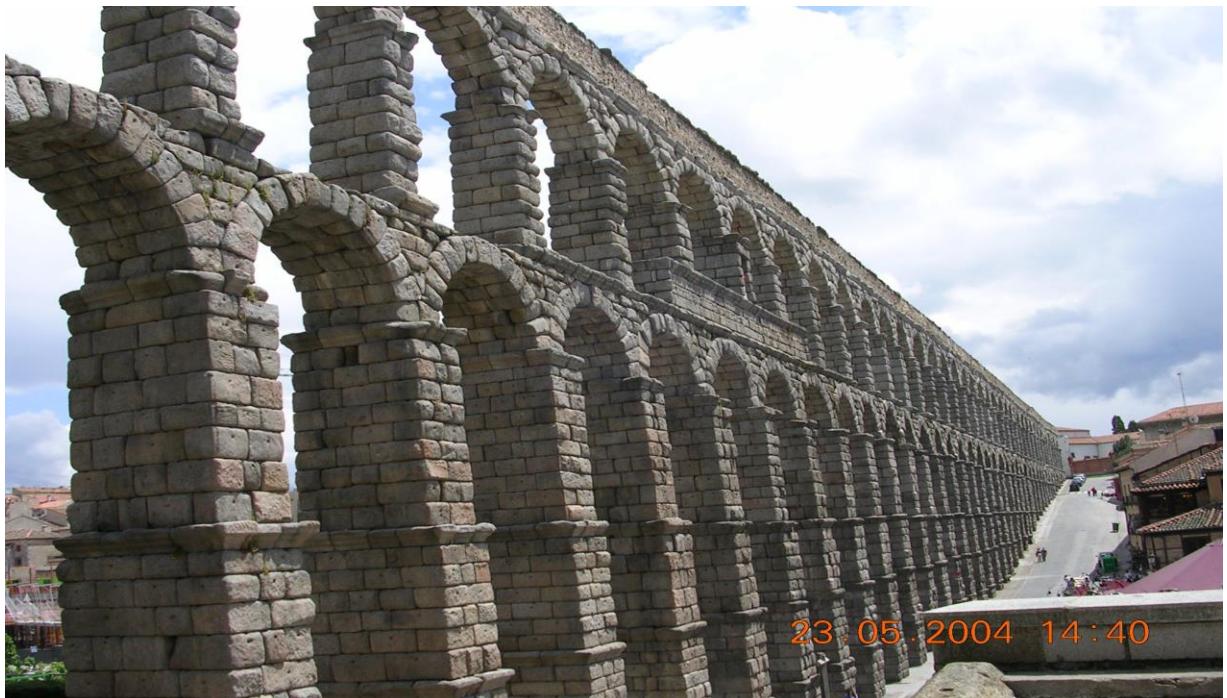


DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

CÁTEDRA DE HIDRAULICA GENERAL



ESCURRIMIENTO A SUPERFICIE LIBRE CANALES

Ing. Adolfo GUILTELMAN

CLASE DE CANALES

- 1. INTRODUCCION**
- 2. OBJETIVOS DEL TRANSPORTE A SUPERFICIE LIBRE**
- 3. VARIABLES INTERVINIENTES**
- 4. ECUACION DE CHEZY – BERNOULLI – MANNING**
- 5. PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES**
- 6. LA CONSTANTE C DE CHEZY**
- 7. CRITERIOS DE PROYECTO DE LA SECCION TRANSVERSAL**
- 8. MINIMA RESISTENCIA**
- 9. CRITERIOS PRACTICOS Y CONSTRUCTIVOS**
- 10. SECCIONES COMPUESTAS**
- 11. LA SECCION SEGMENTO DE CIRCULO**
- 12. VERIFICACIONES DEL PROYECTO DE CANALES .**
- 13. ALGUNOS EJEMPLOS DE OBRAS**

CONDUCCIONES A SUPERFICIE LIBRE

CANALES

REGIMEN PERMANENTE Y UNIFORME

Es una forma muy económica de transportar agua , cuando disponemos de una topografía favorable y resulta casi imprescindible cuando los caudales son muy grandes .

(debemos aclarar que es económico su transporte , no así , su manejo)

La fuerza motriz , es el peso del agua .

Tambien debemos remarcar , que es la forma mas común de escurrimiento de agua en la naturaleza , Ríos y Arroyos .

CUALES SON LAS CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR , UN BUEN DISEÑO DE CANAL ?

- TRANSPORTAR EL CAUDAL DE DISEÑO**
- EN FORMA ECONOMICA (secciones prácticas o mínima resistencia , menor costo anual de construcción + operación)**
- CON FUNCIONAMIENTO ESTABLE $H > 1.05 H_{min}$**
- SIN PROVOCAR EROSION , $U < U_{max}$**
- SIN PROVOCAR SEDIMENTACION , $U > U_{min}$**
- CON TALUDES ESTABLES**

ESCURRIMIENTO DEL AGUA A SUPERFICIE LIBRE MOVIMIENTO UNIFORME Y PERMANENTE

NECESIDAD DE ESTUDIAR LOS ESCURRIMIENTOS A SUPERFICIE LIBRE .

El escurrimiento a superficie libre , en Rios , Arroyos , canales , etc. , constituye la forma mas natural de escurrimiento del agua y era conocida por el hombre desde mucho tiempo atrás .

Leonardo se intereso desde pequeño en los escurrimientos de los rios y arroyos , le llamaba mucho la atención los “ remolinos ” y otros fenómenos turbulentos . (años mas tarde diseño todos los desagües de la Ciudad de Florencia) .

Ocurre que ademas de ser una forma muy natural , cuando las pendientes son favorables y los caudales a transportar son importantes , la superficie libre se convierte en la solucion claramente **MAS ECONOMICA** de transportar AGUA .

Por lo tanto en los mencionados casos , ademas de cuando existen limitaciones tecnologicas que implican necesidades en cuanto a la **CALIDAD** del **LIQUIDO** transportado , la superficie libre , es la solucion .

Este caso lo configuran las conducciones **PLUVIALES** , **CLOACALES** y **MIXTAS** , donde en grandes ciudades , a pesar de que se entuba el fluido , el escurrimiento es a superficie libre y habitualmente , en tuberias enterradas .

Cuando decimos superficie libre , estamos queriendo significar , que la potencia motriz del movimiento del AGUA , es la **FUERZA DE GRAVEDAD** .

Se designan con el nombre de escurrimientos a superficie libre las que tienen lugar en Canales y Ríos; es decir aquellas en las que el líquido escurre en contacto con la atmósfera, a diferencia de los escurrimientos forzados o bajo carga, tales como los que tienen lugar en tuberías, cuando el líquido las llena completamente. La superficie libre es la separación entre la masa líquida y el aire.

Se admitirá en todo caso que el fondo y las paredes del canal son impermeables, por lo tanto el gasto a través de toda la sección canal es constante. La superficie libre debe constituir un límite de la conducción, bajo el efecto de las fuerzas puestas en juego, es una superficie de corriente y en todos los puntos de la misma, en régimen permanente, la velocidad es tangente a esa superficie y la presión constante e igual a la presión atmosférica. **Dichas fuerzas son: la presión, gravedad, las de rozamiento viscosas**

Respecto a las secciones transversales del canal, consideraremos que las pendientes de la solera son pequeñas, de modo de no cometer errores , al considerar las secciones transversales verticales y no normales al canal.

CANAL DE PANAMA



Cuando el escurrimiento tiene lugar como **ESCURRIMIENTO UNIFORME Y PERMANENTE**, el canal resulta ser prismático con sus generatrices paralelas, permaneciendo constantes todos los elementos geométricos del canal:

Q : Gasto ó Caudal [m^3/seg]

Ω: superficie de la sección transversal de escurrimiento [m^2]. (**las secciones transversales son verticales y no perpendiculares al canal**).

U: velocidad media de la corriente [m/seg]

h: tirante hidráulico [m]. Es la profundidad máxima, ó **distancia vertical** comprendida entre la superficie libre y el punto más bajo del fondo del canal (Fig 1 a 16).

i = tg α : pendiente longitudinal del canal, es un valor adimensional, expresado como la relación entre dos longitudes, por ejemplo $i = \frac{0,30 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = \frac{3 \text{ m}}{10.000 \text{ m}} = 0,0003$ ó $0,3 \%$.

j = tg β = i = tg α : pendiente longitudinal de la superficie libre, la que es igual a la del fondo, puesto que el canal debe ser prismático (Fig 1)

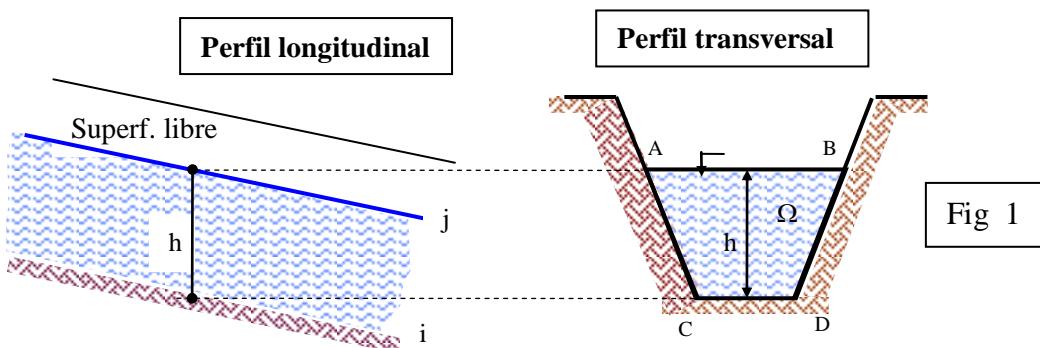
χ = perímetro mojado [m]. es la longitud del contorno de la sección transversal que está en contacto con el fluido que escurre por el canal.

$$R = \frac{\Omega}{\chi}$$
 : Radio hidráulico [m].

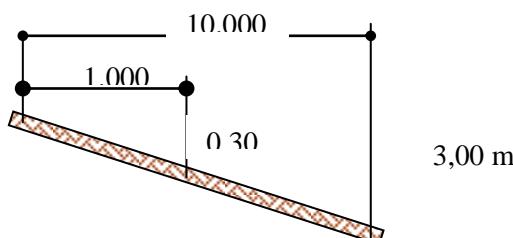
La velocidad media de la corriente, queda expresada por la **FÓRMULA DE CHEZY** para canales.

$$U = C \sqrt{Ri} \quad (1) \quad C \left[\frac{\text{m}^{1/2}}{\text{seg}} \right]$$

El valor de **C** , depende esencialmente de la rugosidad de las paredes y del radio hidráulico, estando expresado por fórmulas empíricas, cuya estructura matemática varía en general, según los investigadores que la han verificado.



En esta fórmula **C** , coeficiente de CHEZY ($\text{m}^{1/2} / \text{seg}$), depende de la rugosidad de las paredes del canal y del radio hidráulico, su forma matemática depende del autor que la investigó.



FORMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

SECCIONES DE CONTORNO ABIERTO

La de mayor aplicación es la forma trapezial (Fig 3) , siguiendo en orden las de forma tolva (Fig 4) y rectangular (Fig 5) , en raras ocasiones las de forma semicircular (Fig 6), la triangular (Fig 7) y la forma parabólica (Fig 8). Además pueden existir combinaciones entre las formas indicadas anteriormente , como ser la trapezial con la rectangular (Fig 9).

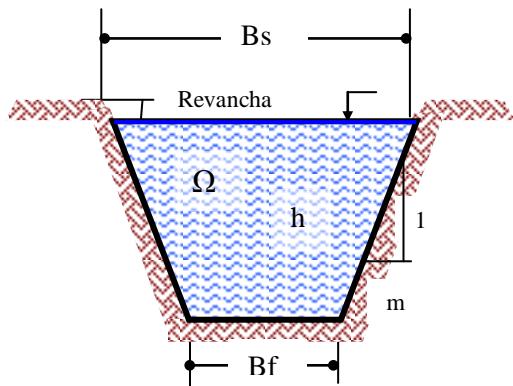


Fig. 3 Sección Trapecial

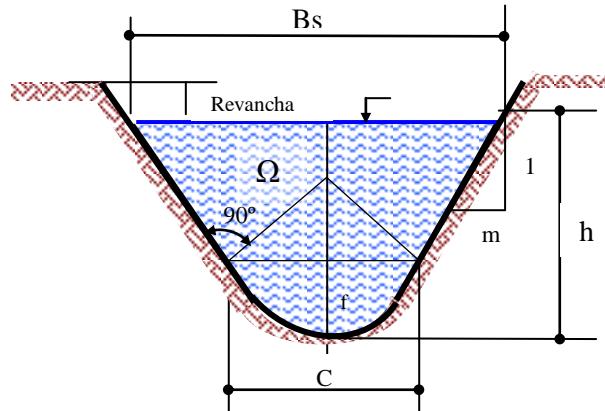


Fig 4 Sección Tolva

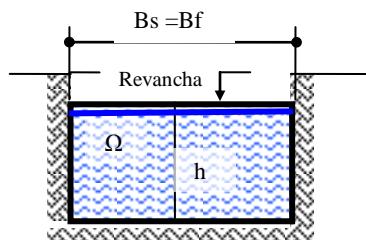


Fig 5 Rectangular

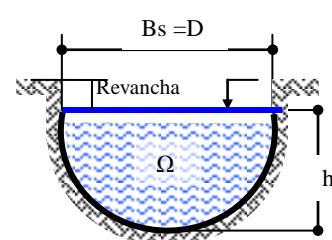


Fig 6 Semicircular

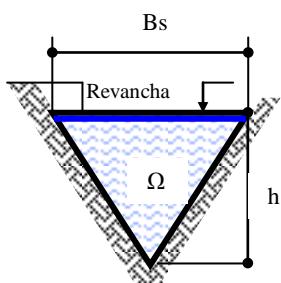


Fig 7 Triangular

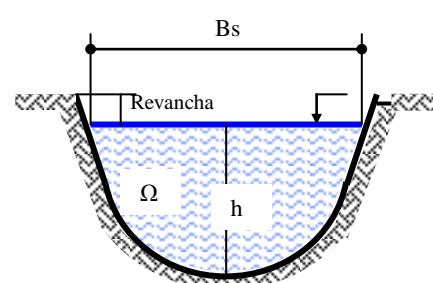


Fig 8 Parabólico

Los canales a cielo abierto pueden ser construidos en desmonte o en terraplén, lo que dependerá de la diferencia que exista entre la pendiente del terreno natural y la pendiente longitudinal del canal i. Así por ejemplo los de la Fig 3 a 10, son totalmente excavados (en desmonte), mientras que el de sección trapezoidal de la fig 11-a es parte en desmonte y parte en terraplén y el de la fig 11-b es totalmente en terraplén.

