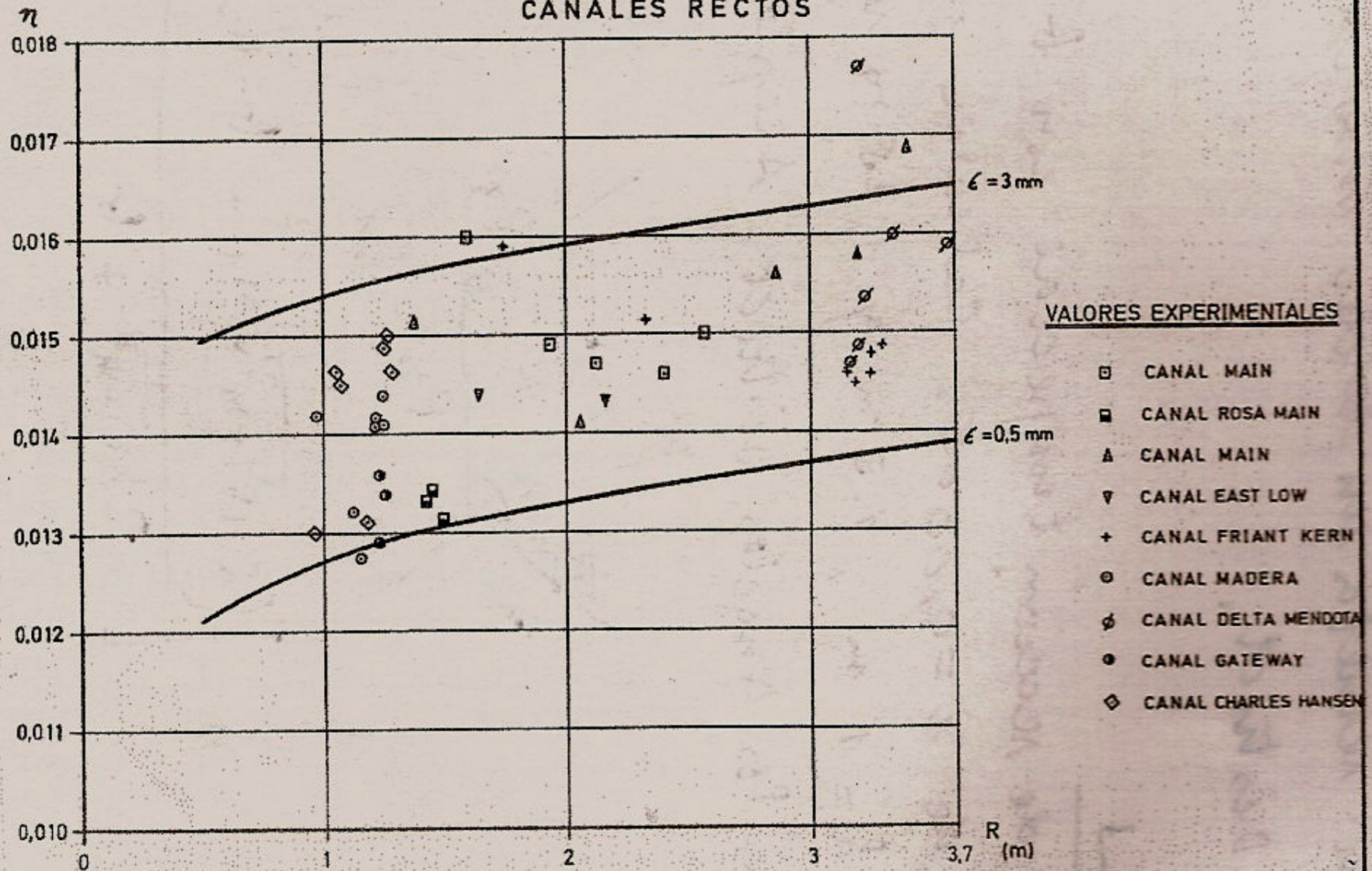
$$J = f \times \frac{1}{4R_h} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -c \times \log \left(\frac{\kappa}{a \times R_h} + \frac{b}{R_e \times \sqrt{f}} \right)$$

Ackers y Zegzhda.

