



DISEÑO HIDRAULICO DE CANALES

Ing. Giovene Pérez Campomanes
gpcampomanes@gmail.com

4.1 INTRODUCCION

En un proyecto de irrigación una parte importante del proyecto es el diseño de un canal, que se obtiene sobre la base del tipo de suelo, cultivo, condiciones climáticas, métodos de riego, etc. Mediante la conjunción de la relación agua – suelo – planta y los parámetros hidráulicos.

Dentro de este tema se vera la parte que comprende el diseño de los canales, y es el manejo de la hidrología, que ayuda a una buena planificación de canales, con todo esto el diseñador tendrá una visión mas amplia y será mas eficiente su trabajo.



Canal de Lateral – CR Surco Rímac



Canal de derivación Fortaleza - Cañete

4.2 Definición:

Son conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, dado que la superficie libre del liquido esta en contacto con la atmosfera.



Se llaman a los conductos abiertos que van a cielo abierto, es decir aquellos que se excavan a media ladera por lo general y el material excavado de ser posible se utiliza en el relleno del labio inferior.

Por conductos abiertos que fluyen bajo la acción de la gravedad se denominan canales, o por conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos como los túneles, y otros conductos cerrados como las tuberías.



Canal de derivación Surco - Rímac

4.3 Túneles

Un túnel es un conducto que se excava con el objeto de atravesar una loma. Utilizada para poder trasladar las aguas; evitando fuertes pendientes.



Los túneles son obras de conducción subterránea que se excavan siguiendo su eje. Se emplean en los siguientes casos:

- Cuando **es necesario pasar el agua de un valle a otro**, atravesando el macizo montañoso que los separa.
- Cuando de este modo se **evita un desarrollo muy largo del canal abierto y, con el consiguiente aumento de pendiente** y reducción de la sección, se consigue una apreciable economía.
- Cuando la **pendiente transversal demasiado elevada** y el **material de mala calidad** no permite asegurar la estabilidad del canal abierto.

4.4 Clasificación de los canales: Los canales pueden clasificarse según:

a. La función que cumplen en los sistemas en:

- ✓ **Canal de derivación:** Es el canal que conduce las aguas desde la toma hasta el punto inicial de reparto de las aguas.



- ✓ **Canales laterales:** Son los que llevan las aguas a las áreas de riego y finalmente a las parcelas.



b. De acuerdo a su origen:

- ✓ **Naturales:** Son los cursos de agua existentes en forma natural como consecuencia del escurrimiento de la lluvia.



- **Artificiales:**
Son los
construidos
por el
hombre.



4.5 Información básica para el diseño:

- Capacidad
- Trazo
- Topografía
- Geología
- Geotecnia



Información inicial para el diseño:

- Fotografía aérea (google map).
- Planos topográficos y catastrales.
- Estudios geológicos, salinidad, suelos.
- Levantamiento topográfico(1/500 , 1/1000, 1/2000).

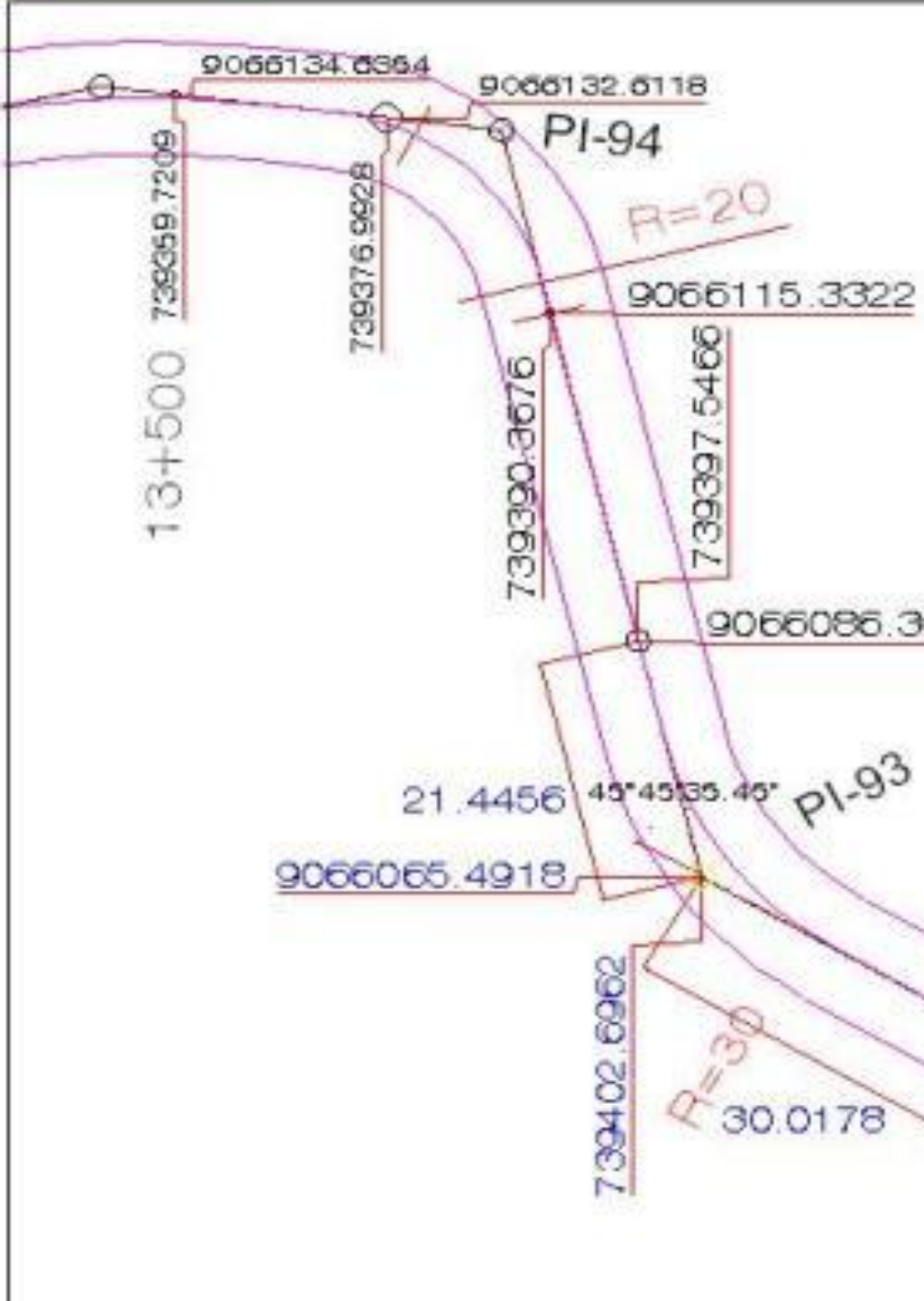
4.6 Trazado del canal

Criterios para el trazado:

