

Diseño de Canales

1. Generalidades
2. Canales de riego por su función
3. Elementos básicos en el diseño de canales
4. Sección Hidráulica Optima
5. Diseño de secciones hidráulicas

1. Generalidades.-

En un **proyecto** de irrigación la parte que comprende el **diseño** de los canales y obras de **arte**, si bien es cierto que son de vital importancia en el **costo** de la obra, no es lo más importante puesto que el caudal, factor clave en el diseño y el más importante en un proyecto de riego, es un parámetro que se obtiene sobre la base del tipo de **suelo**, cultivo, condiciones climáticas, **métodos** de riego, etc., es decir mediante la conjunción de la relación **agua** – suelo – planta y la hidrología, de manera que cuando se trata de una **planificación** de canales, el diseñador tendrá una visión mas amplia y será mas eficiente, motivo por lo cual el ingeniero agrícola destaca y predomina en un proyecto de irrigación.

2. Canales de riego por su **función**.-

Los canales de riego por sus diferentes **funciones** adoptan las siguientes denominaciones:

- Canal de primer orden.- Llamado también canal madre o de derivación y se le traza siempre con pendiente mínima, normalmente es usado por un solo lado ya que por el otro lado da con terrenos altos.
- Canal de segundo orden.- Llamados también laterales, son aquellos que salen del canal madre y el caudal que ingresa a ellos, es repartido hacia los sub – laterales, el área de riego que sirve un lateral se conoce como unidad de riego.
- Canal de tercer orden.- Llamados también sub – laterales y nacen de los canales laterales, el caudal que ingresa a ellos es repartido hacia las propiedades individuales a través de las tomas

del solar, el área de riego que sirve un sub – lateral se conoce como unidad de rotación.

De lo anterior se deduce que varias unidades de rotación constituyen una unidad de riego, y varias unidades de riego constituyen un **sistema** de riego, este sistema adopta el nombre o **codificación** del canal madre o de primer orden.

1. **Elementos básicos en el diseño de canales.-**

Se consideran algunos elementos topográficos, secciones, velocidades permisibles, entre otros:

- Trazo de canales.- Cuando se trata de trazar un canal o un sistema de canales es necesario recolectar la siguiente **información** básica:
- Fotografías aéreas, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de **comunicación**, etc.
- Planos topográficos y catastrales.
- Estudios geológicos, salinidad, **suelos** y demás información que pueda conjugarse en el trazo de canales.

Una vez obtenido los **datos** precisos, se procede a trabajar en gabinete dando un trazo preliminar, el cual se replantea en campo, donde se hacen los ajustes necesarios, obteniéndose finalmente el trazo definitivo.

En el caso de no existir información topográfica básica se procede a levantar el **relieve** del canal, procediendo con los siguientes pasos:

- a. Reconocimiento del terreno.- Se recorre la zona, anotándose todos los detalles que influyen en la determinación de un eje probable de trazo, determinándose el punto inicial y el punto final.
- b. Trazo preliminar.- Se procede a levantar la zona con una brigada topográfica, clavando en el terreno las estacas de la poligonal preliminar y luego el levantamiento con teodolito, posteriormente a este levantamiento se nivelará la poligonal y se hará el levantamiento de secciones transversales, estas secciones se harán de acuerdo a criterio, si es un terreno con una alta distorsión de relieve, la sección se hace a cada 5 m, si el terreno

no **muestra** muchas variaciones y es uniforme la sección es máximo a cada 20 m.

- c. Trazo definitivo.- Con los datos de (b) se procede al trazo definitivo, teniendo en cuenta la **escala** del plano, la cual depende básicamente de la **topografía** de la zona y de la precisión que se desea:
- Terrenos con pendiente transversal mayor a 25%, se recomienda escala de 1:500.
 - Terrenos con pendiente transversal menor a 25%, se recomienda escalas de 1:1000 a 1:2000.
 - Radios mínimos en canales.- En el diseño de canales, el **cambio** brusco de **dirección** se sustituye por una curva cuyo **radio** no debe ser muy grande, y debe escogerse un radio mínimo, dado que al trazar curvas con radios mayores al mínimo no significa ningún **ahorro** de energía, es decir la curva no será hidráulicamente más eficiente, en cambio sí será más costoso al darle una mayor longitud o mayor **desarrollo**.