Tipo de superficie	κ en [mm]
Sup. Lisa y suave. Juntas bien ejecutadas.	0,2-0,3
Revestimiento ejecutado con moldaje metálico lubricado. Juntas bien ejecutadas.	0,5-0,6
Revestimiento corriente con moldaje de madera.	1,2-1,5
Revestimiento de hormigón rugoso.	4
Revestimiento de albañilería de piedra.	6
Revestimiento con shotcrete liso.	3-9

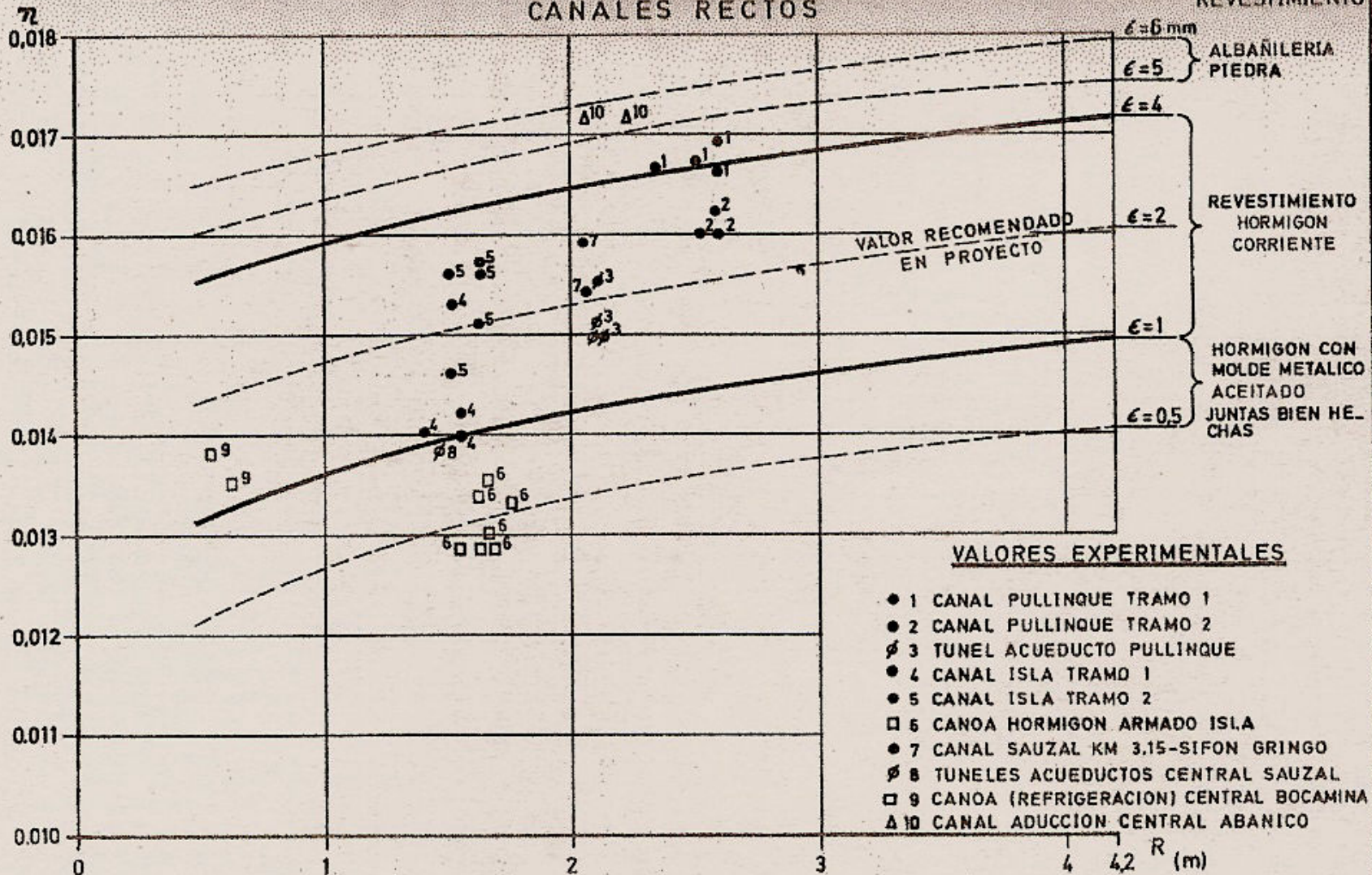
**VALORES DE RUGOSIDAD
SEGUN EXPERIENCIA EN CANALES REVESTIDOS DEL U S B R
CANALES RECTOS**



ENDESA

GRAFICO N° 4 VALORES DE RUGOSIDAD SEGUN EXPERIENCIA EN CANALES REVESTIDOS DE ENDESA CANALES RECTOS

TIPO
REVESTIMIENTO



H. MERY M.
dib. r. reyes d.

Resguardo en canales revestidos.

$$R_{res.} = 0,30 + \frac{\overline{v_n^2}}{2g}$$

Channel Design and Flow Análisis. JCY Guo):

Vn: Velocidad normal [m/s]

En canales menores en régimen subcrítico, el valor fijo de la ec. puede reducirse a 0,15 [m].