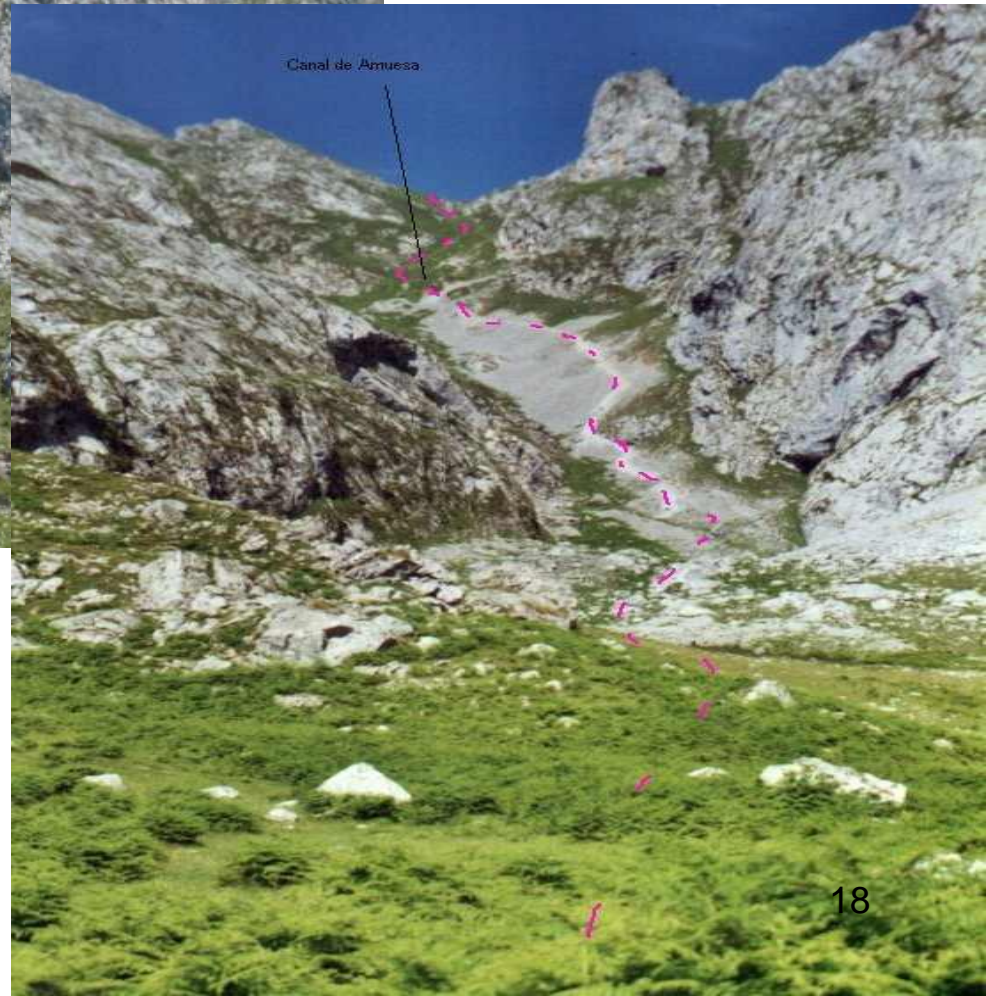
El trazo de canales es una actividad que se realiza después que se ha construido la plataforma, de acuerdo a las especificaciones técnicas.

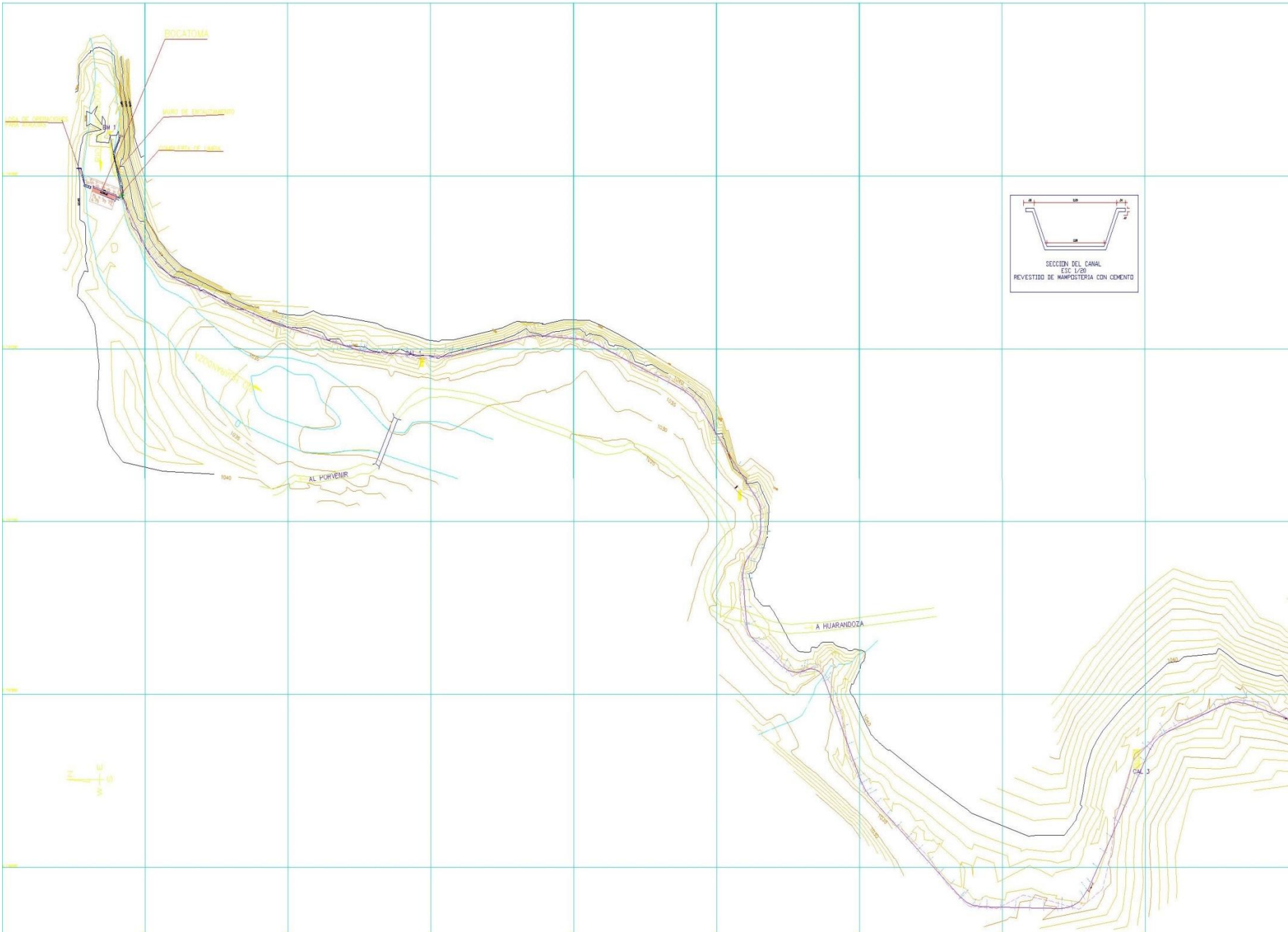
- Verificar las características geométricas del canal en recta y curva.
- Trazar la base inferior y superior del canal, teniendo en cuenta si va ser o no revestido.
- Replantear las medidas trazadas con las especificaciones.