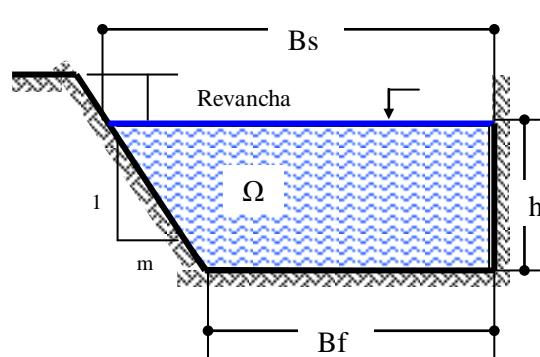


Fig 9.- Sección compuesta
(Trapezoidal y rectangular)

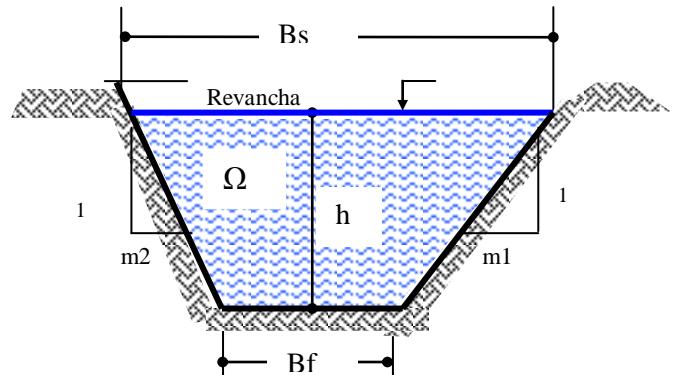


Fig 10.- Sección trapezoidal asimétrica
 $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$

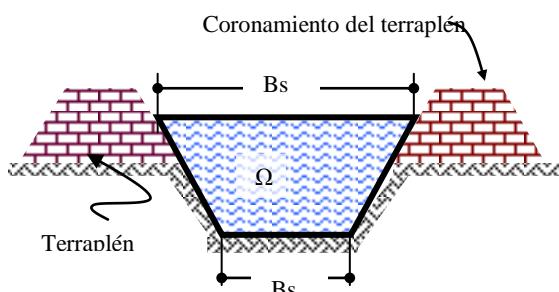


Fig 11 a .-Terraplén y desmonte

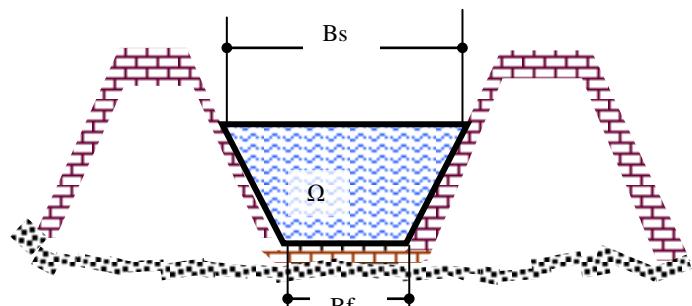


Fig 11 b.- Totalmente Terraplén

REVANCHA

El cauce de los canales a cielo abierto, cualquiera sea la forma de su sección transversal, se construye siempre de manera que queda un excedente sobre la sección transversal de escurrimiento que da el cálculo hidráulico, el cual se denomina revancha, su principal objetivo es el de absorber incrementos en el caudal.

Si no existiera la revancha, el incremento ΔQ , rebalsaría el canal inundando los lugares adyacentes. Si fuera un canal en terraplén, el rebalse ocasionaría la destrucción del coronamiento y por ende la del canal mismo.

El valor de la **REVANCHA** queda a criterio del proyectista, que tomará en cuenta las causas apuntadas u otras que pudieran presentarse, por lo general este valor varía de **0,20 a 0,40** mts en canales chicos y de **0,60 a 0,80** mts, ó mas, en los canales grandes, los que según la función que deberán cumplir, deberá determinarse la revancha más conveniente. (Ver Apunte de la Catedra “*Impermanentes a Superficie Libre* ”).

SECCIONES DE CONTORNO CERRADO

La forma mas común es la de segmento de círculo (Fig 12), estando constituido el canal por un tubo o caño circular, y le siguen la sección rectangular (Fig 13) y la denominada “modelo” (Fig 14) . En menor escala se emplean la parabólica (Fig 15) , la ovoidal (fig 16) y otras mas.

En general los canales entubados van bajo tierra, se pueden construir en túnel ó bien en el fondo mismo de una zanja, sobre un colchón de arena seleccionada y luego se tapa con tierra de la misma excavación.

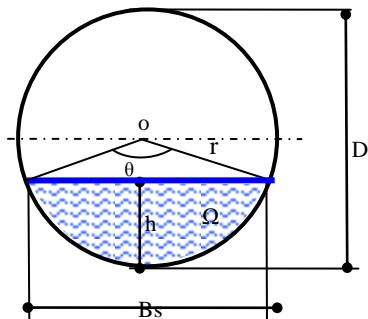


Fig12.- Sección segmento de círculo

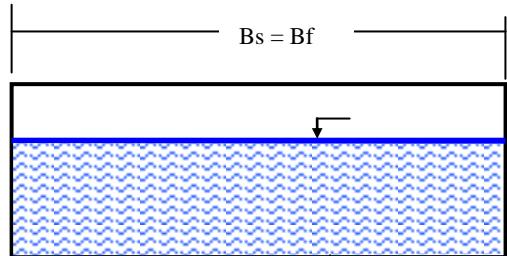


Fig 13.- Sección rectangular

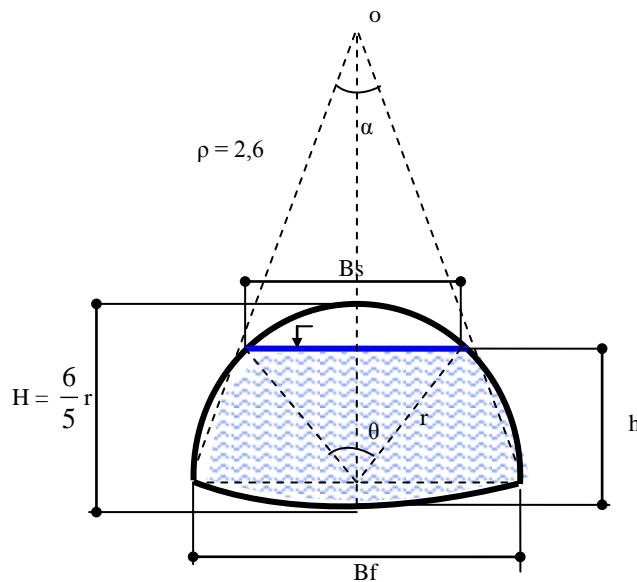


Fig 14.- Forma modelo

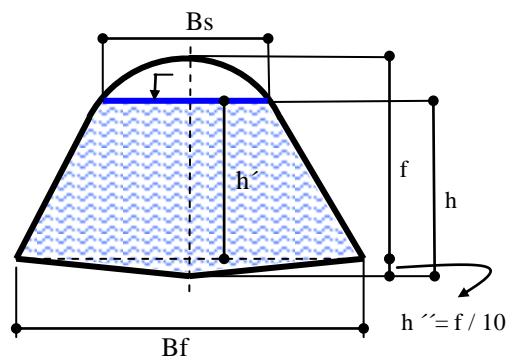
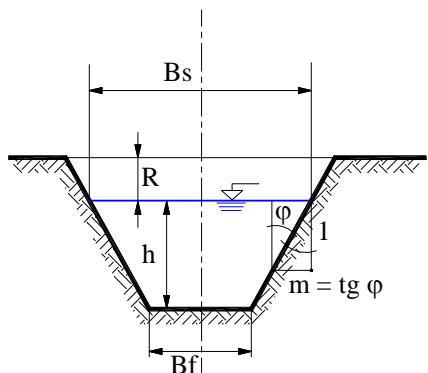


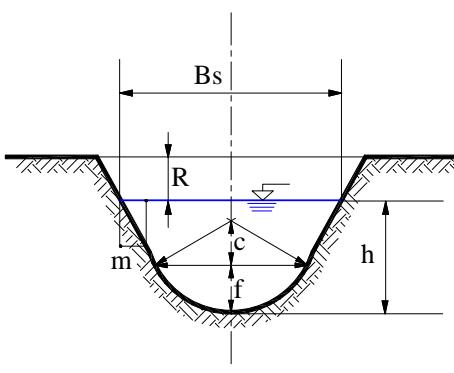
Fig 15 Forma parabólica

Éstas secciones pueden encontrarse en instalaciones cloacales y pluviales muy antiguas, y su forma obedece a que se construían con mampostería u hormigón simple y el trabajo de sus paredes debía ser en consecuencia a la compresión pura.

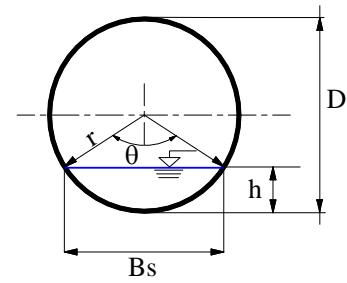
FORMAS HABITUALES DE CANALES ABIERTOS



Sección trapezoidal



Sección tolva



Sección segmento de círculo

PRESIÓN EN SECCIONES TRANSVERSALES

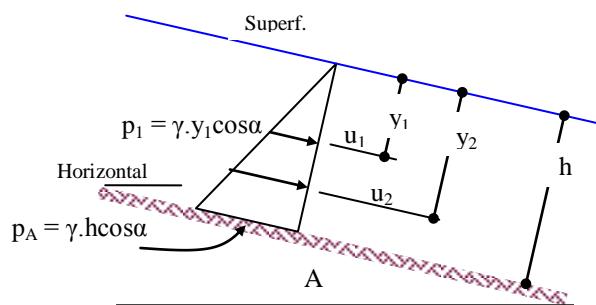


Fig 16 .- Repartición de las presiones

La presión en el punto A, tomando la atmosférica como origen de presiones, viene dada por : $p_1 = \gamma \cdot h \cdot \cos \alpha$
 En los canales usuales, α es pequeño (pendientes del orden del 1/1000, relativamente débil) entonces, $p = \gamma \cdot h$
 En la hipótesis de que sea cóncavo ó convexo el fondo del canal, en el sentido longitudinal, el régimen no es uniforme y se produce un aumento ó disminución de presiones, debido al efecto de la fuerza centrípeta originada por la curvatura de los filetes (fig 17 a y b).

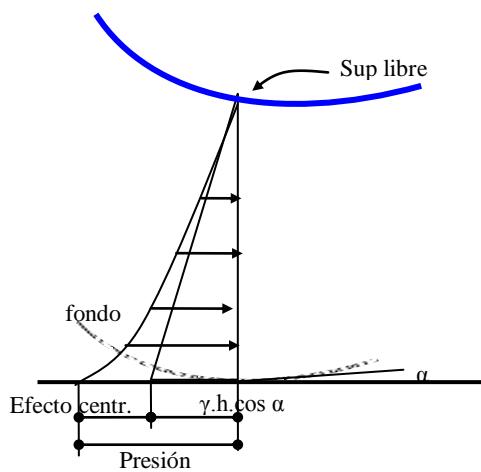


Fig 17 a.- Corriente Cónvava

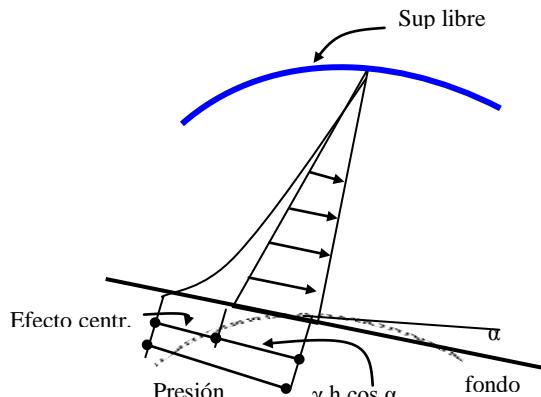


Fig 17 b.- Corriente Convexa

ECUACIONES DE LA HIDRAULICA

Para el Análisis de los escurrimientos en CANALES , emplearemos las siguientes ECUACIONES

1 - Ecuación de Continuidad, 2- Ecuación de la Energía (Bernoulli) y 3- Ecuación de la Cantidad de Movimiento.

Para nuestro caso, un movimiento uniforme y permanente, tendríamos:

$Q = U_1 \cdot \Omega_1 = U_2 \cdot \Omega_2$ Ecuación de Continuidad (Condición de escurrimiento permanente)

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta J_{1-2}^* \quad \text{Ecuación de Energía}$$

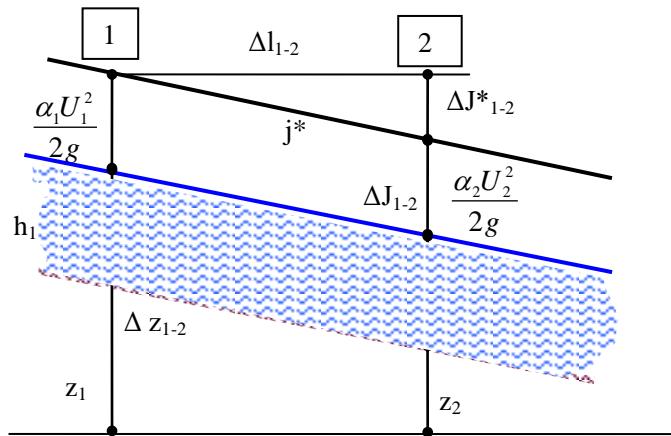


Fig 18

Si el canal es prismático y el movimiento uniforme, entonces $U_1 = U_2 = U = \text{cte}$ y $h_1 = h_2 = h = \text{cte}$.

En cualquier sección $\frac{\alpha U}{2g} = \text{cte}$, por lo tanto $\Delta J_{1-2}^* = \Delta J_{1-2}$, es decir $j^* = j$.

