

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

Consideraciones mínimas para el diseño hidráulico de proyectos de  
infraestructura menor en canales abiertos

Por:

Eliás Marcos Gutierrez Huaman

Asesor:

Reymundo Jaulis Palomino

Lima, Julio 2020

## DECLARACION JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACION

Reymundo Jaulis Palomino, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "CONSIDERACIONES MÍNIMAS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA MENOR EN CANALES ABIERTOS" constituye la memoria que presenta el estudiante Elias Marcos Gutierrez Huaman para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en LIMA, a los 14, julio del 2020.



Reymundo Jaulis Palomino

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Naña, Villa Unión, a.....los.....09.....día(s) del mes de.....julio.....del año 2020.... siendo las.....18:00.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): .....Mg. Leonel Chahuares Paucar....., el (la) secretario(a): ..... Ing. Ferrer Canaza Rojas..... y los demás miembros: ..... Mg. Joel Chavari Becerra.....y el (la) asesor(a) Ing. Reymundo Jaulis Palomino.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Consideraciones mínimas para el diseño hidráulico de proyectos de infraestructura menor en canales abiertos".

.....de los (las) egresados (as): a).....**ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN**.....

.....b).....

..... conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

#### INGENIERÍA CIVIL

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): ..... **ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>16</b>	<b>B</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy Bueno</b>


Candidato/a (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó... al... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Leonel Chahuares  
Paucar

  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Ferrer Canaza  
Rojas

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Reymundo Jaulis  
Palomino

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Joel Chavari  
Becerra

\_\_\_\_\_  
Candidato  
Elias Marcos Gutierrez  
Huaman

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# Consideraciones mínimas para el diseño hidráulico de proyectos de infraestructura menor en canales abiertos

## MINIMUM CONSIDERATIONS FOR THE HYDRAULIC DESIGN OF MINOR INFRASTRUCTURE PROJECTS IN OPEN CHANNELS

ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN\*

*EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.*

---

### RESUMEN

Para el presente artículo, se analizó diversas fuentes enfocadas a los diseños hidráulicos de canales abiertos. Compilando las consideraciones mínimas adoptadas en proyectos de infraestructura menor como lo son los canales abierto, lo cual será la base para iniciar el diseño hidráulico; partiendo desde la clasificación del canal abierto, las consideraciones básicas para definir: mi sección hidráulica óptima de canal, así como sus elementos geométricos, pendiente, velocidad, rugosidad, borde libre y tipo de flujo que transportará el canal mediante el número de Froude. Asimismo, se elaboró un ejemplo aplicativo con su procedimiento, donde se logró cumplir tanto las consideraciones mínimas establecidas en el artículo para el transporte del recurso hídrico vital, el agua.

***Palabras clave:** Canal abierto, consideraciones mínimas, diseño hidráulico, sección hidráulica y compilar.*

---

### ABSTRACT

For this article, we analyze various sources focused on open channel hydraulic designs. Compiling the minimum difficulties that are required in minor infrastructure projects such as open channels, which will be the basis for starting the hydraulic design; Starting from the classification of the open channel, the basic classifications to define: my optimal hydraulic section of the channel, as well as its geometric elements, slope, speed, roughness, free edge and type of flow that the channel carries by means of the Froude number. Likewise, an example of application was elaborated with its procedure, where the minimum criticisms established in the article for the transport of the vital water resource, water, can be fulfilled.

***Keywords:** Open channel, minimum considerations, hydraulic design, hydraulic section and compile.*

## **INTRODUCCIÓN**

El presente documento, muestra aquellas consideraciones mínimas que se deben tomar en cuenta para el diseño hidráulico de proyectos de infraestructura menor, enfocado netamente a canales abiertos.

Por ello partiendo desde la función que cumple un canal abierto se aprecia que, según Prieto (2008), la función principal de un canal abierto es transportar agua desde el lugar donde se encuentra al lugar donde se necesita mediante la gravedad. Este concepto concuerda con diversas definiciones sobre un canal abierto, por ello Ramirez (2007), afirma que: “un canal abierto es un conducto por el que se desliza un líquido mediante una fuerza de gravedad ejercida sobre la masa del líquido o fluido”.