- Trazo del eje del canal: tramo recto y curvo.
- Conseguir la mayor eficiencia y seguridad de las obras con el menor costo.
- Por lo general el sitio de la iniciación de la utilización del agua, como tanque de presión, comienza de la zona de riego, etc. Esta establecido y desde allí se traza la línea de gradiente hacia el rio para determinar la ubicación de las obras de toma

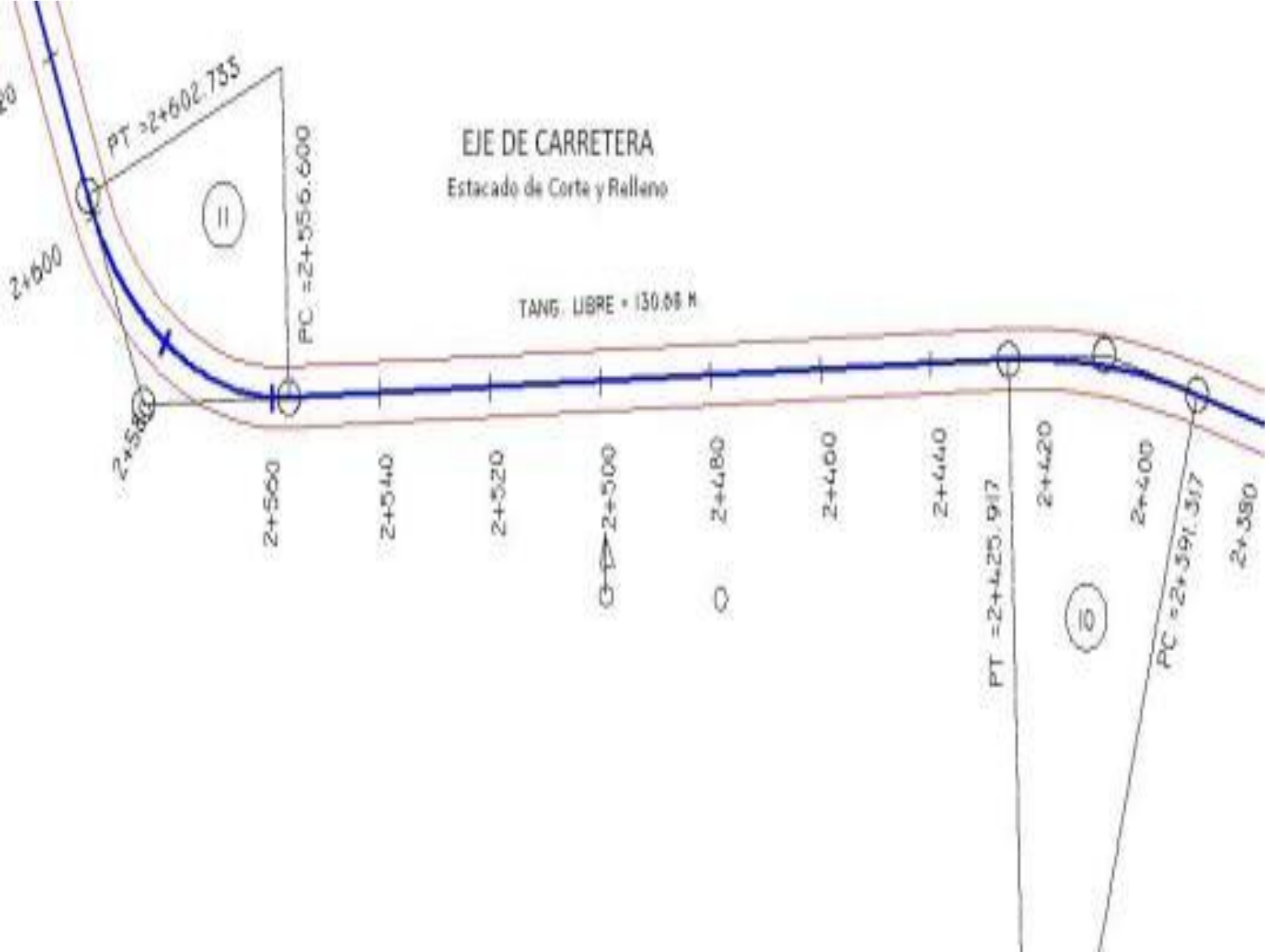


SENTIDO DE LA
 PROGRESIVA O
 KILOMETRAJE









- Se debe estudiar la posibilidad de rectificar la alineación acortando su longitud por medio de túneles, acueductos, rellenos u otro tipo de obras.
- En este caso es necesario comparar el costo de las distintas alternativas.