Forma y Dimensiones de la Sección

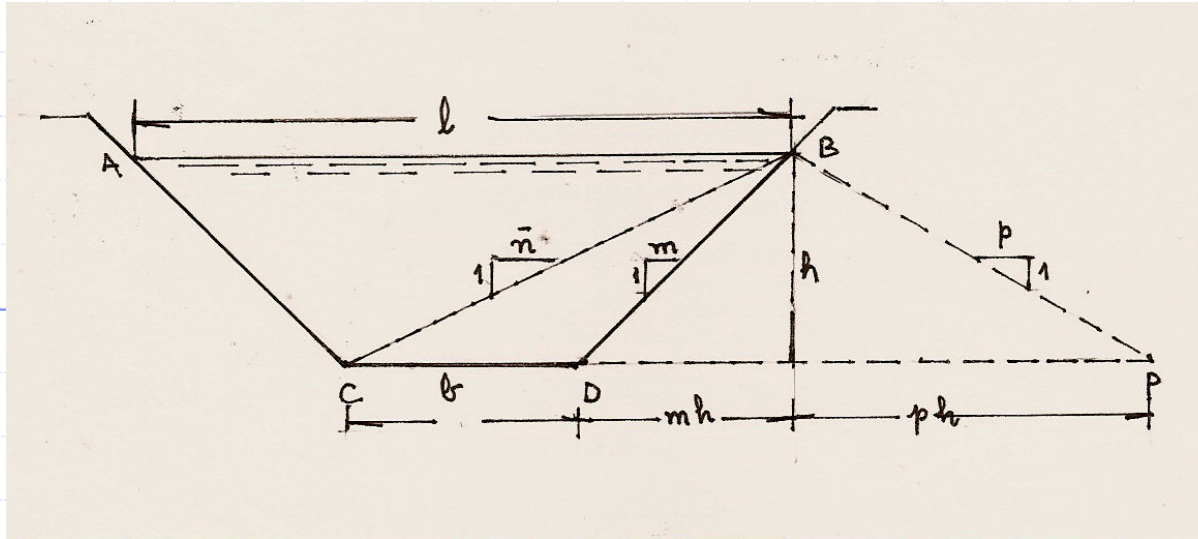
Un procedimiento usual para dimensionar la sección del canal, consiste en elegir arbitrariamente un valor de la relación (b/h) (base/altura de agua) y denominando A al área mojada, la altura del escurrimiento queda dada por la relación:

$$h = \sqrt{\frac{A}{m + \frac{b}{h}}}$$

$$h > 0,6 \times \sqrt{A}$$

Ex Dirección de Riego,
DOH, MOP

Dimensiones óptimas de la sección transversal de un canal.



$$b \text{ (base)} = (\tilde{n} - m) \times h$$

$$l \text{ (ancho superficial)} = (\tilde{n} + m) \times h$$

$$A \text{ (área mojada)} = \tilde{n} \times h^2$$

$$P \text{ (perímetro mojado)} = (\tilde{n} + p) \times h$$

$$p = 2 \times \sqrt{1 + m^2} - m$$

(*)

Existe una infinidad de trapecios isósceles que tienen la misma área y la misma pendiente inversa de los taludes (difieren en el ancho basal).

Resolviendo para i y n conocidos y determinando cual sería la sección que puede conducir el máximo caudal posible.

$$Q = \left(\frac{\sqrt{i}}{n} \right) \times A \times R_h^{2/3}$$

$$R_h = \frac{A}{P} \quad dR_h = \frac{P * dA - A * dP}{P^2}$$

$dA = 0$ ($A = \text{cte}$) y según la ec. anterior $\Rightarrow dP = 0$

Planteando lo anterior, en términos de $\tilde{n}$ y h , se tiene:

$$dA = 2\tilde{n} \times h \times dh + h^2 \times d\tilde{n} = 0$$

$$dP = (\tilde{n} + p) \times dh + h \times d\tilde{n} = 0$$

$$\tilde{n} = 2 \times \sqrt{1 + m^2} - m = p$$

Reemplazando en (*) se obtiene:

$$b = (p - m) \times h$$

$$l = (p + m) \times h$$

$$A = p \times h^2$$

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

m y p son datos, luego, h es la variable independiente y utilizando la ecuación de Manning:

$$Q = \left(\frac{\sqrt{i}}{n}\right) \times p \times h^2 \times \left(\frac{h}{2}\right)^{2/3} = \left(\frac{\sqrt{i}}{n}\right) \times \frac{p \times h^{8/3}}{2^{2/3}}$$