En vista de que un canal abierto cumple una función tan importante como es trasladar una sustancia vital para todo ser vivo, Marín Córdoba, Menjívar Leonardo, & Zavaleta Linares (2012), explican de que si bien el hombre puede ir hasta donde se encuentra una fuente de agua, las plantas y sembríos son limitados por su naturaleza, por ello es de suma importancia el lograr trasladar el agua desde su fuente hasta los cultivos. Por lo cual el método más utilizado por el entorno agrícola para el transporte del agua, son los canales abiertos.

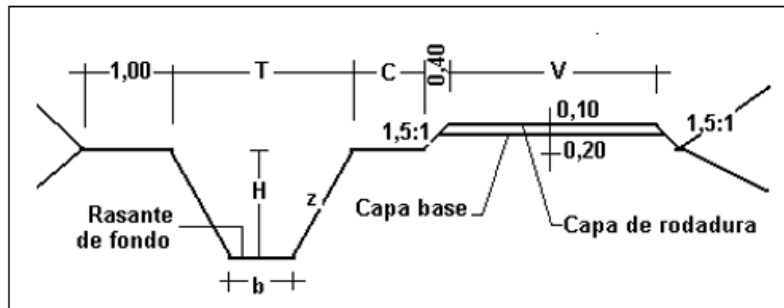
Finalmente, se dará un aporte de consideraciones básicas en cuanto al diseño hidráulico mediante un ejemplo aplicativo de diseño hidráulico de un canal, todo ello deberá cumplir con las normas ya establecidas por el ente encargado de supervisar este tipo de diseños y obras hidráulicas, la Autoridad Nacional del Agua.

## **DESARROLLO**

### **TIPOS DE CANALES ABIERTOS, ELEMENTOS DE LA SECCION**

Para poder referirse a canales abiertos, según Ramirez (2007), indica que los canales abiertos son aquellos que se encuentran en contacto con el ambiente, atmosfera de tal manera que se dan en medios naturales, artificiales o creados por el hombre, para la conducción del agua enfocado en el riego agrícola. Aportando a este concepto Villon Bejar (2015), también define que los canales pueden ser naturales como artificiales asimismo recalca que el agua debe circular por acción de la gravedad y sin ningún tipo de presión, debido a que la superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera.

Al considerar que se emplearan canales abiertos, los elementos que lo componen tienen una particularidad que depende de su tipo de sección y su ubicación, para lo cual según la ANA (2010), muestra una sección típica de canal enfocado al canal más común en proyectos agrícolas del Perú, el canal de sección trapezoidal.



*Figura 1. Sección típica de un canal.*

*Fuente: (ANA, 2010).*

Donde:

- T: ancho superior
- H: altura de caja
- b: plantilla
- z: inclinación de talud
- C: berma de camino
- V: camino de vigilancia o capa de rodadura.

La sección trapezoidal mostrada es la más común empleada por la agricultura, mas no es la única sección empleada, Villon Bejar (2015) menciona que los canales por lo general se diseñan con formas geométricas regulares, entre las cuales se encuentran:

- Sección rectangular
- Sección trapezoidal
- Sección triangular
- Sección circular abierta
- Sección parabólica

Existe cierta similitud entre las secciones de canal abierto, y esto se da en los elementos geométricos que lo componen, es por ello que Rodriguez Ponce (2018), presenta una sección típica de canal con sus elementos geométricos.

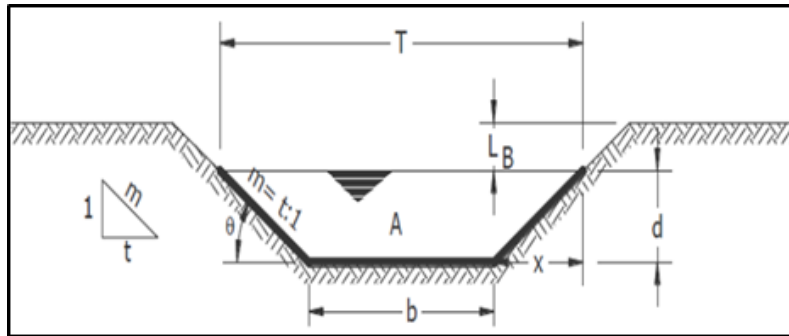


Figura 2. sección típica de un canal con elementos geométricos.

Fuente (Rodríguez Ponce, 2018)

Donde:

- $d$  (y): tirante de agua, profundidad de flujo o calado.
- $T$ : espejo de agua
- $m$ : talud
- $A$ : área hidráulica
- $L_b$ : borde libre
- $b$ : ancho base

Estos elementos geométricos forman parte del diseño hidráulico de un canal abierto. Por ello el definir bien cada uno de estos elementos proporcionara una sección de canal adecuada que permita el correcto aprovechamiento del recurso hídrico.