4.7 Canal abierto:

Consideraciones para el diseño:

- Al realizar el diseño de un canal, generalmente son dados el caudal Q , que se desea conducir y la gradiente(s), de la que se dispone y que puede variar dentro de los límites. Conocemos el coeficiente de rugosidad (n), que dependerá del tipo de revestimiento que se escoja.
- El área mojada se calcula en función de la velocidad aceptable en el canal, que debe variar entre **0.7 m/s y 2 m/s**, para evitar la sedimentación y la erosión.



21 + 750

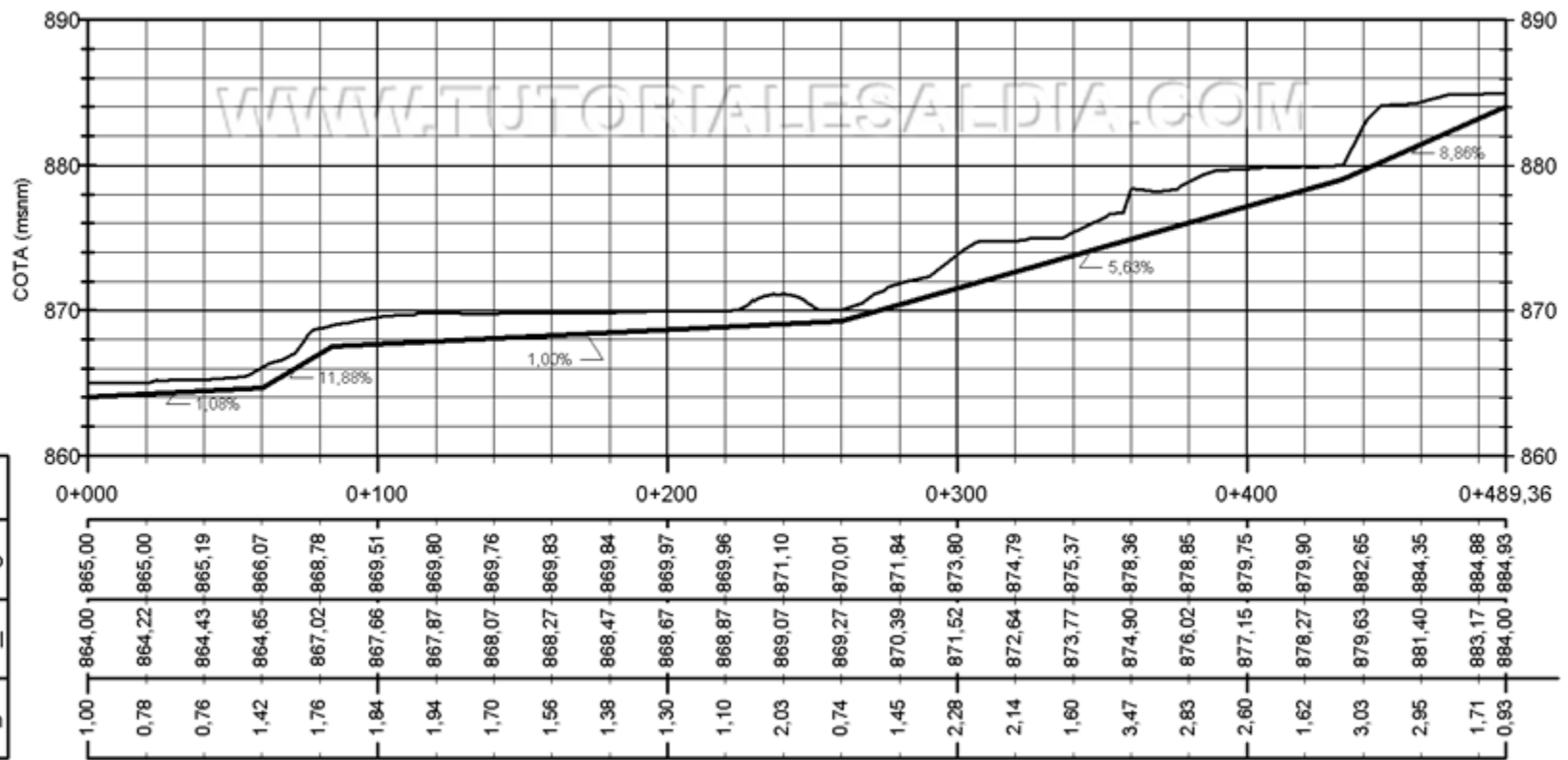
- La forma optima de la sección, hidráulicamente hablando, es aquella que con una **superficie mojada mínima conduzca el caudal máximo.**