Planteando Bernoulli, nos quedará:

$$z_1 + h + \frac{\alpha U^2}{2g} = z_2 + h + \frac{\alpha U^2}{2g} + \Delta J_{1-2}^* \quad \rightarrow \quad \Delta z_{1-2} = \Delta J_{1-2}^* = j^* \cdot \Delta l_{1-2} \quad \rightarrow \quad j^* = \frac{\Delta z_{1-2}}{\Delta l_{1-2}} = i$$

En resumen podemos escribir $i = j = j^*$ (IX -1)

La interpretación física, nos dice que en un movimiento permanente y uniforme, en un canal prismático, las pendientes de la solera del canal, de la superficie libre y de la línea de energía, son iguales.

La diferencia de nivel es la energía gastada para vencer los rozamientos.

En los canales, en los que escurre agua, el movimiento es siempre turbulento y en general los coeficientes α y β se toman aproximadamente igual a 1.

ECUACION DE CHEZY

De la experiencia, sabemos que ΔJ^* es proporcional a:

- 1) La superficie de rozamiento $\chi \cdot \Delta l$
- 2) La velocidad al cuadrado (U^2) y a la inversa del área ($\frac{1}{\Omega}$)
- 3) La naturaleza de la pared del canal.

Entonces:

$$\Delta J^* = K \cdot \left(\frac{U^2 \cdot \chi \cdot \Delta l}{\Omega} \right) \cdot f \text{ (nat. de las paredes)} \quad K \cdot f = b \quad y \quad \frac{\Omega}{\chi} = R$$

$$\Delta J^* = b \cdot \left(\frac{U^2 \cdot \Delta l}{R} \right) \rightarrow \frac{\Delta J^*}{\Delta l} = j^* = b \cdot \frac{U^2}{R} \quad (IX-2)$$

En el movimiento uniforme, donde $j^* = i$, despejando U de la ecuación anterior :

$$U = \sqrt{\frac{1}{b} \cdot R \cdot i}$$

O sea

$\mathbf{U} = \mathbf{C} \cdot \sqrt{R \cdot i}$

Expresión de CHEZY (. $i = j$ en régimen Permanente y Uniforme)

ECUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

$$\vec{F}_p + \vec{F}_g + \vec{F}_\mu = \rho \cdot \sum (Q \cdot \beta \cdot \vec{U})$$

Si la aplicamos al caso de movimiento uniforme y permanente, la aceleración es nula, por lo tanto la sumatoria de fuerzas es nula. Las fuerzas que actúan son:

Componente de G (peso) $= \gamma \cdot \Omega \cdot \Delta l \cdot \operatorname{sen} \alpha \approx \gamma \cdot \Omega \cdot \Delta l \cdot i$ (tangente α , seno α y i , son prácticamente iguales)

Fuerzas de rozamiento $= \tau \cdot \chi \cdot \Delta l = k \cdot U^2 \cdot \chi \cdot \Delta l \quad \tau = k \cdot U^2$ (coeficiente experimental)

EXPRESIÓN DE CHEZY

$$\gamma \cdot \Omega \cdot \Delta l \cdot i = k \cdot U^2 \cdot \chi \cdot \Delta l \rightarrow U = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \Omega \cdot i}{f \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{\gamma}{k} \cdot R \cdot i} = \mathbf{C} \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (IX-3)$$

Determinación del coeficiente de CHEZY (C)

Se supone que la expresión de **Chezy** (IX- 3) fue dada a conocer alrededor del año 1775. Las diversas fórmulas que se indican a continuación, han sido determinadas en forma experimental.

a) **Fórmula de TADINI** (1850) : $C = \text{cte} = 50$ Independiente de la naturaleza de las paredes, se aplica en la preparación de anteproyectos y cálculos rápidos para tirantes mayores a 1 mt. Entonces:

$$U = 50 \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (\text{IX- 4}) \quad \text{NO SE EMPLEA}$$

b) **Fórmula de GANGUILLET y KUTTER** (1869) Deducida del estudio de Darcy y Bazin y las realizadas por Humpreis y Abbot en el río Mississippi, empleada en EEUU, Inglaterra y Alemania.

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}} \left(23 + \frac{0,00185}{i} \right)} \quad (\text{IX- 5})$$

En la cual “n”, es un coeficiente que depende exclusivamente de la naturaleza (rugosidad) de las paredes

De esta expresión se deduce que los autores hacen depender C el tipo de canal, de tal forma que al aumentar la rugosidad y por lo tanto “n”, disminuye el valor de C; de la forma del canal, al aumentar R aumenta C, (pero mas lento que R) y de la pendiente i, suponiendo que C aumenta con i en canales pequeños y lisos, y que , por el contrario, disminuye con i en canales grandes y de mucha rugosidad. Sin embargo para valores de i mayores de $5 \cdot 10^{-4}$, C es prácticamente independiente de i.

También C es independiente de i, cuando R = 1, en tal caso $C = \frac{1}{n}$; cuando $R < 1$, C aumenta al aumentar i; y si $R > 1$, C disminuye al aumentar i.

Los autores hicieron notar que para secciones semicirculares, el valor de C obtenido debe aumentarse en 5 ó 6 unidades. Valores de **n** , TABLA N° 1 .

c) **Fórmula de KUTTER**
$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{r}} \quad (\text{IX-6})$$

Es aplicable para pendientes mayores de $5 \cdot 10^{-4}$, “m” es coeficiente de rugosidad de las paredes, C es independiente de i. Aplicaciones, calculo de conductos de desagües urbanos pluviales y cloacales (canales entubados ó llamados también alcantarillas) y en conductos a presión. Es una versión simplificada de la anterior

d) **Fórmula de MANNING** (1890)
$$C = \frac{1}{n} \sqrt[6]{R} \quad (\text{IX- 7})$$

Una de la más empleada por los Ingenieros en la Argentina, es más simple que la de Kutter y tiene un grado aceptable de exactitud. El coeficiente “n” es el mismo que se utiliza en la ecuación (5). TABLA N° 3

e) **Fórmula de BAZIN (1897) :**
$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad (\text{IX}-8)$$

Donde γ depende exclusivamente de la rugosidad de las paredes (no es el peso específico). TABLA N° 2

f) **Fórmula de Forchheimer (1923) :**
$$C = \lambda \sqrt[5]{R} \quad (\text{IX}-9)$$

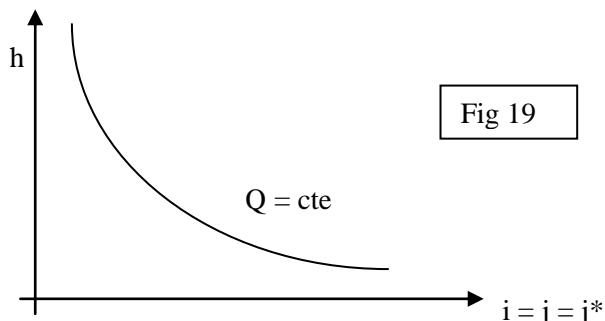
Los valores de λ , dependen de la rugosidad de las paredes, y es $= \frac{1}{n}$. Se hace notar que la expresión de Forchheimer coincide bastante con la de Kutter en radios hidráulicos menores de 0,75 mts y con la de Bazin en los mayores.

CURVA DE LAS PERDIDAS DE ENERGIA UNITARIA

Trazaremos la curva de perdida de energía unitaria j^* en función del tirante h , para un gasto cte y forma del canal cte.

$$U = C \sqrt{R.i} \quad Q = \Omega \cdot C \sqrt{R.i} , \text{ como } j^* = i \rightarrow j^* = j = i = \frac{Q^2}{C^2 \cdot \Omega^2 \cdot R}$$

Si adoptamos la fórmula de Manning :
$$j^* = \frac{Q^2 \cdot n^2}{\Omega^2 \cdot R^{4/3}}$$



DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN UNA SECCION

La velocidad no es constante a través de una sección. En contacto con las paredes sólidas, el líquido está inmóvil, como consecuencia de su adherencia a la pared. A causa del rozamiento, se forma, a partir de la extremidad aguas arriba del canal, una capa límite, la cual, desde que está lo suficientemente alejada de dicho extremo, se extiende a toda la sección mojada.

Con números de Reynolds elevados, y en consecuencia, siempre en las aplicaciones industriales, el régimen es turbulento. En un punto cualquiera, la velocidad varía en magnitud y dirección con el tiempo, lo que llamamos velocidad en un punto es, en realidad, la velocidad media en un intervalo de tiempo. La proyección de la velocidad media sobre el eje es $\vec{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U dt$, siendo T un lapso de tiempo muy largo en relación a la duración de las fluctuaciones.

El gasto $Q = \int_{\Omega} \vec{U} d\Omega$, la velocidad media es, una media en el tiempo y en el espacio de la componente U.

Si el canal es prismático y el régimen uniforme (veloc. media cte a lo largo de todo el canal), la velocidad en un punto cualquiera, es paralela a las generatrices y pro consiguiente normal a la sección del canal, siendo las líneas de corriente rectas paralelas a las generatrices. Si el canal no es prismático, o el régimen no es uniforme, la superficie libre no es paralela al eje del canal, las velocidades no son paralelas entre sí y las líneas de corriente no son rectas paralelas.

Trataremos, sólo casos de canales cuya evolución es continua, progresiva y lenta; en forma general vamos a considerar los casos de movimientos gradualmente variados, es decir tales que la superficie libre conserva la pendiente semejante a la del fondo. Así podemos, en una primera aproximación, despreciar la inclinación de las velocidades con respecto al fondo y admitir que son paralelas entre sí y perpendiculares a la sección.

En contacto con la pared, la velocidad es nula, crece cuando alejamos de esta y alcanza el máximo en la región central (fig 20). El máximo se encuentra ligeramente por debajo de la superficie libre.

Cuando las dimensiones horizontales crecen en relación a las verticales, este se acerca a la superficie libre. En un canal infinitamente ancho estaría ubicado sobre la superficie libre.

La velocidad crece rápidamente cuando se aleja de la pared para conservar un valor poco diferente de la velocidad media U.

Como primera consecuencia admitiremos que la velocidad en la sección es constante e igual a la velocidad media U. Esto nos permite transformar un problema tridimensional en uno unidimensional, dependiendo la velocidad sólo de la abscisa de la sección, siempre que el régimen sea permanente.

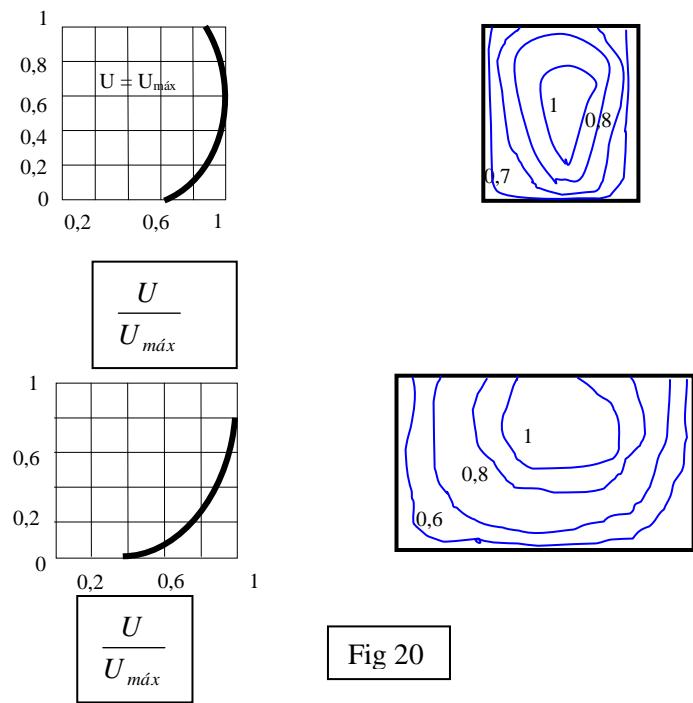


Fig 20

Para el cálculo de α y β , podemos decir que en canales de formas simples el valor de α oscila entre 1,05 y 1,15 de manera que en los cálculos previos se acostumbra adoptar $\alpha = 1,1$ ó con menos rigor = 1.

Conviene advertir a este respecto lo siguiente:

- 1.- Que en secciones irregulares o de formas compuestas α puede exceder de 1,30.
- 2.- Que para dos secciones transversales iguales en movimiento uniforme α es mayor cuanto mas rugosas sean las paredes.
- 3.- En movimiento gradualmente variado, α tiende a aumentar de aguas arriba hacia aguas abajo, cuando hay divergencia de los filetes (remansos de sobre elevación, ensanchamientos, etc) y por el contrario tiende a disminuir hacia aguas abajo cuando hay convergencia de los filetes (remansos de depresión, estrechamientos ..) Como corolario de lo anterior, cuando un escurreimiento se acerca al régimen crítico, sin que ello implique una curvatura muy pronunciada de los filetes el valor de α tiende a la unidad.

VELOCIDADES LIMITES

LOS CRITERIOS DE VELOCIDADES LIMITES , SON MANDATORIOS EN EL DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE CONDUCCIONES A SUPERFICIE LIBRE .

LOS CÁLCULOS Y VERIFICACIONES , IMPLICAN NECESARIAMENTE , VERIFICAR LA VELOCIDAD MAXIMA Y LA VELOCIDAD MINIMA , QUE SE PRODUCE EN TODAS LAS SECCIONES DEL CANAL A DISEÑAR Y VERIFICAR .

La **velocidad máxima** para un escurrimiento a superficie libre viene dada ,según la naturaleza de las paredes, podemos indicar a modo de ejemplo , que para tierra sería de **0,6 a 0,7 m/seg** y para hormigón de **5 mts/seg** aproximadamente-

La **velocidad mínima**, necesaria para evitar embanques y formación de plantas acuáticas, por ejemplo según KENNEDY:

$$U_{\min} = \beta \cdot h^5, \quad \text{donde } \beta, \text{ es función del material en suspensión ,oscila entre 0,3 y 0,65 .}$$

SECCIONES MÁS CONVENIENTES

SECCIONES DE MINIMA RESISTENCIA

SECCIONES DE GASTO MAXIMO

SECCIONES MAS ECONOMICAS

A veces interesa determinar, para algunas formas geométricas, qué sección, **en igualdad de área**, tiene mayor capacidad de transporte de caudal.

Es evidente que para la misma área Ω , el gasto será máximo cuando el radio hidráulico R sea máximo y por ser Ω constante, el perímetro mojado χ debe ser mínimo (secciones de mínima resistencia).