## DISEÑO DE SECCIONES HIDRAULICAS ABIERTAS DE CONCRETO

### CLASIFICACION DE LOS CANALES ABIERTOS

Se entiende por canales abiertos a aquellas estructuras hidráulicas por donde el agua fluye con una superficie libre, de manera general Ven Te Chow (2004), en su libro Hidráulica de Canales Abiertos, menciona que un canal se clasifica de acuerdo a su origen, ya sea natural o artificial.

La importancia de clasificar un canal implica la manera en la cual se tomarán las consideraciones mínimas para poder hallar todos sus elementos geométricos, es por ello que Anco (2014), menciona que los canales son clasificados de la siguiente manera:

- Canales principales.
- Canales laterales, sub laterales, ramales, sub ramales y acequias que llevan el agua a los surcos o melgas.
- Cauces naturales o arroyos, que en ocasiones se utilizan como parte del sistema de distribución de agua con fines de riego.

Mientras que G. Pérez (2016), menciona que la clasificación de un canal abierto se da debido a la función que cumplen:

- Canales de derivación: los cuales transportan el agua desde el punto inicial hasta donde se produce la repartición de aguas.
- Canales laterales: son aquellos que llevan las aguas de repartición hacia las áreas de riego o cultivo.

En base a lo referenciado se entiende que para poder clasificar un canal se debe identificar su origen, ya sea natural o artificial, así como identificar el fin que se lograra con el uso del canal.

## **CRITERIOS DE DISEÑO**

### **SECCION HIDRAULICA OPTIMA EN CANALES ABIERTOS**

En todo proyecto siempre se busca realizar un trabajo de calidad, que sea provechoso y represente a la ingeniería en su totalidad, es por ello que siempre se quiere trabajar con una sección optima de manera general, pero partiendo desde varios puntos de vista, esto varía de acuerdo a las consideraciones tanto teóricas como experimentales que se presentan en campo, es por ello que Gálvez Armas & Velásquez Villanueva (2017), mencionan que se le conoce como sección hidráulica optima a aquella que tenga menor perímetro mojado para un área determinada, de esta manera consideran que la sección hidráulica optima es la circular abierta debido a lo ya mencionado anteriormente.

De la misma forma Prieto (2008), concuerda con que la sección hidráulica optima sea la circular abierta, pero argumenta que esta sección no es tecnológicamente fácil de realizar debido a su forma. Mientras que Orocollo (2009), explica que la sección hidráulica optima es aquella compuesta por la máxima eficiencia hidráulica y la mínima infiltración, en donde se busca conducir mayor caudal y tener menor perdida de agua posible, respectivamente. Estos conceptos también son definidos por Armijos (2018), quien hace referencia de que la sección hidráulica óptima es aquella sección transversal de un canal que tiene la máxima capacidad, escurrimiento o caudal.

Si bien se tiene 5 secciones de canales abiertas, no se considera de que todas cumplan con la sección optima, es por ello que Prieto (2008), luego de analizar las demás secciones abiertas, concluye que las secciones más empleadas son las trapezoidales o rectangulares, por lo cual argumenta que la sección trapezoidal óptima es aquella que equivale a la mitad de un hexágono regular, a comparación de la sección rectangular óptima que es la que tiene un calado igual a la mitad del ancho.

Ven Te Chow (2004), menciona claramente que desde el punto de vista hidráulico que la sección de canal que tenga menor perímetro mojado para un área determinada tiene la máxima conductividad, en otras palabras, la sección hidráulica optima es aquella que da el área mínima para un caudal determinado.

Finalmente se presenta esta tabla donde se encontrará la relación correcta entre sección hidráulica optima y cada tipo de canal abierto



Tabla 1 . Relación máxima eficiencia, mínima infiltración y el promedio de ambas.