Ejemplo de Aplicación

Determinar las características geométricas de una canoa (sección rectangular) de área mínima, para conducir un caudal de 6 [m³/s] con una pendiente de 0,1% y un coeficiente de rugosidad de $n = 0,015$ (hormigón corriente).

$$m = 0 \Rightarrow p = 2 \quad Q = \left(\frac{\sqrt{i}}{n}\right) \times p \times h^2 \times \left(\frac{h}{2}\right)^{2/3} = \left(\frac{\sqrt{i}}{n}\right) \times \frac{p \times h^{8/3}}{2^{2/3}}$$

$$Q = \left(\frac{\sqrt{i}}{n}\right) \times 2^{1/3} \times h^{8/3}$$

Determinando la altura del escurrimiento introduciendo los parámetros dados:

$$6 = \frac{\sqrt{0,001}}{0,015} \times \sqrt[3]{2} \times h^{8/3}$$

Resolviendo la ecuación, se obtiene: $h = 1,36$ [m] y $b = 2,72$ [m]

El área mojada resulta $A = 3,645$ [m²] y la velocidad del escurrimiento $v = 1,65$ [m/s].

Propuesto: Resolver caso de canal trapezoidal ($m \neq 0$)

Inestabilidad del escurrimiento.

Como se sabe la profundidad crítica (h_c) se produce cuando la energía específica es mínima. Además sabemos que en la proximidad de la profundidad crítica puede darse un gran cambio de la altura del escurrimiento con una pequeña variación de la energía específica. Esto conduce, en la proximidad de la crisis, a una zona del escurrimiento muy propensa a presentar ondulaciones superficiales que alteran al escurrimiento.