Las siguientes tablas indican radios mínimos según el autor o la fuente:

Tabla DCo1. Radio mínimo en canales abiertos para $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$

<u>Capacidad del canal</u>	<u>Radio mínimo</u>
Hasta 10 m ³ /s	3 * ancho de la base
De 10 a 14 m ³ /s	4 * ancho de la base
De 14 a 17 m ³ /s	5 * ancho de la base
De 17 a 20 m ³ /s	6 * ancho de la base
De 20 m ³ /s a mayor	7 * ancho de la base
Los radios mínimos deben ser redondeados hasta el próximo metro superior	

Fuente: "International Institute For Land Reclamation And Improvement" ILRI, **Principios** y Aplicaciones del Drenaje, Tomo IV, Wageningen The Netherlands 1978.

Tabla DCo2. Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua

<u>CANALES DE RIEGO</u>		<u>CANALES DE DRENAJE</u>	
<i>Tipo</i>	<i>Radio</i>	<i>Tipo</i>	<i>Radio</i>
Sub – canal	4T	Colector principal	5T
Lateral	3T	Colector	5T
Sub – lateral	3T	Sub – colector	5T

Siendo T el ancho superior del espejo de agua

Fuente: Salzgitter Consult GMBH "Planificación de Canales, Zona Piloto Ferreñafe" Tomo II/ 1- Proyecto Tinajones – Chiclayo 1984.

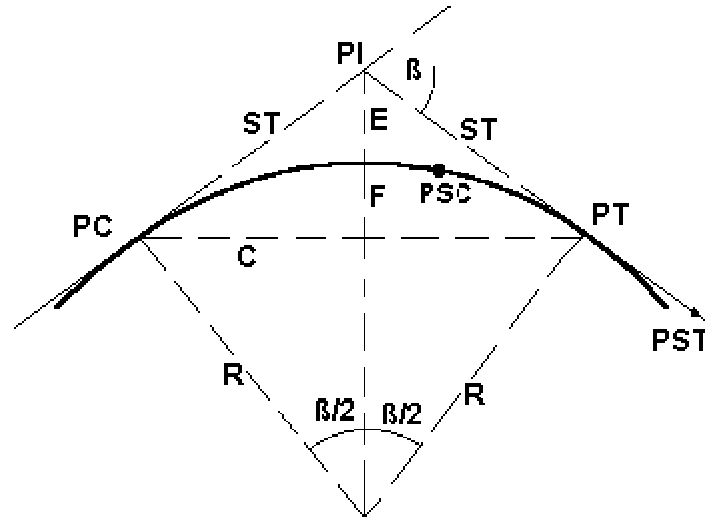
Tabla DCo3. Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$

<u>Capacidad del canal</u>	<u>Radio mínimo</u>
20 m^3/s	100 m
15 m^3/s	80 m
10 m^3/s	60 m
5 m^3/s	20 m
1 m^3/s	10 m
0,5 m^3/s	5 m

Fuente: Ministerio de **Agricultura y Alimentación**, Boletín Técnico N- 7 "Consideraciones Generales sobre Canales Trapezoidales" Lima 1978.

Sobre la base de estas tablas se puede seleccionar el radio mínimo que más se ajuste a nuestro criterio.

- Elementos de una curva.-



A	=	Arco, es la longitud de curva medida en cuerdas de 20 m
C	=	Cuerda larga, es la cuerda que sub – tiende la curva desde PC hasta PT.
β	=	Angulo de deflexión, formado en el PI.
E	=	External, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz.
F	=	Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga.
G	=	Grado, es el ángulo central.
LC	=	Longitud de curva que une PC con PT.
PC	=	Principio de una curva.
PI	=	Punto de inflexión.
PT	=	Punto de tangente.
PSC	=	Punto sobre curva.
PST	=	Punto sobre tangente.
R	=	Radio de la curva.
ST	=	Sub tangente, distancia del PC al PI.