Sección transversal	Área $A$	Perímetro mojado $P$	Radio hidráulico $R$	Ancho superficial $T$	Profundidad hidráulica $D$	Factor de sección $Z$
Trapezio, medio hexágono	$\sqrt{3} y^2$	$2 \sqrt{3} y$	$\frac{1}{2} y$	$\frac{4}{3} \sqrt{3} y$	$\frac{3}{4} y$	$\frac{3}{2} y^{2.5}$
Rectángulo, medio cuadrado	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2} y$	$2y$	$y$	$2y^{2.5}$
Triángulo, medio cuadrado	$y^2$	$2 \sqrt{2} y$	$\frac{1}{4} \sqrt{2} y$	$2y$	$\frac{1}{2} y$	$\frac{\sqrt{2}}{2} y^{2.5}$
Semicírculo	$\frac{\pi}{2} y^2$	$\pi y$	$\frac{1}{2} y$	$2y$	$\frac{\pi}{4} y$	$\frac{\pi}{4} y^{2.5}$
Parábola $T = 2 \sqrt{2} y$	$\frac{4}{3} \sqrt{2} y^2$	$\frac{8}{3} \sqrt{2} y$	$\frac{1}{2} y$	$2 \sqrt{2} y$	$\frac{2}{3} y$	$\frac{8}{9} \sqrt{3} y^{2.5}$
Catenaria hidrostática	$1.39586y^2$	$2.9836y$	$0.46784y$	$1.917532y$	$0.72795y$	$1.19093y^{2.5}$

Fuente: (Ven Te Chow, 2004).

## LA IMPORTANCIA DE LA PENDIENTE, VELOCIDAD Y SU RELACION

La pendiente de todo canal se divide en dos aspectos importantes que influyen desde el diseño de un canal hasta la construcción y costo de la obra, los cuales son:

- Pendientes laterales del canal: son aquellas pendientes ubicadas en las caras laterales del canal, también conocidas como talud, lo cual, según Marín Córdoba, Menjívar Leonardo, & Zavaleta Linares (2012), dependen principalmente del material, y solo aplica a canales no erosionables, los cuales muestra en la siguiente figura.

Tabla 2. Pendientes laterales para canales según su material.

MATERIAL	PENDIENTE LATERAL
Roca	Aprox. Vertical
Estiércol y suelos de turba	$\frac{1}{4}:1$
Arcilla rígida o tierra con recubrimiento de concreto	$\frac{1}{2}:1$ a $1:1$
Tierra con recubrimiento de piedras o tierra en canales grandes	$01:01$
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	$1\frac{1}{2}:1$
Tierra arenosa suelta	$02:01$
Marga arenosa o arcilla porosa	$03:01$

Fuente (Marín Córdoba, Menjívar Leonardo, & Zavaleta Linares, 2012)

- Pendiente de la base del canal: es aquella pendiente que rige de cota a cota, principalmente las cotas de la base del canal, que es por donde pasara el fluido, por

lo que Prieto (2008), establece que la determinación de la pendiente se realizara por motivos económicos; habiéndose definido previamente las limitaciones debidas a las características del terreno y las velocidades límites del agua.

Como se mencionó, una de las secciones optimas de un canal, será la sección trapezoidal, por ello una de las consideraciones importantes a tener es la pendiente lateral, que influencia en este tipo de sección; a comparación de la sección rectangular que se enfoca su diseño a la pendiente de la base del canal.

Al igual que la pendiente es uno de los factores más influyentes dentro del diseño de un canal abierto, cabe resaltar que este trabaja en conjunto con la velocidad por ello, Prieto (2008), considera como velocidad mínima 0.6 m/s en canales abiertos con revestimiento de concreto, mientras aquellos canales sin revestir su velocidad mínima será de 0.9 m/s, de la misma manera Ven Te Chow (2004), menciona que la velocidad minima permisible para que no exista sedimentaciones es 2.5 pies/s, lo cual es 0.762 m/s, debido que al manejar esta velocidad mínima se prevendrá el crecimiento de la vegetación, que es uno de los factores que disminuye la capacidad de transporte del canal. Para el caso de la velocidad máxima Ven Te Chow (2004), hace referencia que este valor es incierto y que se puede estimar en base a experiencia y criterio del ingeniero a cargo. Mientras que, para las velocidades máximas del canal abierto con revestimiento de concreto, la mayoría de informes citan a U.S. Bureau of Reclamation (1978), quien menciona que las velocidades máximas de un canal abierto de concreto no deben de exceder de 2.5 – 3.0 m/s.

Finalmente, la FAO (s.f.), menciona en su portal web un cuadro enfocado a las velocidades medias máximas admisibles de agua en canales, según el material empleado.