Para una sección semicircular, la superficie libre debe coincidir con el diámetro del círculo, el tirante hidráulico debe ser igual al radio del círculo y el radio hidráulico será $R = h / 2$.

El perfil trapecial isósceles que corresponde al máximo gasto es, para cada inclinación de los taludes m , el que pudiera circunscribir en una semicircunferencia cuyo diámetro coincida con la superficie libre.

La sección rectangular puede considerarse como caso límite del anterior, cuando $m \rightarrow 0$, lo que conduce a un ancho igual al doble de la altura. Es sencillo comprobar que, de los tres perfiles indicados, el semicircular es el que, para un mismo gasto, necesita menores dimensiones. Por ser un perfil de difícil construcción, se adopta frecuentemente el perfil trapecial.

A veces perfil trapecial, es poco conveniente, para un gasto máximo, cuando su diseño exige grandes valores en su altura.

TEÓRICAMENTE LA SECCIÓN MÁS ECONÓMICA ES LA QUE OFRECE LA MÍNIMA RESISTENCIA, PERO EN LA PRÁCTICA, ESTE CRITERIO NO CONDUCE A LA SECCIÓN MÁS CONVENIENTE.

La sección más conveniente es la que , siendo **técnicamente aceptable**, resulta la más económica y esto no significa que sea la de menor costo en su construcción, sino también debe ser la de **menor costo anual de operación**, para ello debemos tener en cuenta la incidencia sobre el costo de los siguientes factores :

- a) **Mayor profundidad de la obra de revancha ($h + \% h$)**
- b) **Ancho de la zona a expropiar**
- c) **Pendiente transversal**
- d) **Talud, según el material**
- e) **Costo a mayor profundidad**
- f) **Relación Q_{\max} / Q_{\min}**
- g) **Existencia de equipos adecuados (por ejemplo retroexcavadoras) .**
- h) **Existencia de encofrados metálicos para determinadas formas .**
- i) **Necesidad o no de revestimiento .**
- j) **Otras condiciones particulares del Proyecto .**

Igualmente , aunque NO PROYECTEMOS con el criterio de minima resistencia , siempre es MUY UTIL , conocer cual seria dicha sección , a efecto de comparar cuanto nos estamos apartando de la misma , por cualquiera que fuera la razon .

PLANTEO DE LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN

Los problemas que se presentan en el diseño de canales pueden resumirse

1.- VERIFICACIÓN

Se tiene un canal cuyos datos son conocidos, sección Ω , perímetro mojado χ , índice de rugosidad n , pendiente de la solera o fondo del canal i ; debemos verificar el caudal Q .

2.- PROYECTO

Dado n , i y Q , se debe diseñar la sección Ω

Como hemos visto, las ecuaciones de aplicación son simples, pero su relación matemática (potencias fraccionarias y otras), implica que no sean de despeje directo de las variables y parámetros del canal.

Por este motivo y en las épocas pre COMPUTADORA, era necesario preparar tablas y abacos que simplificaran las tareas de proyecto, tablas que Uds. emplearan en sus T.P. 's.

TABLAS ADIMENSIONALES DE WOODWARD y POSEY, PROGRAMAS DE CALCULO, PLANILLA ELECTRONICA EXEL, MATHCAD.

Estas tablas facilitan el cálculo de canales con movimiento uniforme y permanente, fueron realizadas de acuerdo al siguiente razonamiento.

De la ecuación de Continuidad y la ecuación de CHEZY, tenemos :
$$Q = C \cdot \Omega \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

$$\text{de Manning} \quad C = \frac{1}{n} \sqrt[n]{R}$$

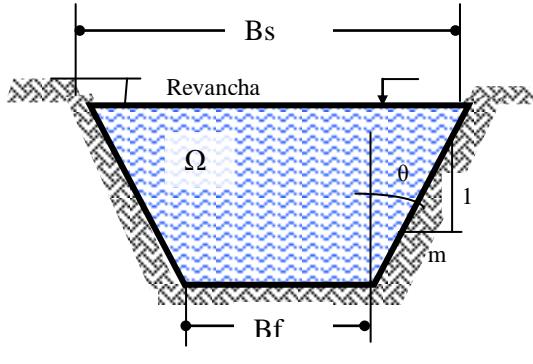
$$\Rightarrow Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (\text{IX-16}) \quad \text{como } R = \frac{\chi}{\Omega} \Rightarrow Q = \frac{1}{n \cdot \chi^{\frac{2}{3}}} \cdot \Omega^{\frac{5}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (\text{IX-17})$$

Si las unidades de n es ($\text{m}^{-1/3} \cdot \text{seg}$), se comprueba que la (IX-17) es, en referencia a sus unidades, homogénea. Entonces las relaciones:

$$\frac{Q \cdot n}{\Omega \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}} = 1 \quad (\text{IX-18}) \quad \text{y} \quad \frac{Q \cdot n \cdot \chi^{\frac{2}{3}}}{\Omega^{\frac{5}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}} = 1 \quad (\text{IX-19}) \quad \text{Son adimensionales}$$

EJEMPLOS

a) SECCION TRAPEZIAL



$$\Omega = (B_f + m \cdot h) \cdot h = h^2 \cdot \left(\frac{B_f}{h} + m \right)$$

$$\chi = B_f + 2 \sqrt{m^2 \cdot h^2 + h^2} = h \left(\frac{B_f}{h} + 2 \sqrt{m^2 + 1} \right)$$

Reemplazando en (IX- 19):

$$\frac{\left(\frac{B_f}{h} + 2 \sqrt{m^2 + 1} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot Q \cdot n \cdot h^{\frac{1}{3}}}{\left(\frac{B_f}{h} + m \right)^{\frac{5}{3}} \cdot h^3 \cdot i^{\frac{1}{2}}} = 1$$

de donde:

$$\frac{Q \cdot n \cdot h^{\frac{1}{3}}}{h^3 \cdot i^{\frac{1}{2}}} = f\left(\frac{B_f}{h}; m\right) \quad (IX-20 a) \quad \text{TABLA 6 a-b}$$

$$6 \quad \frac{Q \cdot n}{B_f^{\frac{8}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}} = f\left(\frac{B_f}{h}; m\right) \quad (IX-20 b) \quad \text{TABLA 7 a-b}$$

$\frac{h}{B_f}$	$m = 0$	$m = 1/2$		$m = 4$
		(IX-20)		

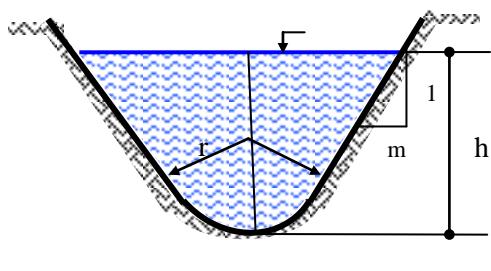


Seccion Trapecial

$$Q := \frac{\sqrt{i}}{n} \cdot \left(\frac{B_f}{h} + m \right)^{\frac{5}{3}} \cdot \left(\frac{B_f}{h} + 2 \cdot \sqrt{1 + m^2} \right)^{\frac{-2}{3}} \cdot h^{\frac{8}{3}}$$

b) SECCIÓN TOLVA

(similar al caso del canal trapecial)

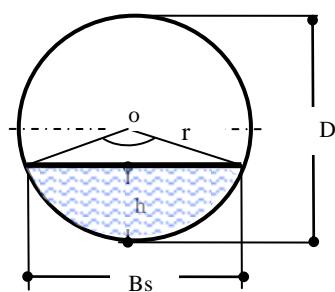


$$\frac{Q \cdot n \cdot r^{\frac{1}{3}}}{r^3 \cdot i^{\frac{1}{2}}} = f(h/r; m) \quad (\text{IX-22})$$

$$\frac{Q \cdot n \cdot h^{\frac{1}{3}}}{h^3 \cdot i^{\frac{1}{2}}} = f(h/r; m) \quad (\text{IX-23})$$

CON LOS ADIMENSIONALES , O BIEN PROGRAMANDO LAS FORMULAS EN MATHCAD , EXEL , ETC.

c) SEGMENTO DE CÍRCULO



$$\frac{Q \cdot n \cdot D^{\frac{1}{3}}}{D^3 \cdot i^{\frac{1}{2}}} = f(h/D) \quad (\text{IX-24}) \quad \text{TABLA 8}$$

$$\frac{Q \cdot n \cdot h^{\frac{1}{3}}}{h^3 \cdot i^{\frac{1}{2}}} = f(h/D) \quad (\text{IX-25})$$

CON LOS ADIMENSIONALES , O BIEN PROGRAMANDO LAS FORMULAS EN MATHCAD , EXEL , ETC.

CALCULO DE CANALES

VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE (Q)

Datos: Q, m, n, i, h, B_f Incógnita: Q

Se calcula $\frac{h}{B_f}$ y con m , se determina el valor de $\frac{Q \cdot n \cdot h^{1/3}}{h^3 \cdot i^{1/2}}$ ó bien de $\frac{Q \cdot n}{B_f^{8/3} \cdot i^{1/2}}$, de donde despejamos Q .

Otra manera es con las fórmulas, ya vistas, determinando el área, el valor del perímetro mojado, la velocidad U (Chezy) y finalmente el caudal Q (continuidad).

DISEÑO DE LA SECCIÓN

Datos: Q, i (pendiente del terreno) Se fijan los valores de n, m ; de acuerdo a las características del terreno y/o del revestimiento a emplear

Se elige $\frac{h}{B_f}$ (h ó B_f , según criterios a ver mas adelante)

1.- Fijando U según terreno ó revestimiento, por lo tanto $\Omega = \frac{Q}{U} = cte$.

1.1.- Se fija relación $\frac{h}{B_f}$, de la expresión de Ω , despejamos h :

$$h = \sqrt{\frac{\Omega}{m + \frac{B_f}{h}}}, \text{ con } m \text{ y } \frac{h}{B_f}, \text{ se calcula } h. \text{ Con } \frac{h}{B_f} \text{ y } h, \text{ se calcula } B_f.$$

Luego con m y $\frac{h}{B_f}$, de tabla se obtiene $\frac{Q \cdot n}{h^{8/3} \cdot i^{1/2}} = A_{\text{Trap}}$ A_{Trap} : Adimensional canal trapezoidal

De donde obtenemos i .

1.2.- Se fija h , de la expresión de Ω se obtiene B_f , se calcula $\frac{h}{B_f}$. Con $\frac{h}{B_f}$ y m de tabla se determina A_{Trap} y finalmente se calcula i .

1.3.- Se fija B_f , de Ω despejamos h , calculamos $\frac{h}{B_f}$. Con m y $\frac{h}{B_f}$, de tabla se determina A_{Trap} , **obteniendo finalmente i .**

En cualquiera de los tres casos se puede llegar a :

$i < i_t$, se deben proyectar saltos en el canal.

$i = i_b$ no existen inconvenientes.

$i > i_t$ se debe modificar el cálculo fijando la pendiente del canal igual a la del terreno, procediendo de la siguiente forma

2.- Fijando i , menor ó igual a la pendiente del terreno

Siendo $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$, para $i = \text{cte}$ y R casi cte (función de h), por lo tanto $U = \text{cte} \Rightarrow \Omega = \text{cte}$.

2.1.- Se fija $\frac{h}{B_f}$, y con m , de tabla se obtiene $A_{\text{Trap}} = \frac{Q \cdot n}{h^{\frac{8}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}}$, con A_{Trap} se obtiene h ; y finalmente con

$\frac{h}{B_f}$ y h se calcula B_f .

* **Se debe verificar SIEMPRE que la velocidad se encuentre debajo de la admisible , por EROSION**
 $U \leq U_{\text{adm}}$

2.2.- Se fija h , se calcula $A_{\text{Trap}} = \frac{Q \cdot n}{h^{\frac{8}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}}$, de tabla con A_{Trap} y m se determina $\frac{h}{B_f}$.

Con h y $\frac{h}{B_f}$, se calcula B_f .

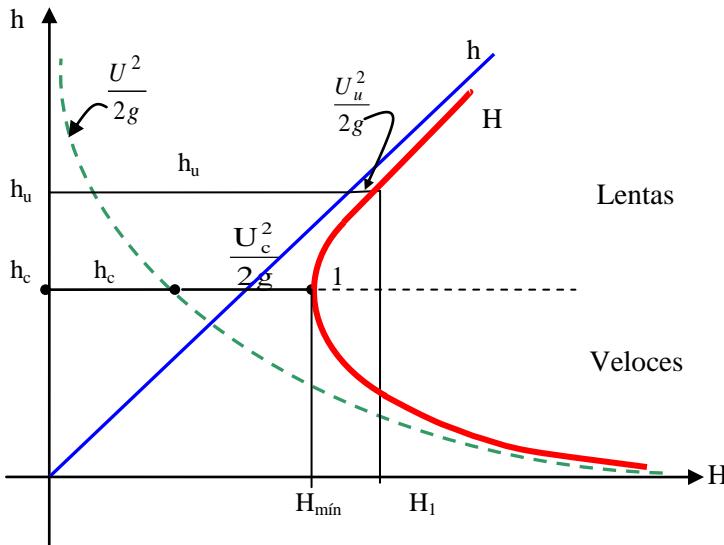
* **Verificar que $U \leq U_{\text{adm}}$**

2.3.- Se fija B_f , se calcula $A_{\text{Trap}} = \frac{Q \cdot n}{B_f^{\frac{8}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}}$, de tabla con A_{Trap} y m se determina $\frac{h}{B_f}$.

Con B_f y $\frac{h}{B_f}$, se calcula h .

* **Verificar que $U \leq U_{\text{adm}}$**

Nota: en todos los casos debe calcularse el tirante crítico h_c , y se debe verificar que la energía propia supere en un 5% a la H_c . , o en canales veloces , que se encuentre ese porcentaje por debajo .
Esto es para evitar que pequeños cambios en las condiciones reales de la obra , provoquen un cambio de régimen y oscilación de los parámetros del canal . (velocidad , tirante , etc.) .



ENERGIA PROPIA DE LA CORRIENTE

CRITERIOS PARA FIJAR $\frac{h}{B_f}$

a) **Por experiencia** $\frac{h}{B_f} = 0,5$

b) **Mínima resistencia** (fijando m según características del terreno o revestimiento) .