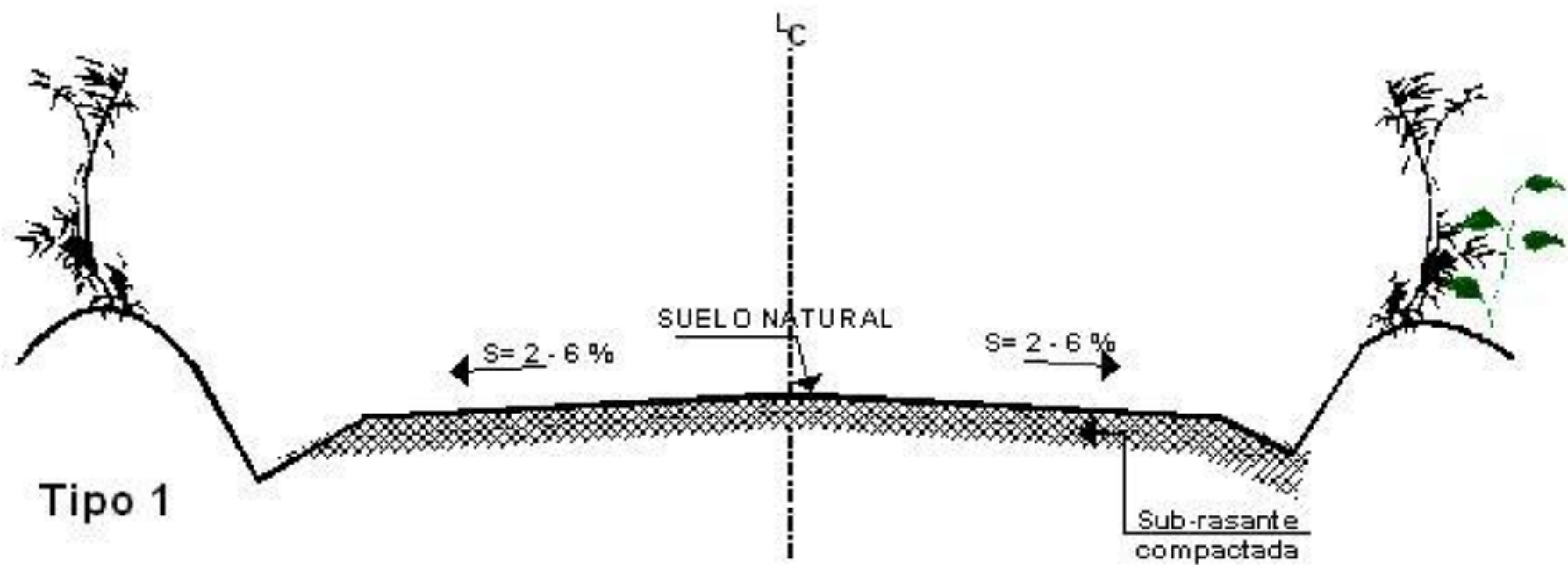


4.8 Rasante de un canal:

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El trazo de la rasante de fondo se debe efectuar sobre el perfil longitudinal.
- Se debe tener en cuenta los puntos de confluencia. Cuando se trata de un dren o los puntos de captación, cuando se trate de un canal de riego.
- La **pendiente de la rasante de fondo**, debe ser en lo posible **igual a la pendiente natural** promedio del terreno, si no es posible debido a fuertes pendientes, se proyectan caídas o saltos de agua.





Tipo 1

4.9 Velocidades admisibles

Es la mas baja velocidad que no iniciara sedimentación y no inducirá el crecimiento de plantas acuáticas y musgo, para diseñar un canal se debe tener en cuenta que la velocidad del flujo no debe descender de cierto limite inferior que la velocidad de deposición o sedimentación del material en suspensión que transporte el agua.

Material	Velocidad en m/s
Limo	0.15-0.30
Arena	0.20-0.60
Grava	0.60-1.20
Suelos Arcillosos	0.70-1.20
Arcilla	1.00 - 2.00
Rocas Sedimentarias	2.5-4.5
Rocas Cristalinas	20-25

	Resistencia en Kg/cm ²	Profundidad en metros				
		0.5	1	3	5	10
Hormigón	50	9.6	10.6	12.3	13	14
	75	11.2	12.4	14.3	15.2	16
	100	12.7	13.8	16	17	18
	150	14	15.6	18	19.1	21
	200	15.6	17.3	20	21.2	23



Velocidad de flujo m/s permisible sin erosión

TIPO DE MATERIAL	TIRANTE Y (m)		
	0.5	1.0	5.0
Roca (sedimentaria e ígnea)	1.7-6.3	2.1-7.7	3 - 11
Canal de madera	26 - 29	28 - 32	34-38
Revestimiento de concreto	9.6 -15.6	10.6-17.3	13 -21.2
Revestimiento/ mampostería de piedra	4.3 -7.4	5 - 8.7	6.7 -11.6

Velocidad de flujo m/s permisible sin erosión.

MATERIAL	Vn.e.
Canales arenosos	0.30
Arcilla arenosa	0.40
Materiales aglomerados consistentes	2.00
Muro de piedra	2.50
Canales en roca compacta	4.00
Canales de concreto	4.50

Valores admisibles de la tensión de corte y velocidad media de flujo

MATERIAL	Ks m ^{1/3} /s	Agua clara		Agua c/limo	
		v m/s	τ kg/m	v m/s	τ kg/m
Arena fina *	50	0.46	0.13	0.76	0.37
Greda arenosa **	50	0.53	0.18	0.76	0.37
Greda limosa **	50	0.61	0.23	0.91	0.54
Limo aluvial **	50	0.61	0.23	1.07	0.73
Greda común firme	50	0.76	0.37	1.07	0.73
Arcilla dura ***	40	1.14	1.27	1.52	2.24
Limo aluvial *	40	1.14	1.27	1.52	2.24
Grava fina	50	0.76	0.37	1.52	1.56

4.10 Filtración de canales

Factores que afectan la filtración de las aguas:

- La permeabilidad del suelo.
- El calado del agua en el canal (y).
- Temperatura
- Edad del canal.
- Caudal.



Caudal (m³/s)	Perdida en % del caudal por kilometro
0.03 - 0.1	6-12
0.1-0.2	12-9
0.2-0.3	9-6
0.5-1	4-6
1-1.5	4.5-3
1.5-2	3-2.5
2-3	2.5-1.8
3-10	1.1-0.6
10-20	0.6-0.5
20-50	0.5-0.2
50-100	0.2-0.15
100-200	0.15-0.05
200-300	0.05-0.02

4.10.1 Formulas para calcular la filtración en canales revestidos

- Formula de T. Ingham

$$P = 0.0025\sqrt{d} (b + 2md)$$

de donde:

P= perdidas m³/s.km

d:Calado en metros

b=ancho de la solera

m=tangente del ángulo del talud con la vertical

- Formula de Echeverry

$$P = 0.0064C_e \sqrt{d} (b + 1.33d(\sqrt{1 + m^2}))$$

De donde:

P= perdidas m³/s.km

Ce= coeficiente de permeabilidad

d:Calado en metros(y)

b=ancho de la solera

m=tangente del ángulo del talud con la vertical.

Clase de suelo	Ce
Arcillosos	0.25-0.50
Franco Arcillosos	0.50-0.75
Limosos Francos	0.75-1.00
Franco Arenosos	1.00 -1.50
Arenas finas	1.50-1.75
Arenas gruesas	2.00-2.50
Gravas	2.50-6.00

- Formula de Pavlovski.

$$P = 1000k [b + 2d(1 + m)]$$

De donde:

k= Coeficiente de permeabilidad en m/s.