*Tabla 3. velocidades medias máximas admisibles de agua en canales.*

Tipo de suelo o de revestimiento	Velocidad media máxima admisible (m/s)
<b>CANALES SIN REVESTIR</b>	
Arcilla blanda o muy menuda	0.2
Arena pura muy fina o muy ligera	0.3
Arena suelta muy ligera o fango	0.4
Arena gruesa o suelo arenoso ligero	0.5
Suelo arenoso medio y légamo de buena calidad	0.7
Légamo arenoso, grava pequeña	0.8
Légamo medio o suelo aluvial	0.9
Légamo firme, légamo arcilloso	1
Grava firme o arcilla	1.1
Suelo arcilloso duro, suelo de grava común, o ardila y grava	1.4
Piedra machacada y ardila	1.5
Grava gruesa, guijarros, esquisto	1.8
Conglomerados, grava cementada, pizarra blanda	2
Roca blanda, capas de piedras, capa dura	2.4
Roca dura	4
<b>CANALES REVESTIDOS</b>	
Hormigón de cemento moldeado a pie de obra	2.5
Hormigón de cemento prefabricado	2
Piedras	1.6-1.8
Bloques de cemento	1.6
Ladrillos	1.4-1.6
Membrana de plástico sumergida	0.6-0.9
<b>CONDUCCIONES ELEVADAS</b>	
Hormigón o metal liso	1.5-2.0
Metal ondulado	1.2-1.8
Madera	0.9-1.5

*Fuente: (FAO, s.f.)*

Mediante esta tabla se considerará para el tipo de material empleado en el canal, una velocidad ideal.

## EFFECTO DE LA RUGOSIDAD

El efecto de rugosidad se da en canales proyectados con algún tipo de revestimiento, el más común es el concreto, por lo cual el manual de la ANA (2010), establece un cuadro de rugosidades de materiales empleados en la construcción de canales en el Perú, los cuales son:

*Tabla 4. Rugosidades empleadas en canales.*

n	Superficie
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.

*Fuente (ANA, 2010).*

Ven Te Chow (2004), menciona que el efecto de la rugosidad en los canales es vital, por ello menciona que tanto el concreto como, mampostería, acero, hierro fundido, madera, vidrio y plástico, tienen una rugosidad óptima y son materiales no erosionables, que su función principal como revestimiento es prevenir la erosión y evitar pérdidas de agua por infiltración. Por ello se debe plantear cuando es necesario un revestimiento y cuando no, es por esto que Rodríguez Ponce (2018), menciona que a razón de que los canales de riego artesanal generan menor eficiencia de riego y son erosionadas por la velocidad, se plantea remplazarlos por un canal revestido de concreto. Finalmente, Prieto (2008), mencionan que lo recomendable es cubrir estas secciones hidráulicas mediante un revestimiento para disminuir infiltraciones.

## BORDE LIBRE

El borde libre es aquel espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua. De manera general la U.S. Bureau of Reclamation (1978), recomienda estimar el borde libre con la siguiente fórmula:

$$\text{Borde libre} = \sqrt{C * y}$$

Donde:

- C = 1.5 para caudales menores a 20 pies<sup>3</sup> / seg., y hasta 2.5 para caudales del orden de los 3000 pies<sup>3</sup>/seg.
- Y = Tirante del canal en pies.

Mientras que Villon Bejar (2015), adopta lo siguiente:

Tabla 5. Borde libre con respecto al ancho de plantilla.

Ancho de la plantilla (m)	Borde libre (m)
Hasta 0.8	0.4
0.8 - 1.5	0.5
1.5 - 3.0	0.6
3.0 - 20.0	1

Fuente (Villon Bejar, 2015).

## DISEÑO DE SECCION

Para el diseño de cualquier tipo de sección siempre se debe tener en cuenta lo siguiente:

## ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

La ecuación de continuidad está referida al caudal, por ello se entiende que un caudal (Q) es la cantidad de flujo que atraviesa un área o sección (A) por la velocidad (V) del flujo en una unidad de tiempo, expresada en m<sup>3</sup>/s, su expresión matemática será:

$$Q = V \cdot A \quad (1)$$

“Cuando el flujo que atraviesa por el canal es permanente y el caudal es constante en un tramo de este, la ecuación que se cumple es la denominada ecuación de continuidad” (Torres Sanchez, 2017, pág. 15). Por ello para un caudal de entrada, se considera un caudal de salida que debe tener las mismas cantidades.