Según se ha visto, tanto fijando U como i , resulta $\Omega = \text{cte}$. La mínima resistencia ($Q = \text{máximo}$) se obtiene para **perímetro mojado mínimo**.

$$\chi = B_f + 2 h \sqrt{m^2 + 1} \quad \Omega = h (B_f + m h) \Rightarrow B_f = \frac{\Omega}{h} - mh$$

$$\chi = \frac{\Omega}{h} - mh + 2 h \sqrt{m^2 + 1} \quad (\text{IX-26})$$

Derivando respecto de h (siendo m y $\Omega = \text{cte}$) :

$$\frac{d\chi}{dh} = -\frac{\Omega}{h_0^2} - m + 2\sqrt{1+m^2} = 0 \Rightarrow h_0^2 = \frac{\Omega}{2\sqrt{1+m^2} - m} = \frac{h_0^2 \left(\frac{B_f}{h_0} + m \right)}{-m + 2\sqrt{1+m^2}}$$

de donde:

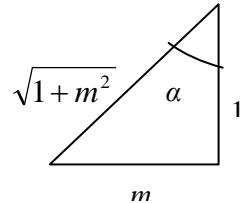
$$\frac{h_0}{B_f} = \frac{1}{2 \left(-m + \sqrt{1+m^2} \right)} \quad (\text{IX-27})$$

c) Mínima resistencia (sin fijar m)

Si Ω se mantiene cte, dejando $h = \text{cte}$, tendremos un talud m , que hace mínimo el perímetro.

$$\chi = \frac{\Omega}{h} - mh + 2h\sqrt{m^2 + 1}$$

$$\chi = \frac{\Omega}{h} + 2 \cdot \frac{h}{\cos \alpha} - h \cdot \tan \alpha = \frac{\Omega}{h} + h \left(\frac{2}{\cos \alpha} - \tan \alpha \right)$$

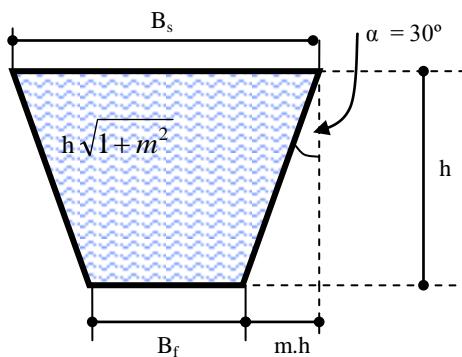


$$\frac{d\chi}{d\alpha} = h \left(\frac{2 \sin \alpha_0 - 1}{\cos^2 \alpha_0} \right) = 0$$

$$\Rightarrow 2 \sin \alpha - 1 = 0 \quad \Rightarrow \sin \alpha = \frac{1}{2} \quad \boxed{\text{Entonces } \alpha = 30^\circ}$$

este valor de α , nos permite determinar, la sección del canal que cumple con el requisito de mínima resistencia debe ser de forma semi-hexagonal. En donde:

$$B_s = 2h\sqrt{1+m^2} = 2B_f$$



El terreno, debe ser capaz de soportar el m que surge de esta adopción

NORMAS GENERALES PARA EL PROYECTO DE CANALES

1.- La sección debe alejarse de los **valores críticos** $H > 1,05 H_c$, donde $H_c = h_c + \frac{U_c^2}{2g}$

2.- La relación entre el tirante uniforme y el crítico mantiene un valor casi constante, si varía el gasto de un canal con pendiente constante. Veamos esta relación aplicada a un canal rectangular

$$\Omega = B \cdot h ; \quad R = \frac{\Omega}{B + 2h} ; \quad Q = \frac{\Omega \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n} = \frac{B \cdot h^{5/3} \cdot i^{1/2}}{n} \Rightarrow$$

$$h = \left(\frac{Q}{B} \cdot \frac{n}{i^{1/2}} \right)^{5/3} = \left(q \cdot \frac{n}{i^{1/2}} \right)^{5/3} ; \text{ sabemos que } h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \Rightarrow \frac{h}{h_c} = \frac{n^{5/3} \cdot g^{1/3}}{i^{3/10}} \cdot q^{-1/5}$$

Siendo $q^{-\frac{1}{15}}$, un valor pequeño, podemos decir que $\frac{h}{h_c} = \pm K$. De modo que si un canal se proyecta en régimen lento, si se modifica el gasto, conservará el régimen lento; pero en régimen veloz, dada la forma de la curva de energía, puede suceder que calculando el canal para un gasto dado Q , de modo que la condición J , sea estable, los gastos pequeños, pueden escurrir en la zona inestable, próxima al crítico. Para ello en canales de régimen veloz deben satisfacerse ciertas relaciones que cumplan con valores límites, por ejemplo:

Sección TRAPECIAL

Taludes m	$\frac{g.n^2}{i.B_f^{\frac{1}{3}}}$
1/4	0,20 a 0,375
1/2	0,20 a 0,416
3/4	0,20 a 0,80
1	0,20 a 0,96
1 ^{1/2}	0,20 a 1,16
2	0,20 a 1,32

Sección TOLVA

Taludes m	$\frac{g.n^2}{i.r^{\frac{1}{3}}}$
0	0,14 a 0,553
1/4	0,14 a 0,553
1/2	0,13 a 0,59
3/4	0,12 a 0,72
1	0,12 a 0,83
2	0,10 a 1,02

En la sección segmento de círculo $\frac{g.n^2}{i.r^{\frac{1}{3}}}$ varía entre 0,14 y 0,553.

Para secciones parabólicas $\frac{g.n^2.p^{\frac{1}{3}}}{i.B^{\frac{1}{3}}}$ varía entre 0,04 y 0,95.

c) En el proyecto de canales, cuando se presentan singularidades, transiciones de soleras, curvas, cambios de pendiente, etc, debe realizarse el diseño en base a la línea de energía a fin de ubicar correctamente el nivel de la solera

TABLA N° 1 – Valores de n por GAUNGUILLET- KUTTER

CATEGORIA	Naturaleza de las paredes	n
1	De madera cuidadosamente cepilladas o enlucidos de cemento	0,010
2	De tablas de madera en bruto	0,012
3	De mampostería en ladrillo bien rejuntado	0,013
4	De mampostería de piedra en bruto	0,017
5	De tierra	0,025
6	Grandes cursos de agua con cauce irregular y plantas acuáticas	0,030

TABLA N° 2 – Valores de γ dados por BAZIN

CATEGORIA	Naturaleza de las paredes	γ
1	Paredes muy lisas (enlucido de cemento, madera cepillada,etc)	0,06
2	Paredes lisas (madera, ladrillos, piedra labrada)	0,16
3	Mampostería común	0,46
4	Secciones en tierra muy uniformes	0,85
5	De tierra, en condiciones ordinarias	1,30
6	De tierra con resistencia al escurrimiento (paredes con vegetación)	1,75

TABLA N° 3 – Valores de *n* de la fórmula de MANNING

CATEGORIA	Naturaleza de las paredes	<i>n</i>
1	Revestimientos vitrificados ó esmaltados	0,003
2	Paredes de madera <ul style="list-style-type: none"> a) Tablas cepilladas, perfectamente colocadas b) Tablas cepilladas, colocación inferior c) Sin cepillar, perfectamente colocadas d) Sin cepillar, colocación inferior 	0,010 0,012 0,012 0,014
3	Metálicas <ul style="list-style-type: none"> a) Chapa pulida b) Chapa remachada 	0,010 0,015
4	Mampostería <ul style="list-style-type: none"> a) Con enlucido de cemento alisado b) Revoque de mortero alisado c) Ladrillos de máquina d) Ladrillos comunes 	0,010 0,012 0,013 0,015
5	Paredes de hormigón <ul style="list-style-type: none"> a) Moldeado con encofrado metálico b) Con encofrado de madera 	0,013 0,015
6	Paredes de tierra <ul style="list-style-type: none"> a) Revestidas con pedregullo bien apisonado b) Tierra alisada en perfectas condiciones c) Tierra en condiciones naturales d) Tierra en malas condiciones (escombros o vegetación) 	0,020 0,020 0,023 0,040
7	PVC (policloruro de vinilo)	0,009 a 0,010
8	PRFV (Plástico reforzado con fibra de vidrio)	0,010 a 0,011
9	Asbesto -cemento	0,011 a 0,012
10	Hierro dúctil	0,012 a 0,013
11	Acero revestido	0,011 a 0,013

T A B L A N° 4

Velocidades medias de la corriente que son admisibles (no erosivas)
para suelos no cohesivos, en m/s

Diámetro me- dio de las partículas, en mm.	Tirante medio de la corriente, en m.								
	0.40	1.00	2.00	3.00	5.00	más de 10			
Polvo y limo	0.005-0.05	0.15-0.2	0.2	-0.30	0.25 0.40 0.30 0.45	0.40-0.55	0.45-0.65		
Arena fina	0.05 -0.25	0.20-0.35	0.3	-0.45	0.40-0.55	0.45-0.60	0.55-0.70	0.65-0.80	
Arena media	0.25 -1.0	0.35-0.50	0.45	-0.60	0.55-0.70	0.60-0.75	0.70-0.85	0.80-0.95	
Arena gruesa	1.0 -2.5	0.50-0.65	0.60	-0.75	0.70-0.80	0.75-0.90	0.85-1.00	0.95-1.20	
Gravilla fina	2.5 -5.0	0.65-0.80	0.75-0.85	0.80-1.00	0.90-1.10	1.00-1.20	1.20-1.50		
Gravilla media	5.0 -10	0.80-0.90	0.85	-1.05	1.00-1.15	1.10-1.30	1.20-1.30	1.50-1.75	
Gravilla gruesa	10 -15	0.90-1.10	1.05	-1.20	1.15-1.35	1.30-1.50	1.45-1.65	1.75-2.00	
Grava fina	15 -25	1.10-1.25	1.20	-1.45	1.35-1.65	1.50-1.85	1.65-2.00	2.00-2.30	
Grava media	25 -40	1.25-1.50	1.45	-1.85	1.65-2.10	1.85-2.30	2.00-2.45	2.30-2.70	
Grava gruesa	40 -75	1.50-2.00	1.85	-2.40	2.10-2.75	2.30-3.10	2.45-3.30	2.70-3.60	
Guijarro fino	75 -100	2.00-2.45	2.40	-2.80	2.75-3.20	3.10-3.50	3.30-3.80	3.60-4.20	
Guijarro medio	100 -150	2.45-3.00	2.80	-3.35	3.20-3.75	3.50-4.10	3.80-4.40	4.20-4.50	
Guijarro grueso	150 -200	3.00-3.50	3.35	-3.80	3.75-4.30	4.10-4.65	4.40-5.00	4.50-5.40	
Canto rodado fino	200 -300	3.50-3.85	3.80	-4.35	4.30-4.70	4.65-4.90	5.00-5.50	5.40-5.90	
Canto rodado medio	300 -400			4.35	-4.75	4.70-4.95	4.90-5.30	5.50-5.60	5.90-6.00
Canto rodado grueso	400 -500 o más					4.95-5.35	5.30-5.50	5.60-6.0	6.00-6.20

VELOCIDADES LIMITE DE EROSION
(SE OBTIENEN DE LOS MANUALES)

T A B. L A N°16.