- Formula de Davis y Wilson.

$$P = \frac{C_d d^{\frac{1}{3}} (b + 2d\sqrt{1 + m^2})}{8861 + 8\sqrt{v}}$$

De donde:

v = Velocidad del agua (m/s)

C_d = coeficiente de permeabilidad

Material	C_d
Hormigón de 10 cm de espesor	1
Arcilla de 15 cm. De espesor	4
Enlucido de cemento de 2.5 cm	6
Suelo arcilloso	12
Suelo franco- Arcilloso	15
Suelo franco	20
Suelo Franco -Arenoso	25
Arcilla Limosa	30
Arena	40-70

- Formula de Punjab.

$$P = c_p Q^{0.563}$$

De donde:

Q= Caudal (m³/s)

Clase de suelo	Cp
Suelos muy permeables	0.03
Suelos comunes	0.02
Suelos impermeables	0.01

- Formula de Kostiakov.

$$P = 1000k(b + 2.4d\sqrt{1 + m^2})$$

De donde:

La variación de los suelos de permeabilidad para distintos suelos según tabla adjunta.

Clase de suelo	K en cm/s
Grava	0.01-0.1
Arena Gruesa	0.1-0.001
Arena Fina	0.01-0.0001
Tierra arenosa	0.001-0.00001
Tierra Franco-Arcillosa	0.00001-0.000000001
Tierra Franca	0.0001-0.0000001
Limo	0.0001-0.00001
Arcilla	0.000001-0.00000001
Arcilla Compacta	0.0000001-0.0000000001

- Formula de E.A. Motitz:

$$P = 0.0375c_m A^{0.5}$$

De donde:

Siendo A, la superficie y Cm un coeficiente que depende del material en el que esta excavado el canal. tiene los siguientes valores

Clase de suelo	Cm
Franco Arcilloso	0.08-0.3
Franco Arenoso	0.3-0.45
Arenas Sucias	0.45-0.55
Arenas y gravas	0.55-0.75

- Formula de V V Vedernikov.

$$P = KCv(b + 2d\sqrt{1 + m^2})$$

Siendo C_v , es un coeficiente que depende de características geométricas del canal, tales como relación entre ancho y calado e inclinación de taludes, varia entre los valores **1.0 - 1.4**

4.11 Perdidas en canales revestidos

Según Davis, todo canal debe estar revestido cuando las perdidas por filtración exceden **0.00053 cm/s**.

De acuerdo a Hinds, el revestimiento de 3 pulg, hecho en hormigón, de buena calidad debe reducir las perdidas a **0.000000141 cm/s**.

Según Uginchus, las perdidas de en un canal revestido se pueden obtener multiplicando por un factor las perdidas que se producen en el mismo canal revestido.

Para el caso de un canal revestido de hormigón de 7.5 cm, se ha encontrado que el coeficiente es igual a 0.13 o sea que las perdidas se reducen a una octava parte.
O empleando la formula:

$$P = K \frac{d}{t} (b + d(\sqrt{1 + m^2}))$$

De donde :

t:espesor del revestimiento

K: permeabilidad del revestimiento de hormigón que varia de 0.00001 – 0.0000001 cm/s.



4.12 Perdidas en un terreno

Medición del terreno:

- Midiendo los **caudales que entran y salen** en el tramo de canal para obtener perdidas por diferencia.
- **Aislando un tramo del canal** por medio de un relleno de tierra al principio y al final del tramo y observando la rapidez con que se pierde el agua.
- Por **medio de permeámetros** que generalmente consisten en tubos verticales enterrados en la solera del canal (Teoría de infiltración).



4.13 Criterios de diseño de canales de fuerte pendiente:

a. Calculo del caudal y tirante: Para calcular el caudal y el tirante, previamente debe calcularse al **caudal adicional de la mezcla de agua-aire** y adecuar el tirante de la sección a estas condiciones; para calcular la incorporación de aire en canales de fuerte pendiente se emplea la formula de Douma siguiente:

$$C = \frac{1}{10} \sqrt{0.2F - 1}$$

De donde :

C = Concentración de aire

F = Número de Froude

El tirante modificado por la entrada de aire, se expresa como:

$$C = \frac{1}{1 - C} [1 - 1.3(C - 0.25)^2]$$

Considerar valores de C entre:

$$0.25 > C < 0.75$$

El gasto de la mezcla agua-aire se puede calcular como:

$$Q_s = \frac{0.5\sigma v^3 \cdot \sqrt{2\pi}}{2g}$$

De donde:

Q_s = Gasto máximo de la mezcla

σ = 0.003 para paredes lisas

σ = 0.0035 para paredes rugosas

v = valor máximo de la velocidad m/s.

También se debe cumplir que:

$v/u = 1.1$ para paredes lisas

$v/u = 1.3$ para paredes rugosas

Siendo u = la velocidad media

b. Cantidad de aire para evitar depresiones: La aspiración de aire depende del arrastre que la superficie de agua fuertemente agitada ejerza por efecto de la pendiente sobre el aire que se encuentra encima del flujo del agua.

$$\frac{v_w - v}{\sqrt{t/\rho}} = 2.5 \log_b \frac{Y}{k} + 8.5$$

De donde:

v = velocidad a una distancia de la pared y

v_w = Velocidad del aire

t = coeficiente de viscosidad dinámica

k = rugosidad vertical de la superficie en contacto con el aire

ρ = masa específica.