- Rasante de un canal.- Una vez definido el trazo del canal, se proceden a dibujar el perfil longitudinal de dicho trazo, las escalas más usuales son de 1:1000 o 1:2000 para el sentido horizontal y 1:100 o 1:200 para el sentido vertical, normalmente la relación entre

la escala horizontal y vertical es de 1 a 10, el **dibujo** del perfil es recomendable hacerlo sobre papel milimetrado transparente **color verde** por ser más práctico que el canson y además el color verde permite que se noten las líneas milimétricas en las copias ozalid.

Para el diseño de la rasante se debe tener en cuenta:

- La rasante se debe efectuar sobre la base de una copia ozalid del perfil longitudinal del trazo, no se debe trabajar sobre un borrador de él hecho a lápiz y nunca sobre el original.
- Tener en cuenta los puntos de captación cuando se trate de un canal de riego y los puntos de confluencia si es un dren.
- La pendiente de la rasante de fondo, debe ser en lo posible igual a la pendiente natural promedio del terreno, cuando esta no es posible debido a fuertes pendientes, se proyectan caídas o saltos de agua.
- Para definir la rasante del fondo se prueba con diferentes cajas hidráulicas, chequeando siempre si la **velocidad** obtenida es soportada por el tipo de material donde se construirá el canal.
- El plano final del perfil longitudinal de un canal, debe presentar como mínimo la siguiente información.
 - Kilometraje
 - Cota de terreno
 - Cota de rasante
 - Pendiente
 - Indicación de las deflexiones del trazo con los elementos de curva
 - Ubicación de las obras de arte
 - Sección o secciones hidráulicas del canal, indicando su kilometraje
 - Tipo de suelo

Para ver el gráfico seleccione la opción "Descargar" del menú superior

Sección típica de un canal

Para ver el gráfico seleccione la opción "Descargar" del menú superior

Donde:

T = Ancho superior del canal

b = Plantilla

z = Valor horizontal de la inclinación del talud

C = Berma del camino, puede ser: 0,5; 0,75; 1,00 m., según el canal sea de tercer, segundo o primer orden respectivamente.

V = Ancho del camino de vigilancia, puede ser: 3; 4 y 6 m., según el canal sea de tercer, segundo o primer orden respectivamente.

H = Altura de caja o profundidad de rasante del canal.

En algunos casos el camino de vigilancia puede ir en ambos márgenes, según las necesidades del canal, igualmente la capa de rodadura de 0,10 m. a veces no será necesaria, dependiendo de la intensidad del tráfico.

1. Sección Hidráulica Óptima

Determinación de Máxima Eficiencia Hidráulica.

$$\frac{b}{y} = 2 * \operatorname{tg} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

Se dice que un canal es de máxima eficiencia hidráulica cuando para la misma área y pendiente conduce el mayor caudal, ésta condición está referida a un perímetro húmedo mínimo, la ecuación que determina la sección de máxima eficiencia hidráulica es:

siendo θ el ángulo que forma el talud con la horizontal, $\arctan(1/z)$

Determinación de Mínima Infiltración.

Se aplica cuando se quiere obtener la menor pérdida posible de agua por infiltración en canales de tierra, esta condición depende del tipo de suelo y del tirante del canal, la ecuación que determina la mínima infiltración es:

La siguiente tabla presenta estas condiciones, además del promedio el cual se recomienda.

$$\frac{b}{y} = 4 * \operatorname{tg} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

Tabla DCo4. Relación plantilla vs. tirante para, máxima eficiencia, mínima infiltración y el promedio de ambas.

<u>Talud</u>	<u>Angulo</u>	<u>Máxima Eficiencia</u>	<u>Mínima Infiltración</u>	<u>Promedio</u>
Vertical	90°00´	2.0000	4.0000	3.0000
1 / 4 : 1	75°58´	1.5616	3.1231	2.3423
1 / 2 : 1	63°26´	1.2361	2.4721	1.8541
4 / 7 : 1	60°15´	1.1606	2.3213	1.7410
3 / 4 : 1	53°08´	1.0000	2.0000	1.5000
1:1	45°00´	0.8284	1.6569	1.2426
1 ¼ : 1	38°40´	0.7016	1.4031	1.0523
1 ½ : 1	33°41´	0.6056	1.2111	0.9083
2 : 1	26°34´	0.4721	0.9443	0.7082
3 : 1	18°26´	0.3246	0.6491	0.4868

De todas las secciones trapezoidales, la más eficiente es aquella donde el ángulo a que forma el talud con la horizontal es 60°, además para cualquier sección de máxima eficiencia debe cumplirse: $R = y/2$

donde: R = Radio hidráulico

y = Tirante del canal

No siempre se puede diseñar de acuerdo a las condiciones mencionadas, al final se imponen una serie de circunstancias locales que imponen un diseño propio para cada situación.