CALCULO DE CANALES DE SECCION TRAPEZIAL EN MOVIMIENTO UNIFORME FORMULA DE MANNIG

GAUCKLER

STRIKLER

Valores de $\frac{Q \cdot h^{1/3} \cdot n}{h^3 \cdot 12}$

$\frac{h}{E_x}$	$m = 0$	$m = \frac{1}{2}$	$m = \frac{3}{4}$	$m = \frac{1}{4}$	$m = 1\frac{1}{2}$	$m = 1\frac{3}{4}$	$m = 2\frac{1}{2}$	$m = 2\frac{3}{4}$	$m = 3$	$m = 4$
0,01	98,7	99,1	99,3	99,6	99,8	100,0	100,1	100,4	100,5	101,3
0,02	48,7	49,1	49,4	49,6	49,8	50,0	50,1	50,4	50,7	51,3
0,03	32,0	32,4	32,7	33,0	33,2	33,3	33,5	33,8	34,1	34,7
0,04	23,8	24,1	24,4	24,6	24,8	25,0	25,2	25,4	25,7	26,4
0,05	18,8	19,1	19,4	19,7	19,9	20,1	20,2	20,5	20,7	21,0
0,06	15,5	15,8	16,1	16,4	16,5	16,7	16,9	17,2	17,4	18,2
0,07	13,09	13,44	13,7	14,0	14,2	14,3	14,5	14,8	15,1	15,9
0,08	11,52	11,67	11,93	12,20	12,40	12,59	12,75	13,06	13,34	13,6
0,09	9,95	10,29	10,56	10,82	11,03	11,21	11,38	11,68	11,97	12,26
0,10	8,86	9,19	9,52	9,72	9,93	10,11	10,28	10,59	10,88	11,17
0,11	7,96	8,30	8,59	8,82	9,03	9,21	9,38	9,70	9,99	10,28
0,12	7,22	7,56	7,84	8,08	8,28	8,47	8,64	8,96	9,25	9,55
0,13	6,60	6,93	7,21	7,44	7,65	7,84	8,01	8,33	8,63	8,92
0,14	6,06	6,39	6,67	6,90	7,11	7,30	7,47	7,79	8,10	8,40
0,15	5,50	5,92	6,20	6,44	6,65	6,84	7,01	7,33	7,64	7,94
0,16	5,20	5,52	5,79	6,03	6,24	6,43	6,60	6,93	7,23	7,54
0,17	4,84	5,16	5,44	5,67	5,88	6,07	6,26	6,58	6,88	7,19
0,18	4,53	4,85	5,12	5,36	5,57	5,75	5,93	6,25	6,57	7,48
0,19	4,25	4,56	4,83	5,07	5,28	5,47	5,65	5,98	6,29	6,60
0,20	4,00	4,31	4,58	4,82	5,03	5,22	5,39	5,72	6,04	6,35
0,21	3,77	4,08	4,35	4,59	4,80	4,99	5,16	5,49	5,81	6,12
0,22	3,57	3,87	4,15	4,37	4,59	4,78	4,95	5,29	5,61	5,92
0,23	3,38	3,68	3,95	4,19	4,39	4,58	4,76	5,10	5,42	5,75
0,24	3,21	3,51	3,78	4,01	4,22	4,41	4,59	4,93	5,24	5,56
0,25	3,06	3,35	3,62	3,86	4,06	4,25	4,43	4,76	5,09	5,40
0,26	2,91	3,21	3,47	3,71	3,92	4,11	4,29	4,62	4,95	5,26
0,27	2,78	3,08	3,34	3,57	3,78	3,97	4,15	4,49	4,81	5,13
0,28	2,66	2,95	3,21	3,45	3,65	3,84	4,02	4,36	4,68	5,00
0,29	2,54	2,88	3,10	3,33	3,55	3,73	3,91	4,25	4,57	4,89
0,30	2,44	2,73	2,99	3,22	3,43	3,62	3,80	4,14	4,46	4,78
0,31	2,34	2,62	2,89	3,12	3,32	3,52	3,69	4,04	4,38	4,68
0,32	2,25	2,53	2,79	3,02	3,23	3,42	3,60	3,94	4,27	4,59
0,33	2,16	2,45	2,71	2,93	3,14	3,33	3,51	3,86	4,18	4,50
0,34	2,08	2,36	2,62	2,85	3,06	3,25	3,43	3,77	4,10	4,41
0,35	2,01	2,29	2,54	2,77	2,98	3,17	3,35	3,69	4,02	4,34
0,36	1,94	2,21	2,47	2,70	2,91	3,10	3,28	3,62	3,94	4,27
0,37	1,87	2,15	2,40	2,62	2,83	3,02	3,20	3,55	3,88	4,20
0,38	1,80	2,08	2,34	2,56	2,77	2,96	3,14	3,48	3,81	4,13
0,39	1,74	2,02	2,37	2,50	2,71	2,99	3,08	3,42	3,75	4,07
0,40	1,69	1,97	2,21	2,44	2,64	2,83	3,02	3,36	3,69	4,01
0,41	1,64	1,91	2,15	2,38	2,59	2,78	2,96	3,30	3,63	3,96
0,42	1,59	1,86	2,11	2,33	2,54	2,73	2,91	3,25	3,58	3,90
0,43	1,54	1,80	2,05	2,27	2,48	2,67	2,85	3,20	3,53	3,86
0,44	1,49	1,76	2,01	2,23	2,44	2,62	2,81	3,15	3,48	3,81
0,45	1,45	1,72	1,96	2,18	2,39	2,58	2,76	3,10	3,44	3,76
0,46	1,41	1,67	1,92	2,14	2,34	2,54	2,72	3,06	3,39	3,71
0,47	1,37	1,63	1,87	2,10	2,30	2,49	2,67	3,02	3,35	3,67
0,48	1,331	1,59	1,83	2,06	2,26	2,45	2,63	2,98	3,31	3,63
0,49	1,294	1,55	1,80	2,02	2,22	2,41	2,59	2,94	3,27	3,59
0,50	1,260	1,52	1,76	1,98	2,19	2,38	2,56	2,90	3,24	3,56
0,52	1,196	1,45	1,69	1,91	2,11	2,31	2,49	2,83	3,16	3,49
0,54	1,137	1,39	1,63	1,84	2,05	2,24	2,42	2,77	3,10	3,43
0,56	1,082	1,331	1,57	1,79	1,99	2,18	2,36	2,71	3,04	3,37
0,58	1,032	1,279	1,51	1,73	1,93	2,13	2,31	2,65	2,99	3,31
0,60	0,985	1,250	1,46	1,68	1,88	2,07	2,25	2,60	2,93	3,26
0,62	0,942	1,184	1,49	1,64	1,84	2,03	2,21	2,55	2,89	3,21
0,64	0,902	1,142	1,37	1,59	1,79	1,98	2,16	2,50	2,84	3,17

EJEMPLO DE TABLA DE WOODWARD Y POSEY

CANAL TRAPEZIAL (función de Bf)

VII-73

T A B L A N°17.

CALCULO DE CANALES DE SECCION TRAPEZIAL EN MOVIMIENTO UNIFORME. FORMULA DE GAUSSIER, MANNING, STRICKLER

$\frac{h}{B_f}$	$\frac{Q \cdot B_f^{1/2} \cdot n}{B_f^3 \cdot 1^{1/2}}$										
	$n = 0$	$n = \frac{1}{2}$	$n = \frac{1}{4}$	$n = \frac{3}{4}$	$n = 1$	$n = 1\frac{1}{4}$	$n = 1\frac{1}{2}$	$n = 2$	$n = 2\frac{1}{4}$	$n = 3$	$n = 4$
0,02	0,00143	0,00144	0,00145	0,00145	0,00147	0,00147	0,00148	0,00148	0,00148	0,00150	0,00151
0,03	0,00279	0,00282	0,00285	0,00287	0,00289	0,00290	0,00291	0,00294	0,00296	0,00302	0,00309
0,04	0,00445	0,00451	0,00457	0,00461	0,00464	0,00465	0,00471	0,00476	0,00481	0,00486	0,00495
0,05	0,00637	0,00649	0,00660	0,00667	0,00673	0,00680	0,00686	0,00693	0,00700	0,00715	0,00734
0,06	0,00855	0,00875	0,00888	0,00902	0,00915	0,00922	0,00929	0,00949	0,00962	0,00976	0,0100
0,07	0,0109	0,0112	0,0114	0,0116	0,0118	0,0119	0,0121	0,0123	0,0125	0,0128	0,0132
0,08	0,0135	0,0139	0,0142	0,0145	0,0147	0,0149	0,0151	0,0155	0,0158	0,0162	0,0166
0,09	0,0152	0,0168	0,0172	0,0176	0,0180	0,0182	0,0185	0,0189	0,0192	0,0209	0,0216
0,10	0,0190	0,0198	0,0205	0,0209	0,0214	0,0218	0,0221	0,0228	0,0234	0,0241	0,0258
0,11	0,0221	0,0230	0,0238	0,0245	0,0251	0,0255	0,0260	0,0269	0,0278	0,0285	0,0302
0,12	0,0253	0,0264	0,0275	0,0283	0,0290	0,0297	0,0303	0,0314	0,0324	0,0334	0,0355
0,13	0,0286	0,0300	0,0312	0,0323	0,0332	0,0340	0,0347	0,0361	0,0374	0,0387	0,0413
0,14	0,0320	0,0337	0,0353	0,0365	0,0376	0,0386	0,0395	0,0412	0,0428	0,0444	0,0474
0,15	0,0355	0,0376	0,0394	0,0409	0,0422	0,0434	0,0446	0,0466	0,0485	0,0504	0,0542
0,16	0,0382	0,0417	0,0437	0,0455	0,0470	0,0485	0,0493	0,0522	0,0546	0,0589	0,0614
0,17	0,0428	0,0458	0,0483	0,0503	0,0522	0,0538	0,0554	0,0583	0,0610	0,0637	0,0693
0,18	0,0468	0,0501	0,0529	0,0553	0,0575	0,0594	0,0612	0,0647	0,0680	0,0707	0,0774
0,19	0,0507	0,0544	0,0577	0,0606	0,0636	0,0653	0,0673	0,0713	0,0754	0,0787	0,0861
0,20	0,0547	0,0589	0,0627	0,0659	0,0686	0,0713	0,0740	0,0781	0,0828	0,0868	0,0949
0,21	0,0588	0,0635	0,0680	0,0713	0,0747	0,0774	0,0805	0,0855	0,0902	0,0956	0,105
0,22	0,0629	0,0680	0,0734	0,0774	0,0806	0,0841	0,0878	0,0935	0,0989	0,104	0,115
0,23	0,0671	0,0734	0,0767	0,0835	0,0875	0,0909	0,0949	0,102	0,108	0,114	0,126
0,24	0,0713	0,0781	0,0841	0,0895	0,0935	0,0983	0,102	0,110	0,116	0,126	0,137
0,25	0,0760	0,0835	0,0895	0,0956	0,101	0,108	0,116	0,124	0,134	0,149	0,162
0,26	0,0801	0,0882	0,0956	0,102	0,108	0,115	0,122	0,127	0,136	0,145	0,162
0,27	0,0846	0,0935	0,102	0,109	0,115	0,121	0,127	0,137	0,147	0,166	0,175
0,28	0,0895	0,0989	0,108	0,116	0,122	0,129	0,135	0,146	0,157	0,168	0,189
0,29	0,0935	0,104	0,114	0,122	0,130	0,137	0,144	0,156	0,168	0,180	0,205
0,30	0,0983	0,110	0,120	0,130	0,138	0,146	0,153	0,163	0,178	0,192	0,218
0,31	0,103	0,116	0,127	0,137	0,146	0,155	0,164	0,172	0,189	0,205	0,234
0,32	0,108	0,121	0,134	0,145	0,155	0,164	0,172	0,189	0,205	0,220	0,250
0,33	0,112	0,127	0,141	0,153	0,164	0,173	0,182	0,201	0,217	0,234	0,267
0,34	0,117	0,133	0,147	0,156	0,172	0,183	0,193	0,212	0,231	0,248	0,284
0,35	0,122	0,139	0,155	0,169	0,181	0,193	0,204	0,225	0,244	0,264	0,302
0,36	0,128	0,145	0,162	0,177	0,190	0,203	0,215	0,235	0,253	0,270	0,311
0,37	0,132	0,151	0,169	0,185	0,200	0,213	0,226	0,251	0,273	0,296	0,341
0,38	0,137	0,157	0,177	0,194	0,209	0,224	0,238	0,264	0,289	0,313	0,361
0,39	0,141	0,164	0,184	0,203	0,219	0,235	0,250	0,277	0,304	0,330	0,382
0,40	0,146	0,171	0,192	0,212	0,229	0,245	0,262	0,291	0,320	0,348	0,404
0,41	0,151	0,177	0,200	0,221	0,240	0,258	0,275	0,306	0,337	0,367	0,427
0,42	0,157	0,183	0,205	0,230	0,251	0,270	0,288	0,328	0,354	0,386	0,458
0,43	0,162	0,190	0,216	0,240	0,262	0,282	0,301	0,337	0,372	0,406	0,473
0,44	0,168	0,197	0,225	0,250	0,273	0,294	0,314	0,353	0,390	0,427	0,497
0,45	0,172	0,204	0,233	0,260	0,284	0,306	0,328	0,369	0,409	0,446	0,522
0,46	0,177	0,211	0,242	0,270	0,296	0,319	0,343	0,386	0,428	0,469	0,549
0,47	0,182	0,217	0,250	0,281	0,303	0,332	0,357	0,404	0,448	0,491	0,596
0,48	0,188	0,224	0,259	0,291	0,320	0,346	0,372	0,421	0,462	0,513	0,594
0,49	0,193	0,232	0,268	0,302	0,332	0,359	0,387	0,439	0,488	0,536	0,632
0,50	0,199	0,240	0,277	0,312	0,345	0,374	0,403	0,457	0,510	0,561	0,662
0,52	0,203	0,254	0,296	0,334	0,369	0,403	0,435	0,485	0,552	0,610	0,72
0,54	0,220	0,268	0,315	0,357	0,397	0,433	0,465	0,535	0,600	0,662	0,78
0,56	0,231	0,283	0,334	0,381	0,425	0,464	0,505	0,576	0,648	0,72	0,85
0,58	0,242	0,299	0,354	0,405	0,453	0,497	0,540	0,620	0,70	0,77	0,92
0,60	0,252	0,315	0,375	0,430	0,483	0,531	0,577	0,665	0,75	0,83	1,00
0,62	0,263	0,331	0,396	0,456	0,513	0,566	0,617	0,71	0,81	0,90	1,02
0,64	0,275	0,347	0,417	0,483	0,544	0,602	0,657	0,76	0,86	0,96	1,16

T A B L A N°19

CALCULO DE CANALES DE SECCION SEGMENTO DE CIRCULO EN MOVIMIENTO UNIFORME
FÓRMULA DE : GAUCKLER - MANNING - STRIKLER

$\frac{h}{D}$	$\frac{Q D^{1/3} n}{D^3 i^{1/2}}$	$Qh^{1/3} n$	$\frac{R}{D}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{Q D^{1/3} n}{D^3 i^{1/2}}$	$Qh^{1/3} n$	$\frac{R}{D}$
0,01	0,000047	10,12	0,0013	0,0066	0,51	0,161	0,4027
0,02	0,00021	7,11	0,0037	0,0132	0,52	0,166	0,4127
0,03	0,00050	5,76	0,0169	0,0197	0,53	0,172	0,4227
0,04	0,00093	4,97	0,0105	0,0262	0,54	0,177	0,4327
0,05	0,00149	4,41	0,0147	0,0325	0,55	0,182	0,4426
0,06	0,00221	4,00	0,0192	0,0389	0,56	0,188	0,4526
0,07	0,00306	3,68	0,0242	0,0451	0,57	0,193	0,4625
0,08	0,00406	3,43	0,0294	0,0513	0,58	0,199	0,4724
0,09	0,00522	3,20	0,0350	0,0575	0,59	0,204	0,4822
0,10	0,00651	3,02	0,0409	0,0635	0,60	0,209	0,4920
0,11	0,00795	2,86	0,0470	0,0695	0,61	0,215	0,5018
0,12	0,00954	2,72	0,0534	0,0755	0,62	0,220	0,5115
0,13	0,01127	2,60	0,0600	0,0813	0,63	0,225	0,5212
0,14	0,01314	2,48	0,0668	0,0871	0,64	0,231	0,5308
0,15	0,0151	2,38	0,0739	0,0929	0,65	0,236	0,5404
0,16	0,0173	2,29	0,0811	0,0985	0,66	0,241	0,5499
0,17	0,0196	2,21	0,0885	0,1042	0,67	0,246	0,5594
0,18	0,0220	2,13	0,0961	0,1097	0,68	0,251	0,5687
0,19	0,0246	2,06	0,1039	0,1152	0,69	0,256	0,5780
0,20	0,0273	1,99	0,1118	0,1206	0,70	0,261	0,5872
0,21	0,0302	1,93	0,1199	0,1259	0,71	0,266	0,5964
0,22	0,0331	1,88	0,1281	0,1312	0,72	0,271	0,6054
0,23	0,0361	1,82	0,1365	0,1364	0,73	0,275	0,6143
0,24	0,0394	1,77	0,1449	0,1416	0,74	0,280	0,6231
0,25	0,0427	1,72	0,1535	0,1466	0,75	0,284	0,6319
0,26	0,0462	1,68	0,1623	0,1516	0,76	0,289	0,6405
0,27	0,0497	1,63	0,1711	0,1566	0,77	0,293	0,6489
0,28	0,0534	1,59	0,1800	0,1614	0,78	0,297	0,6573
0,29	0,0571	1,55	0,1890	0,1662	0,79	0,301	0,6655
0,30	0,0610	1,51	0,1982	0,1709	0,80	0,305	0,6736
0,31	0,0650	1,481	0,2074	0,1756	0,81	0,308	0,6815
0,32	0,0691	1,440	0,2167	0,1802	0,82	0,312	0,6893
0,33	0,0733	1,407	0,2260	0,1847	0,83	0,315	0,6969
0,34	0,0776	1,380	0,2355	0,1891	0,84	0,318	0,7043
0,35	0,0820	1,346	0,2450	0,1935	0,85	0,321	0,7115
0,36	0,0864	1,318	0,2546	0,1978	0,86	0,324	0,7186
0,37	0,0909	1,289	0,2642	0,2020	0,87	0,326	0,7254
0,38	0,0956	1,262	0,2739	0,2062	0,88	0,328	0,7320
0,39	0,1003	1,235	0,2836	0,2102	0,89	0,330	0,7384
0,40	0,1051	1,209	0,2934	0,2142	0,90	0,3325	0,7445
0,41	0,1099	1,184	0,3032	0,2182	0,91	0,3358	0,7504
0,42	0,1147	1,160	0,3130	0,2220	0,92	0,3345	0,7560
0,43	0,1197	1,137	0,3229	0,2258	0,93	0,3351	0,7612
0,44	0,1248	1,114	0,3328	0,2295	0,94	0,3352	0,7662
0,45	0,1298	1,092	0,3428	0,2331	0,95	0,3351	0,7707
0,46	0,1353	1,070	0,3527	0,2366	0,96	0,3338	0,7749
0,47	0,1400	1,049	0,3627	0,2401	0,97	0,3325	0,7785
0,48	0,1454	1,030	0,3727	0,2435	0,98	0,329	0,7817
0,49	0,151	1,010	0,3827	0,2468	0,99	0,325	0,7841
0,50	0,156	0,990	0,3927	0,2500	1,00	0,312	0,7854