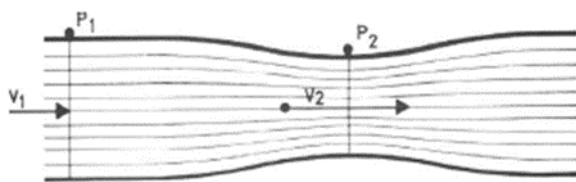


Figura 3. Representación de un caudal de entrada y salida.

Fuente (Torres Sanchez, 2017)

Donde:

- Q = Caudal que circula por el canal m<sup>3</sup>/s.
- V = Velocidad media del flujo m/s.
- A = Área de la sección transversal del prisma del agua m<sup>2</sup>.

Cabe resaltar que lo importante, es poder obtener el valor de ese caudal, para lo cual considerando la necesidad del líquido se estimara en cantidades normadas, a manera de comentario para un canal que se empleara para el riego, se debe calcular la cantidad de agua necesaria que debe recibir cada planta y con ello estimar un caudal que cubra esa necesidad en m<sup>3</sup>, de la misma manera se emplearía si el canal transportara agua para uso del hombre. Mientras que si ya existe un canal formado de manera natural o un canal de tierra que se usa para un fin bien, se deberá calcular la velocidad en base a un área hidráulica, para ello el Ministerio de Agricultura y Riego (2015), menciona 2 maneras de calcular el caudal, mediante el método del correntómetro y el método del flotador.

## ECUACIÓN DE MANNING

Para ello según Rodriguez Ruiz (2008), Manning determino una ecuación para establecer el valor “C”, que es la relación entre el radio hidráulico y la rugosidad propia del material del cual se construirá el canal.

Por ello el valor de C esta dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

Que al reemplazar este valor dentro de la ecuación de Chezy, nos da una nueva ecuación de Manning que determina la velocidad en canales abiertos y cerrados.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Donde:

- n= coeficiente de rugosidad de Manning.
- R= radio hidráulico, es el área hidráulica sobre el perímetro mojado (A / P), en m.
- S= pendiente de la línea de energía, que corresponde a la del fondo por estar en régimen uniforme, m/m.

Complementando lo anterior mencionado, Villon Bejar (2015), indica que, al combinar la ecuación de Manning con la Ecuación de Continuidad, se obtiene el caudal de una sección geométrica hidráulica en base a la rugosidad, la pendiente, el área y radio hidráulico.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Lo cual vendría a ser la ecuación final de Manning, con variables identificadas como elementos geométricos de un canal.

## ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UN CANAL ABIERTO

Según ANA, 2010, estas son las relaciones entre elementos geométricos.

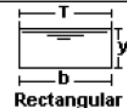

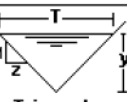
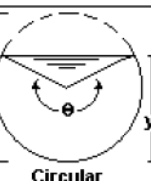
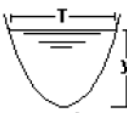
Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$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

Figura 4. Elementos geométricos de un canal abierto.

Fuente (ANA, 2010).

Todas las secciones abiertas mostradas se basan en lo anterior expuesto del modelo de sección típica, donde también aparecen las definiciones de ellos.

## NUMERO DE FROUDE

El número de Froude es la herramienta más considerada para poder identificar el tipo de flujo que tiene nuestro canal, por ello Marín Córdoba, Menjívar Leonardo, & Zavaleta Linares (2012), mencionan que el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. En otras palabras un flujo se clasifica mediante la unidad luego de analizar el numero de Froude que se basa en la velocidad, gravedad y tirante hidráulico de una sección, esta unidad se relaciona de la siguiente manera:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g*y}} \quad (5)$$

Donde:

- $Fr < 1$  = Flujo Subcrítico
- $Fr = 1$  = Flujo Critico
- $Fr > 1$  = Flujo Supercrítico

## CONSIDERACIONES BASICAS PARA EL DISEÑO HIDRAULICO DE CANALES

### ABIERTOS

Para el diseño hidráulico de canales abiertos se deberá considerar lo siguiente:

- Primeramente, se deberá identificar y clasificar el canal, empezando desde la importancia que representará y el flujo que deberá transportar.
- Luego de clasificar el canal, se deberá definir la sección óptima del canal abierto procurando tener la máxima eficiencia hidráulica y la mínima infiltración, para lo cual se considera que el fundamento de Prieto (2008), es el más adecuado para definir la sección óptima, en donde la sección trapezoidal óptima es aquella que equivale a la mitad de un hexágono regular y la sección rectangular óptima que es la que tiene un calado igual a la mitad del ancho. Es por esto que también se deberá identificar y definir las secciones geométricas adecuadas.
- Se considerará una pendiente lateral de 1,5:1 y una pendiente de la base del canal, lo suficientemente leve para que transporte el flujo por gravedad.
- La consideración básica con respecto a la velocidad se verá influenciada por la pendiente del canal, de todo lo recopilado se quiere que la velocidad no sea menor a 0.8 m/s y que no sobrepase los 3 m/s.
- El valor de la rugosidad se verá definida por el tipo de canal que se diseñará y su revestimiento o superficie, lo cual se aprecia en las tablas anteriores.
- El borde libre se regirá al ancho de la plantilla (base) y tiene que ser lo suficientemente considerado para que el agua de sobrepase su nivel.
- Finalmente se deberá definir el tipo de flujo mediante el número de Froude, considerando que no se exceda con el flujo supercrítico, de preferencia que se trabaje en el flujo subcrítico que es donde las fuerzas gravitatorias tienen mayor influencia en el flujo.

### EJEMPLO APLICATIVO

Para una zona del Perú, se quiere lograr un alcance de 95.4 lps para un área de 28 ha, se quiere que el canal sea revestido con concreto, asimismo debido a que la zona presenta un suelo arcilloso, se considerara una pendiente lateral de 0.5, si luego de los estudios topográficos se logro obtener: una pendiente = 6 por mil, diseñar el canal hidráulico de conducción.

Datos:

- Caudal solicitante = 95.4 lps
- Rugosidad (n) = 0.013
- Pendiente lateral (Z) = 0.5
- Pendiente (m) = 6 x 1000 = 0.006

### Solución:

Al considerar que la zona de nuestro canal es en Perú, se tendrá que considerar el tipo de canal más usado y recomendado tanto por profesionales en base a su experiencia, así como lo recomiendo el manual del ANA, un canal de sección trapezoidal.

Ven Te Chow (2004), nos presenta una fórmula para obtener la máxima eficiencia hidráulica en un canal abierto, la cual depende del área hidráulica y el perímetro mojado, esto se obtiene luego de igualar mi perímetro mojado a 0.

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{1 + z^2} - z) \quad (6)$$

Lo recomendable es poder dar un valor inicial al tirante de agua, puesto que de él dependerá todos los cálculos que se realizarán.

Para un tirante ( $y$ ) = 0.3 m

Se obtendrá

$$\frac{b}{0.3} = 2 * (\sqrt{1 + 0.5^2} - 0.5) \quad (7)$$

$$b = 0.37 \text{ m}$$

Aplicando la fórmula de área hidráulica para canales trapezoidales, se obtendrá lo siguiente:

$$A = (0.37 + 0.5 * 0.3) * 0.3 \quad (8)$$

$$A = 0.156 \text{ m}^2$$

De la misma manera se aplica la fórmula de Perímetro mojado, esto es para poder definir una nueva sección hidráulica.

$$P = 0.37 + 2 * 0.3 * \sqrt{1 + 0.5^2} \quad (9)$$

$$P = 1.042 \text{ m}$$

Con los valores de área hidráulica y perímetro mojado se podrá hallar el radio hidráulico de la sección.

$$R = \frac{0.156}{1.042} \quad (10)$$

$$R = 0.15 \text{ m}$$

Finalmente se obtendrá un nuevo caudal que pasará por la sección hidráulica definida ( $Q_c$ ).

$$Q = \frac{1}{0.013} * 0.156 * 0.15^{\frac{2}{3}} * 0.006^{\frac{1}{2}}$$



$$Q_c = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con este nuevo caudal, se podrá calcular el valor de la velocidad.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

$$V = \frac{0.26}{0.156} = 1.75 \text{ m}^2/\text{s}$$

Ahora, este caudal de sección hidráulica definida ( $Q_c$ ), debe ser mayor a mi caudal solicitante ( $Q_d$ ).

$$0.26 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} > 95.4 \text{ lps o } 0.0954 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lo cual es correcto, pero en casos el valor de  $Q_c$  sea menor que el valor de  $Q_d$ , se deberá realizar una tabla de tabulaciones, donde el único valor que cambiara será el tirante ( $y$ ).