2. **Diseño de secciones hidráulicas.-**

Se debe tener en cuenta ciertos factores, tales como: tipo de material del cuerpo del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, etc.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

La ecuación más utilizada es la de Manning o Strickler, y su expresión es:

donde:

Q = Caudal (m³/s)

n = Rugosidad

A = Area (m²)

R = Radio hidráulico = Area de la sección húmeda / Perímetro húmedo

En la tabla DCo6, se muestran las secciones más utilizadas.

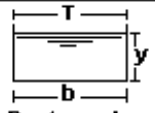

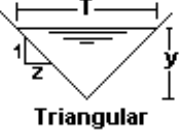
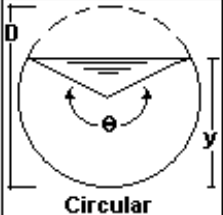
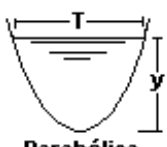
- Criterios de diseño.- Se tienen diferentes factores que se consideran en el diseño de canales, aunque el diseño final se hará considerando las diferentes posibilidades y el resultado será siempre una solución de compromiso, porque nunca se podrán eliminar todos los **riesgos** y desventajas, únicamente se asegurarán que la influencia negativa sea la mayor posible y que la solución técnica propuesta no sea inconveniente debido a los altos **costos**.
 - a. Rugosidad.- Esta depende del cauce y el talud, dado a las paredes laterales del mismo, **vegetación**, irregularidad y trazado del canal, radio hidráulico y obstrucciones en el canal, generalmente cuando se diseñan canales en tierra se supone que el canal está recientemente abierto, limpio y con un trazado uniforme, sin embargo el valor de rugosidad inicialmente asumido difícilmente se conservará con el **tiempo**, lo que quiere decir que en la práctica constantemente se hará frente a un continuo cambio de la rugosidad. La siguiente tabla nos da **valores** de "n" estimados, estos valores pueden ser refutados con **investigaciones** y **manuales**, sin embargo no dejan de ser una referencia para el diseño:

Tabla DCo5. Valores de rugosidad "n" de Manning

<u>n</u>	<u>Superficie</u>
0.010	Muy lisa, vidrio , plástico , cobre .

0.011	Concreto muy liso.
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado.
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones.
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación.
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación.
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras.

Tabla DCo6. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 <p>Rectangular</p>	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 <p>Trapezoidal</p>	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 <p>Triangular</p>	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 <p>Circular</p>	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 <p>Parabólica</p>	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

- b. Talud apropiado según el tipo de material.- La inclinación de las paredes laterales de un canal, depende de varios factores pero en especial de la **clase** de terreno donde están alojados, la U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomienda un talud único de

1,5:1 para sus canales, a continuación se presenta un cuadro de taludes apropiados para distintos tipos de material:

Tabla DCo7. Taludes apropiados para distintos tipos de material

<u>MATERIAL</u>	<u>TALUD</u> (horizontal : vertical)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0.25 : 1
Arcilla compacta o tierra con recubrimiento de concreto	0.5 : 1 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1.5 : 1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcilla porosa	3:1

Fuente: Aguirre Pe, Julián, "Hidráulica de canales", Dentro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras – CIDIAT, Merida, [Venezuela](#), 1974

Tabla DCo8. Pendientes laterales en canales según tipo de suelo

<u>MATERIAL</u>	<u>CANALES POCO PROFUNDOS</u>	<u>CANALES PROFUNDOS</u>
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25 : 1
Arcillas compactas o conglomerados	0.5 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1.5 : 1
Limos arenosos	1.5 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1
Concreto	1 : 1	1.5 : 1

Fuente: Aguirre Pe, Julián, "Hidráulica de canales", Dentro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras – CIDIAT, Merida, [Venezuela](#), 1974

- c. Velocidades máxima y mínima permisible.- La velocidad mínima permisible es aquella velocidad que no permite sedimentación, este valor es muy variable y no puede ser determinado con exactitud, cuando el agua fluye sin limo este valor carece de importancia, pero la baja velocidad favorece el crecimiento de las plantas, en canales de tierra, da el valor de 0.762 m/seg. Como la velocidad apropiada que no permite sedimentación y además impide el crecimiento de plantas en el canal.