Para obtener la demanda de aire en una galería se establece que:

Siendo:

$$Q_a = K \cdot v_w \cdot A_g$$

$$Q_a = \frac{0.294}{0.294 \log_e \left(\frac{Y_a}{k} + 1 \right)} \left(\frac{Y_a}{k} - \log_e \left(\frac{Y_a}{k} - 1 \right) \right)$$

Donde:

v_w = velocidad del aire

Y_a = la distancia entre la superficie del agua y el techo del conducto.

c. Trenes de ondas en los canales de fuerte pendiente: Fedorov ha logrado determinar a base de experimentos que la relación **tirante/radio medio hidráulico**, puede evidenciar la posibilidad de formación de trenes de onda cuando:

$y/R > 1.4$, no *hay posibilidad de producción* de trenes de onda

$y/R < 1.4$ la superficie de agua **puede tener o no tener trenes de onda.**

y : Tirante

Numero de Vedernikov:

De donde:

$$V_a = \frac{2 * b * v}{3 * p \sqrt{g * y * \cos \theta}}$$

V = numero de Vedernikov

b = ancho del fondo

P = perímetro mojado

v = velocidad

y = tirante medio

g = aceleración de la gravedad

θ = ángulo de inclinación de la línea gradiente



AM 9:40 7/MAR/2014

Numero de Montuori:

$$M^2 = \frac{v^2}{g \cdot s \cdot L \cdot \cos \theta}$$

De donde:

M = numero de Montuori

s = pendiente media de la línea gradiente

L = longitud del tramo por considerar

Para que se **produzcan trenes de onda**, el numero de **Vedernicov** debe ser **menor que 1**. Mientras el valor mínimo del numero de **Montuori debe ser como mínimo 0.2**.

El numero de Vedernicov, confirma la formación de trenes de onda **para valores $V > 1$** , debido al crecimiento de ondas pequeñísimas, que se generan en la misma corriente.

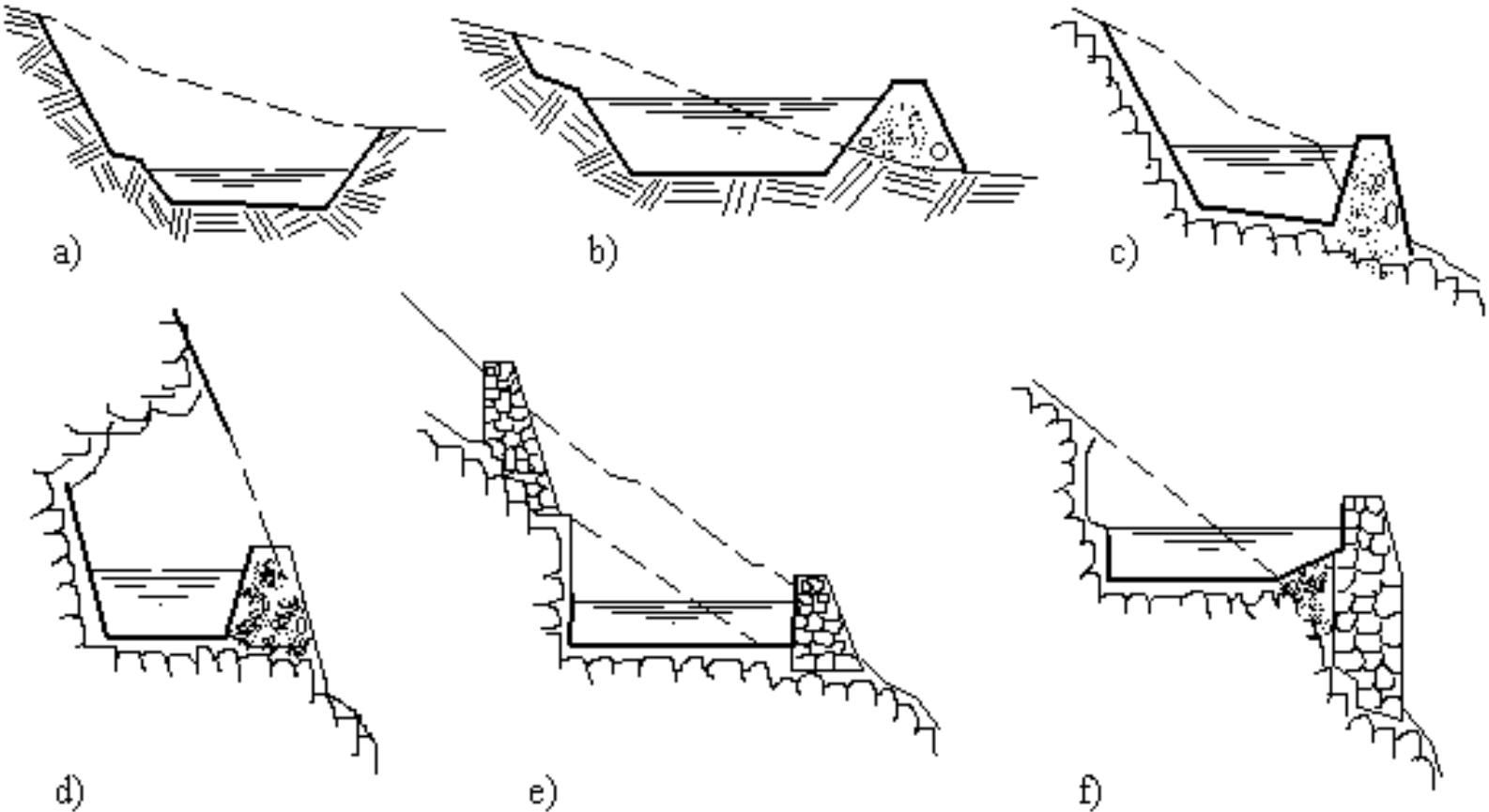


d. Rápidas con rugosidad intensificada :

Se utiliza para la **creación de regímenes mas estables y mas deseables**, cuando la **velocidad del agua puede destruir los revestimientos o la formación de trenes de onda**. Se coloca en el cauce o en la trayectoria de la rápida **filas de bloques o umbrales transversales** , en zigzag, o en forma dispersa, su objeto es **aumentar la rugosidad del cauce para disminuir la velocidad del flujo**.



Secciones de los canales en terrenos empinados





**Vista a la Rápida “la Mora” – lateral la mora –
Junta de usuarios Irchim**



4.14 Revestimiento en canales

a) Finalidad y Justificación:

Los revestimientos deben satisfacer los siguientes requerimientos:

- Crear una barrera impermeable al paso del agua disminuyendo las pérdidas de esta y permitiendo extender el beneficio del riego a una mayor superficie cultivable.
- Proteger las tierras colindantes de los daños que en ellas causa la filtración eliminando con esto la necesidad de costosas obras de drenaje.
- Proteger el canal contra la erosión permitiendo una mayor velocidad.