*Tabla 6. Tabla de tabulaciones.*

$y$ (m)	$b$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$P$ (m)	$R$ (m)	$Q_c$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_d$ (m <sup>3</sup> /s)	$V$ (m <sup>2</sup> /s)
0.3	0.37	0.156	1.042	0.15	0.2628	0.0954	1.75
0.4	0.494	0.277	1.388	0.2	0.566	0.0954	2.83
0.2	0.247	0.069	0.694	0.1	0.089	0.0954	0.89

*Fuente: Propia.*

De la cual la mejor sección hidráulica esta compuesta por aquella que tiene un tirante hidráulico igual a 0.3m, cabe resaltar que esta sección no está fuera de los parámetros permitidos por el reglamento de la ANA.

## CONCLUSIONES

De todo lo mencionado sobre el diseño hidráulico de un canal abierto, se concluye que:

- Las consideraciones mínimas a usarse, dependen del tipo de canal abierto que se va a emplear, su origen ya sea natural o artificial, el tipo de recubrimiento, la pendiente que tendrá el canal, sus elementos geométricos y el caudal solicitante.
- Con los datos de talud, pendiente, velocidad, rugosidad y borde libre, se logrará definir los elementos geométricos de la sección, lo cual llevara a tener un área hidráulica y un radio hidráulico, quienes combinados en la fórmula de Manning logran dar con el caudal que pasara por la sección de canal abierto de concreto y que al mismo tiempo determinaran el tipo de flujo que circulara por el mismo.
- Las consideraciones mínimas presentadas en el artículo reflejan aquellos limites sobre los cuales está permitido un diseño hidráulico de canales en el Perú, esto debido a que para este tipo de proyectos se empleara la norma de la ANA.

## REFERENCIAS

- ANA, A. N. (2010). *Criterios de Diseños de Obras Hidraulicas para la Formulación de proyectos Hidraulicos Multisectoriales y de Afinzamiento Hidrico*. LIMA: Autoridad Nacional del Agua.
- Anco, M. G. (2014). *Topografía III*. Lima: SENCICO.
- Armijos, P. G. (2018). *Diseño de Canales Abiertos*. Quito: Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L.
- FAO, O. d. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6708s/x6708s08.htm#top](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm#top)
- G. Pérez. (2016). *Manual de Obras Hidraulicas*.
- Gálvez Armas, N. A., & Velásquez Villanueva, A. M. (2017). *Diseño Hidraulico y Estructural del botador el Aluvión para el control de la aguas en tiempos de lluvia en el ditrito de Ascope - La Libertad - Perú*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Lalopu, P. (2014). *Mejoramiento del sistema de riego Tunan*. Lambayeque: Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Marín Córdoba, C. A., Menjívar Leonardo, M. J., & Zavaleta Linares, J. M. (2012). "Diseño y construcción de un canal Hidráulico de pendiente variable para uso didactico e investigación". San Salvador: Universidad de el Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Riego, M. (2015). *Manual de calculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima: Viceministro de Infraestructura Agraria y Riego.
- Orocollo, J. (Junio de 2009). *Diseño de Canales de Irrigacion*. Obtenido de <http://jaimeorocollo.blogspot.com/2009/06/4-seccion-hidraulica-optima.html>
- Prieto, F. B. (2008). *Canales, Generalidades, obras y elementos*. España: EOI.
- Ramirez, D. J. (2007). *Flujo en Canales Abiertos*. Colombia: Universidad de Pamplona.
- Rodriguez Ponce, C. F. (2018). *Diseño de un canal de sección rectangular de concreto armado para riego y drenaje, en taludes vulnerables, Conchamarca – 2018*. Huanuco: Universidad de Huanuco.
- Rodriguez Ruiz, P. (Agosto de 2008). *Hidráulica de Canales*.
- Torres Sanchez, J. M. (2017). *Diseño hidráulico y modelamiento en HECRAS del canal de concreto y de obras de arte del Proyecto Carpintero – Tramo Km 0+000 al Km 5+000*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- U. S. Army Corps of Engineers. (1995). *Structural design of Concrete lined flood control Channels*. Washington, DC: United States Department of the interior, Bureau of Reclamation.
- U.S. Bureau of Reclamation. (1978). *Design of Small Canals*. Denver Colorado: U.S. Bureau of Reclamation.
- Ven Te Chow. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Martha Edna Suárez R.
- Villon Bejar, M. (2015). *Hidraulica de Canales*. Lima: Villon.