CANAL SEGMENTO DE CIRCULO

Este tipo de sección, entonces, se refiere a la forma que adopta el líquido dentro de la tubería, cuya configuración determinará las propiedades del escurrimiento.

En la Figura 1 puede verse una sección segmento de círculo genérica, donde se definen los siguientes parámetros:

- D : **Diámetro Interno** de la conducción.
- h : **Tirante** (o altura del líquido) con que tiene lugar el escurrimiento.
- B_s : **Ancho Superficial**, es decir la longitud de contacto del líquido con la presión atmosférica.
- θ : ángulo que forman las aristas adonde llega el líquido con el centro de la sección circular, es decir el ángulo formado por los puntos aob.
- Ω : **Área Mojada** del escurrimiento, es decir el área encerrada al recorrer los puntos según el camino acbda.
- χ : **Perímetro Mojado** del escurrimiento, es decir el perímetro de la tubería en contacto directo con el líquido, y que queda definido por el arco adb.

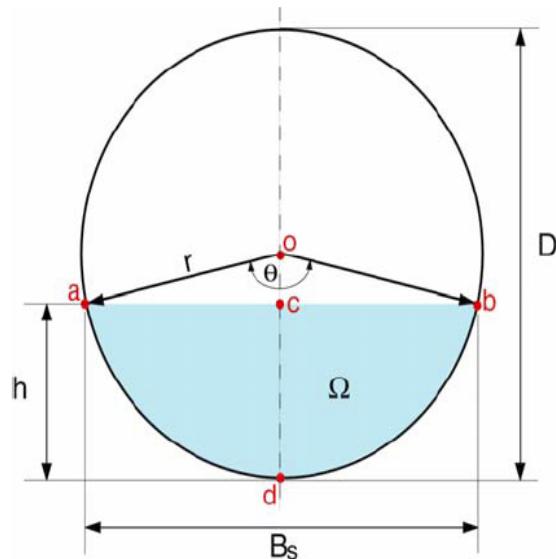
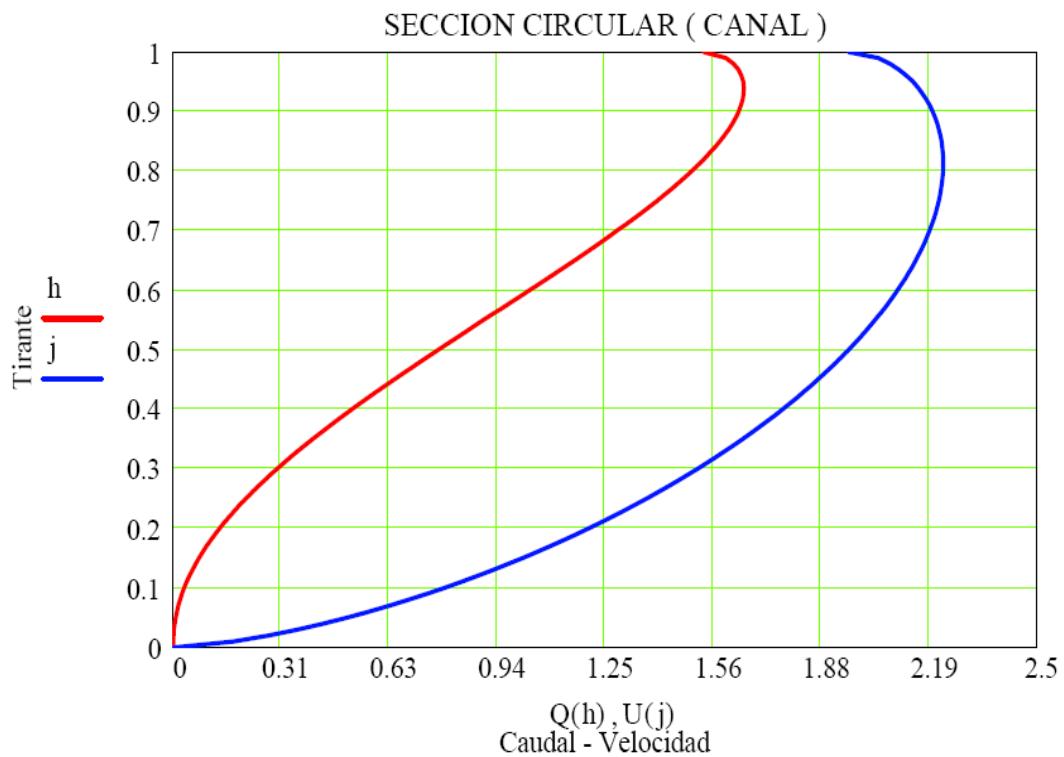


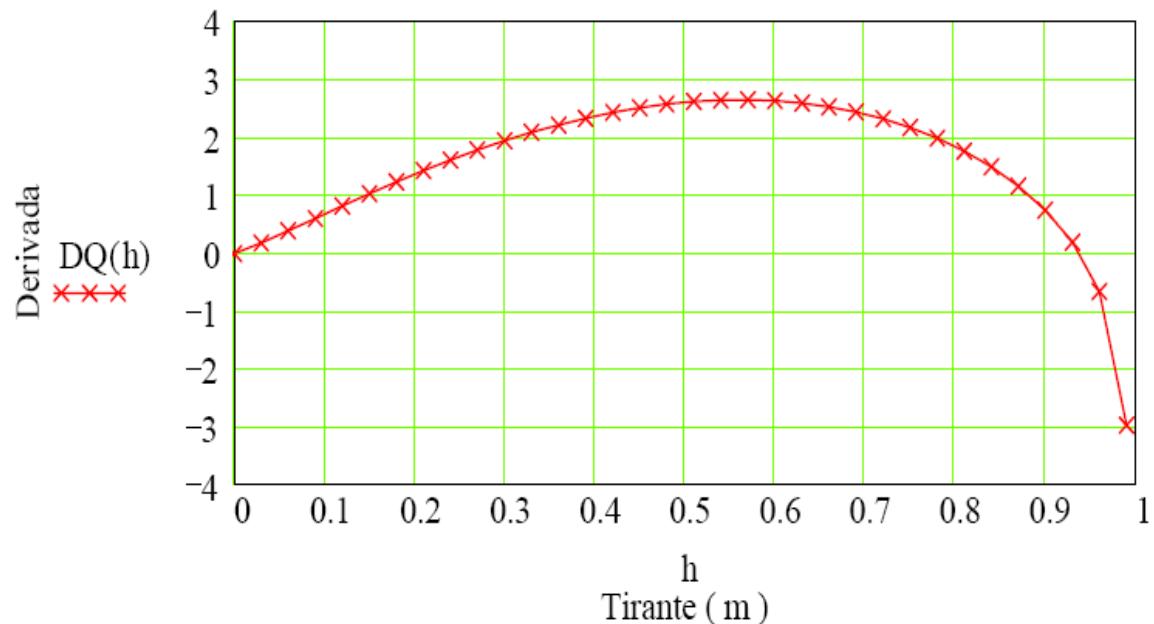
Figura 1
Parámetros de la Sección Segmento de Círculo

$$Q := \frac{\sqrt{i} \cdot D^{2.666}}{20.159 \cdot n} \cdot \left(2 \cdot \cos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right) - \sin\left(2 \cdot \cos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right)\right) \right) \cdot \left(1 - \frac{\sin\left(2 \cdot \cos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right)\right)}{2 \cdot \cos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right)} \right)^{0.666}$$