La velocidad máxima permisible, algo bastante complejo y generalmente se estima empleando la experiencia local o el juicio del ingeniero; las siguientes tablas nos dan valores sugeridos.

Tabla DCo9. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación

<u>MATERIAL DE LA CAJA DEL CANAL</u>	<u>"n"</u> Manning	<u>Velocidad (m/s)</u>		
		<i>Agua limpia</i>	<i>Agua con partículas coloidales</i>	<i>Agua transportando arena, grava o fragmentos</i>
Arena fina coloidal	0.020	1.45	0.75	0.45
Franco arenoso no coloidal	0.020	0.53	0.75	0.60
Franco limoso no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.60
Limos aluviales no coloidales	0.020	0.60	1.05	0.60
Franco consistente normal	0.020	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.60
Arcilla consistente muy coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial	0.025	1.13	1.50	0.90

coloidal				
Pizarra y capas duras	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco clasificado coloidal	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978

Para velocidades máximas, en general, los canales viejos soportan mayores velocidades que los nuevos; además un canal profundo conducirá el agua a mayores velocidades sin **erosión**, que otros menos profundos.

Tabla DC10. Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.

<u>RESISTENCIA,</u> en kg/c <u>m²</u>	<u>PROFUNDIDAD DEL TIRANTE EN METROS</u>				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13.0	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3
150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978

Esta tabla DC10, da valores de velocidad admisibles altos, sin embargo la U.S. BUREAU OF RECLAMATION, recomienda que para el caso de revestimiento de canales de hormigón no armado, las velocidades no deben exceder de 2.5 m/seg. Para evitar la posibilidad de que el revestimiento se levante.

- d. Borde libre.- Es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua, no existe ninguna regla fija que se pueda aceptar universalmente para el calculo del borde libre, debido a que las fluctuaciones de la superficie del agua en un canal, se puede originar por causas incontrolables.

$$\text{Borde Libre} = \sqrt{CY}$$

La U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomienda estimar el borde libre con la siguiente formula:

donde: Borde libre: en pies.

C = 1.5 para caudales menores a 20 pies³ / seg., y hasta 2.5 para caudales del orden de los 3000 pies³/seg.

Y = Tirante del canal en pies

La secretaría de Recursos Hidráulicos de México, recomienda los siguientes valores en función del caudal:

Tabla DC11. Borde libre en función del caudal

<u>Caudal m3/seg</u>	<u>Revestido (cm)</u>	<u>Sin revestir (cm)</u>
≤ 0.05	7.5	10.0
0.05 – 0.25	10.00	20.0
0.25 – 0.50	20.0	40.0
0.50 – 1.00	25.0	50.0
> 1.00	30.0	60.0

Fuente: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Boletín Técnico N- 7 "Consideraciones Generales sobre Canales Trapezoidales" Lima 1978

Máximo Villón Béjar, sugiere valores en función de la plantilla del canal:

Tabla DC12. Borde libre en función de la plantilla del canal

<u>Ancho de la plantilla (m)</u>	<u>Borde libre (m)</u>
Hasta 0.8	0.4
0.8 – 1.5	0.5
1.5 – 3.0	0.6
3.0 – 20.0	1.0

Fuente: Villón Béjar, Máximo; "Hidráulica de canales", Depto. De **Ingeniería** Agrícola – Instituto Tecnológico de **Costa Rica**, Editorial Hozlo, Lima, 1981

Harvey Condori Luque

Ingeniero Agrícola

Especialista en Manejo de **Recursos Naturales**

macroplexx@aroba.yahoo.es

Perú - Puno – diciembre de 2004