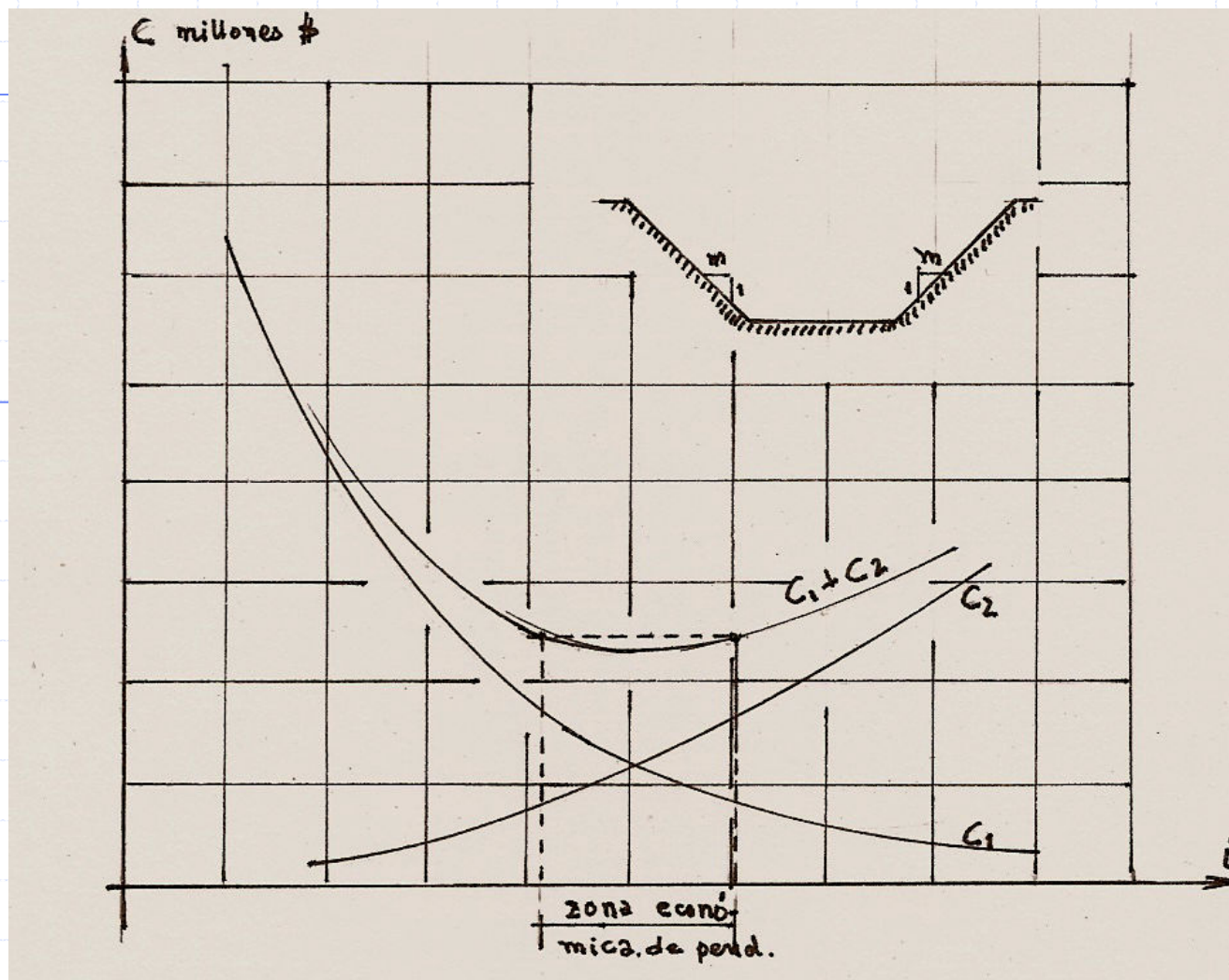
Condiciones de Estabilidad

Flujo tranquilo o subcritico $\Rightarrow h > 1,1 \times h_c$ o $F < 0,86$

Flujo rápido o supercritico $\Rightarrow h < 0,9 \times h_c$ o $F > 1,13$

Es equivalente plantar estas relaciones en términos de la energía específica (Bernoulli referido al fondo del canal)

Determinación de la pendiente económica de un canal.



C_1 = Costo anual de la inversión en la construcción del canal de aducción.

C_2 = Costo anual de las pérdidas de energía en el canal.

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO

CANALES DE ADUCCIÓN

- Un documento con valores de referencia para fines de diseño y estudio del proyecto de un canal corresponde a las **“Especificaciones Técnicas para Proyectos de Canales” de la Ex Dirección de Riego del MOP (1960)** (se adjunta en .pdf)
- En obras de riego es usual el considerar canales no revestidos, a excepción de los canales matrices.
- En agua potable y centrales de generación se utilizan canales revestidos para evitar el transporte de sedimentos que puedan obstruir los filtros y erosionar equipamientos mecánicos y también para minimizarlas pérdidas de carga y con ello no perder energía.
- La inclusión de revestimiento permite además de esto se evitan las pérdidas de agua por infiltración.
- El revestimiento más usual es hormigón con espesores de 5 a 12 cm dependiendo del tamaño del canal.

➤ La sección óptima de un canal es aquella que minimiza el perímetro mojado, la sección usual utilizada es la de forma trapecial. La relación base/altura usual va de 1 a 2. Es importante considerar que el suelo debe estar compactado y debe evitarse fundarlos sobre arcillas expansivas.

➤ Los taludes usuales de los canales son 1,5: 1 a 2,0:1 (H:V)

➤ Si existe napa freática sobre la solera del canal deberá considerarse un sistema de filtros o drenes o bien el usar barbacanas y con ello evitar el fracturamiento de las losas por la subpresión del agua.

➤ Velocidad máxima en canales revestidos: 10 m/s aguas limpias o 3 - 4 m/s aguas con sedimentos

- Para asegurar la estabilidad del escurrimiento, en régimen subcrítico en un canal se debe verificar $Bn > 1,1Bc$.
- El valor de n , para canales revestidos, oscila entre 0,011 a 0,017 según el método constructivo, su mantención y la eventual presencia de algas sobre la superficie. En canales de tierra puede usarse una rugosidad entre 0,025 y 0,030.
- Revanchas en canales 5% a 30%, valor típico 15% de la altura de aguas. También se diseñan algunos canales considerando el Bernoulli del escurrimiento como una forma de incorporar una revancha.
- La pendiente de un canal se define mediante un estudio económico donde se evalúa los costos de la aducción versus las eventuales ganancias o pérdidas de generación.