- Reducir el coeficiente de rugosidad permitiendo el aumento de velocidad.
- Evitar el ablandamiento de las tierras con la humedad y proteger así los taludes contra el derrumbamiento.
- Evitar el crecimiento de plantas acuáticas y también los huecos hechos por los animales.
- Como consecuencia de los numerales anteriores reducen considerablemente **los costos de mantenimiento**



Por lo tanto, las características de un buen mantenimiento deben ser las siguientes:

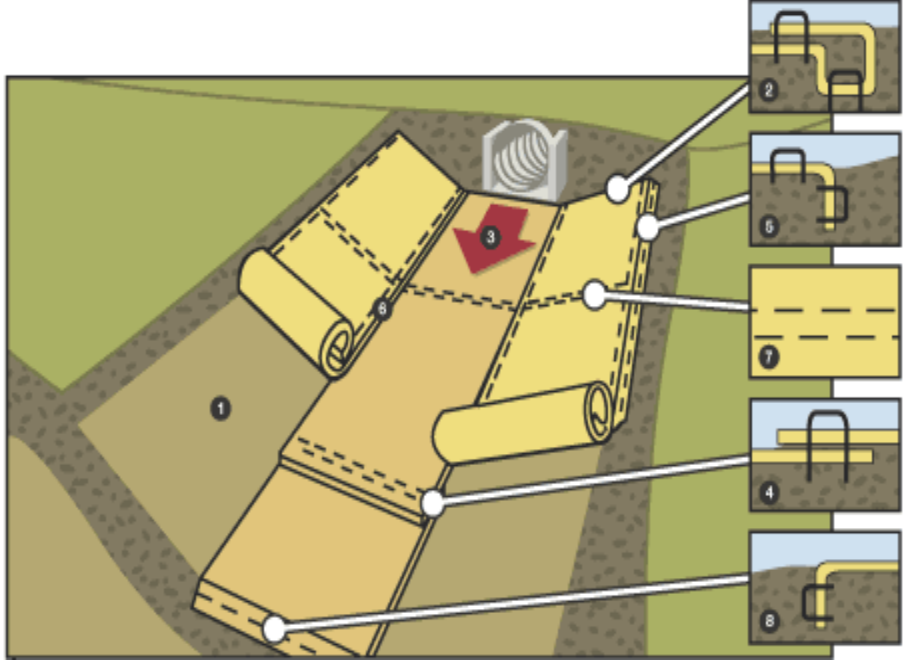
- Ser impermeable.
- Ser resistente a la erosión.
- Ser de bajo costo en cuanto a la construcción como al mantenimiento.
- Ser durable ante la acción de agentes atmosféricos, plantas, y animales.



b) Tipos de revestimiento:

- a) Mezclas con cemento: fundidas en el sitio prefabricadas.
 - Revestimiento de hormigón
 - Revestimiento de mortero
 - Revestimiento de mampostería
 - Revestimiento de ladrillo
 - Revestimiento de terrocemento
- b) Mezclas asfálticas.
 - Membrana enterrada.
 - Concreto asfáltico.
- c) Materiales térreos: azolve artificial.
- d) Tratamiento químicos del terreno.







4.15 Criterio de diseño de canales secundarios.

Para el calculo de la capacidad de los canales secundarios, en función de la superficie regada, puesto que son los tantos y variados los factores que afectan dicha capacidad(**según A Rocha**).

En la planeación de algunos proyectos de riego se siguen los criterio siguientes:

- **Una toma simple** debe tener una capacidad de 150 l/seg, para regar una superficie mínima de 25 has.
- **Una toma doble** de 300 l/seg, de capacidad de 50 has.



- a. Localización de los laterales :** Debe efectuarse de tal manera que se domine toda la superficie regada, procurando que las tomas granja estén por lo menos 30 cms mas altas que el terreno a regar.

La localización podrá ser:

- Según la topografía
- Según la cuadrícula
- Respetando linderos
- Localización combinada



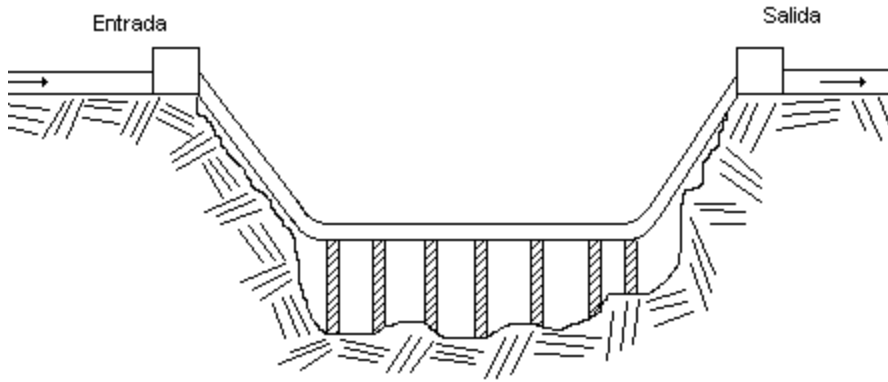
b. Capacidades recomendadas de los canales laterales: Esta aumenta en los tramos finales, pues la capacidad debe permitir la concentración del riego en las parcelas, en especialmente en el caso de los riegos pesados o remojos.(ver cuadro adjunto).

CAPACIDAD RECOMENDADA DE CANALES LATERALES

AREA POR SERVIR HAS	CONCENTRACION lts/seg/ha	CAPACIDAD TEORICA l/s	CAPACIDAD PRACTICA l/s
10	15	150	200
50	5	250	300
100	4	400	500
200	3,25	650	750
300	2,65	800	1000
400	2,4	960	1000
500	2,2	1100	1250
600	2,08	1250	1250
700	1,96	1370	1500
800	1,84	1470	1500
900	1,74	1570	1750
1000	1,67	1670	1750
2000	1,2	2400	2500
3000	1,1	3300	3500
4000	1,07	4280	4500
5000	1,04	5200	5500



Obras complementarias



Sifón



Acueducto



----- Talud del canal de entrada

Transiciones





DIRECTO ESPECIAL, SANGRE
DE CONTROL, BIENVENIDOS

FIN DEL TEMA