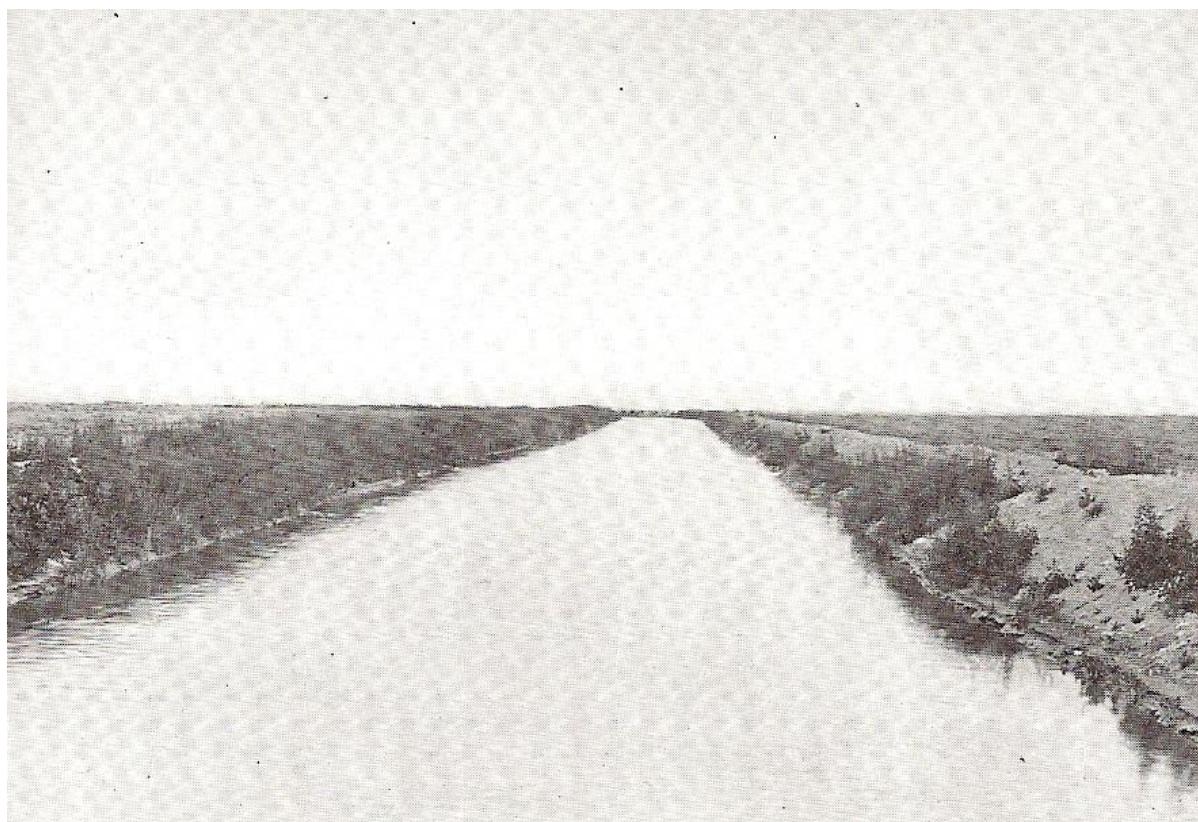


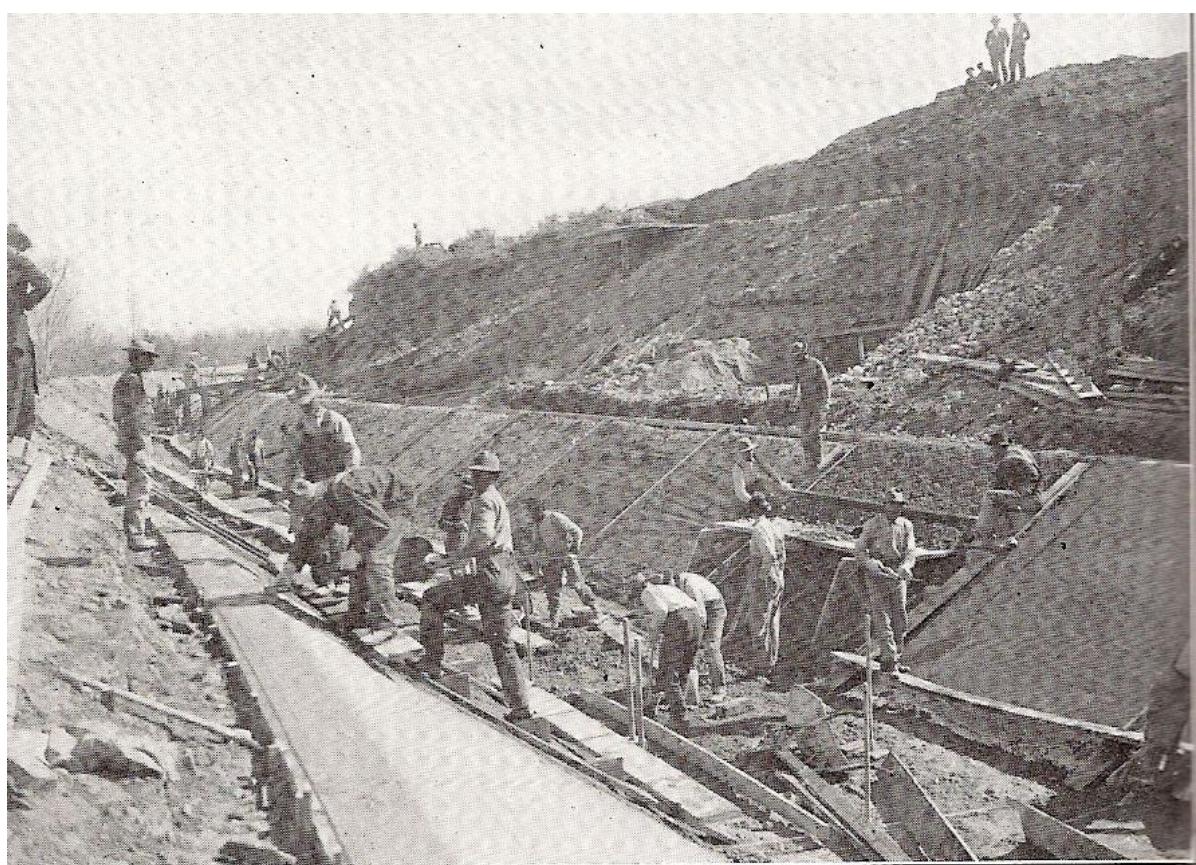
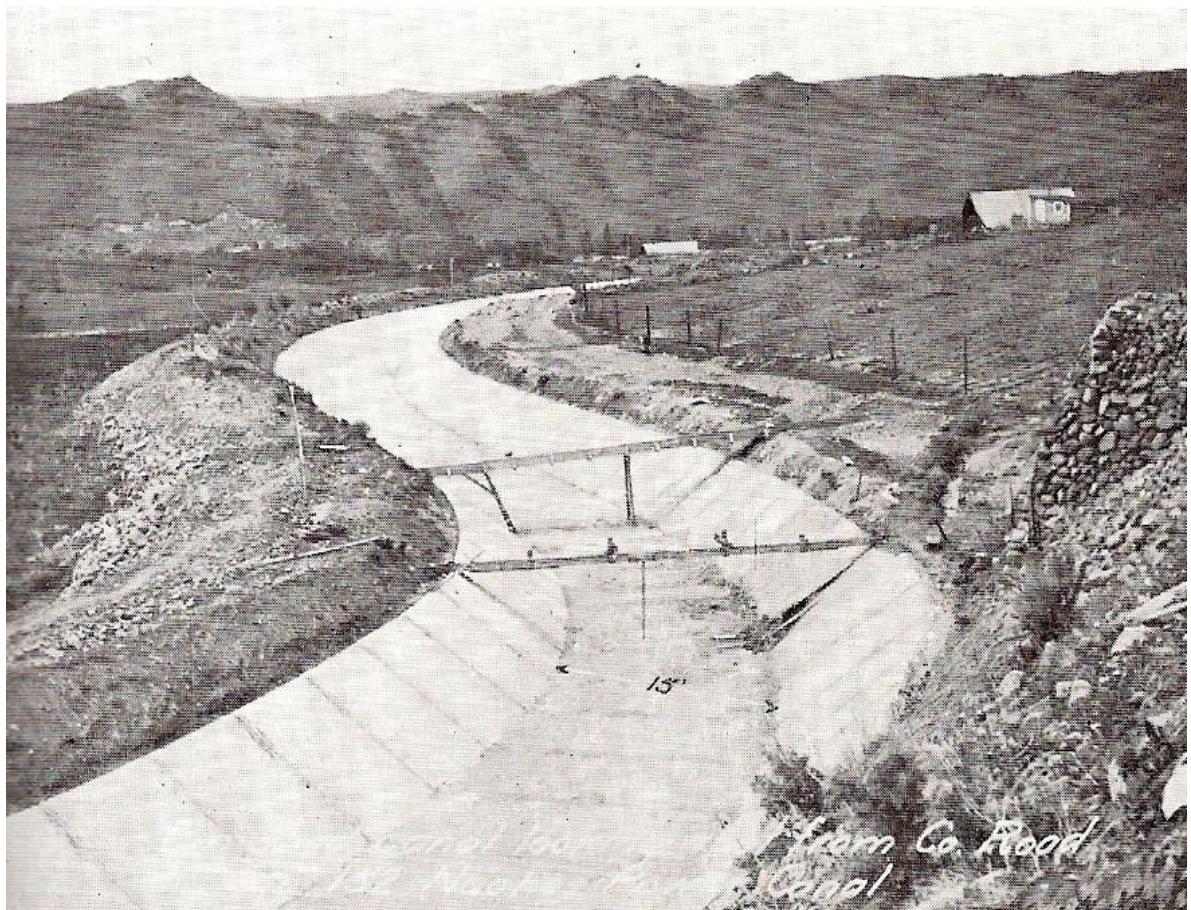
La derivada del Caudal presenta el valor nulo en $0.9381 \sim 0.94$, como era de esperar
(ver derivada)

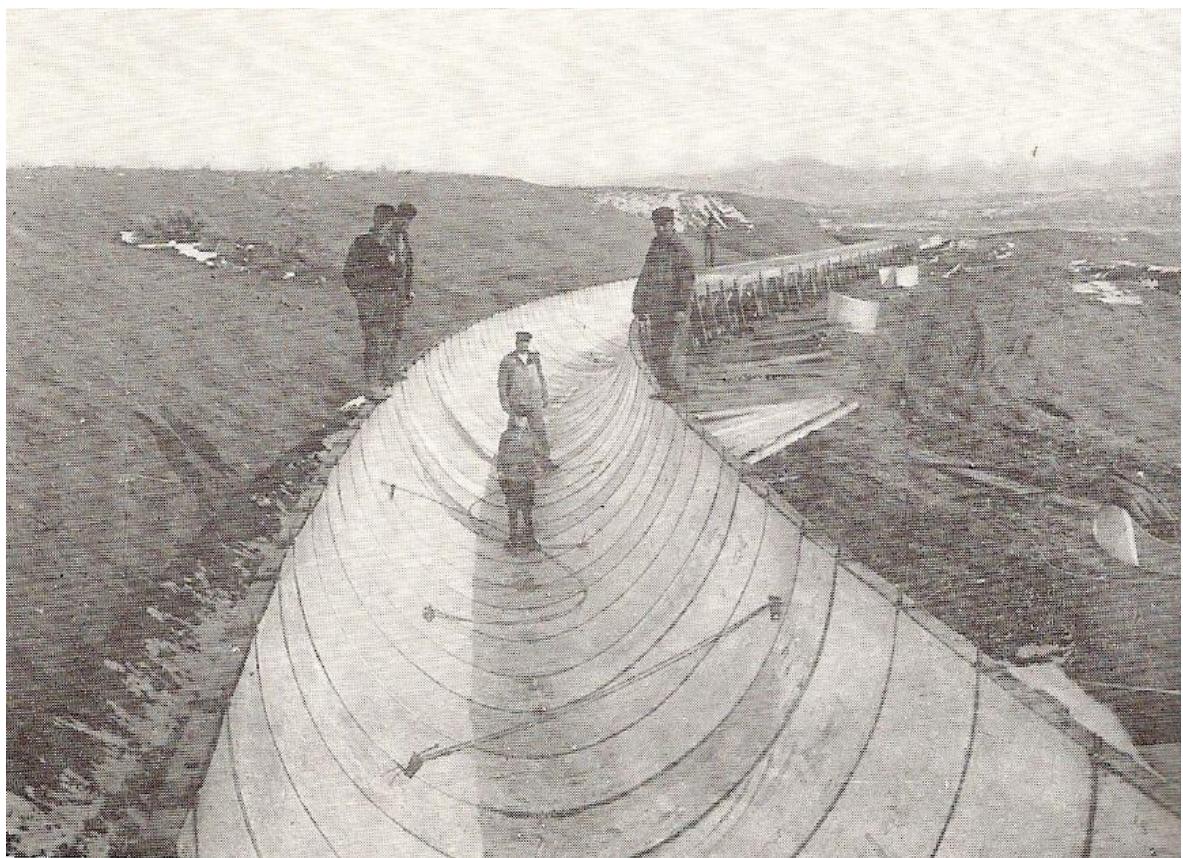
$$DQ(h) := \frac{d}{dh} Q(h)$$

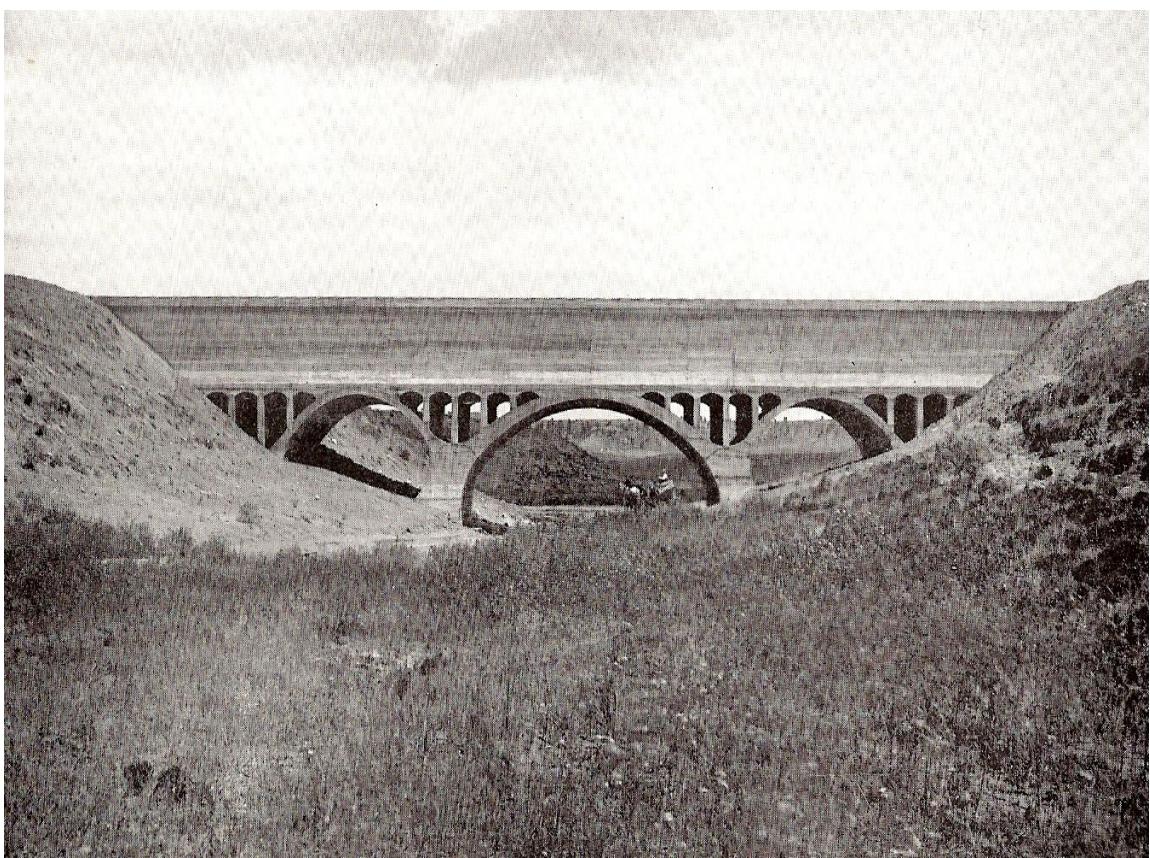
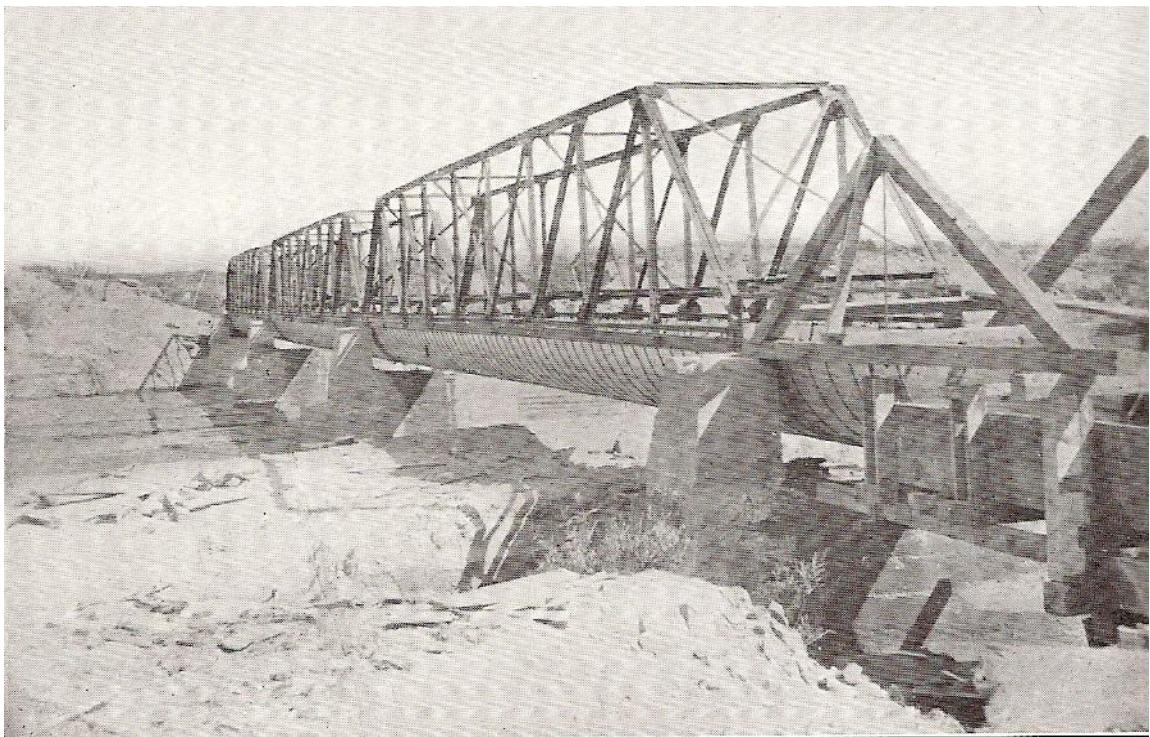


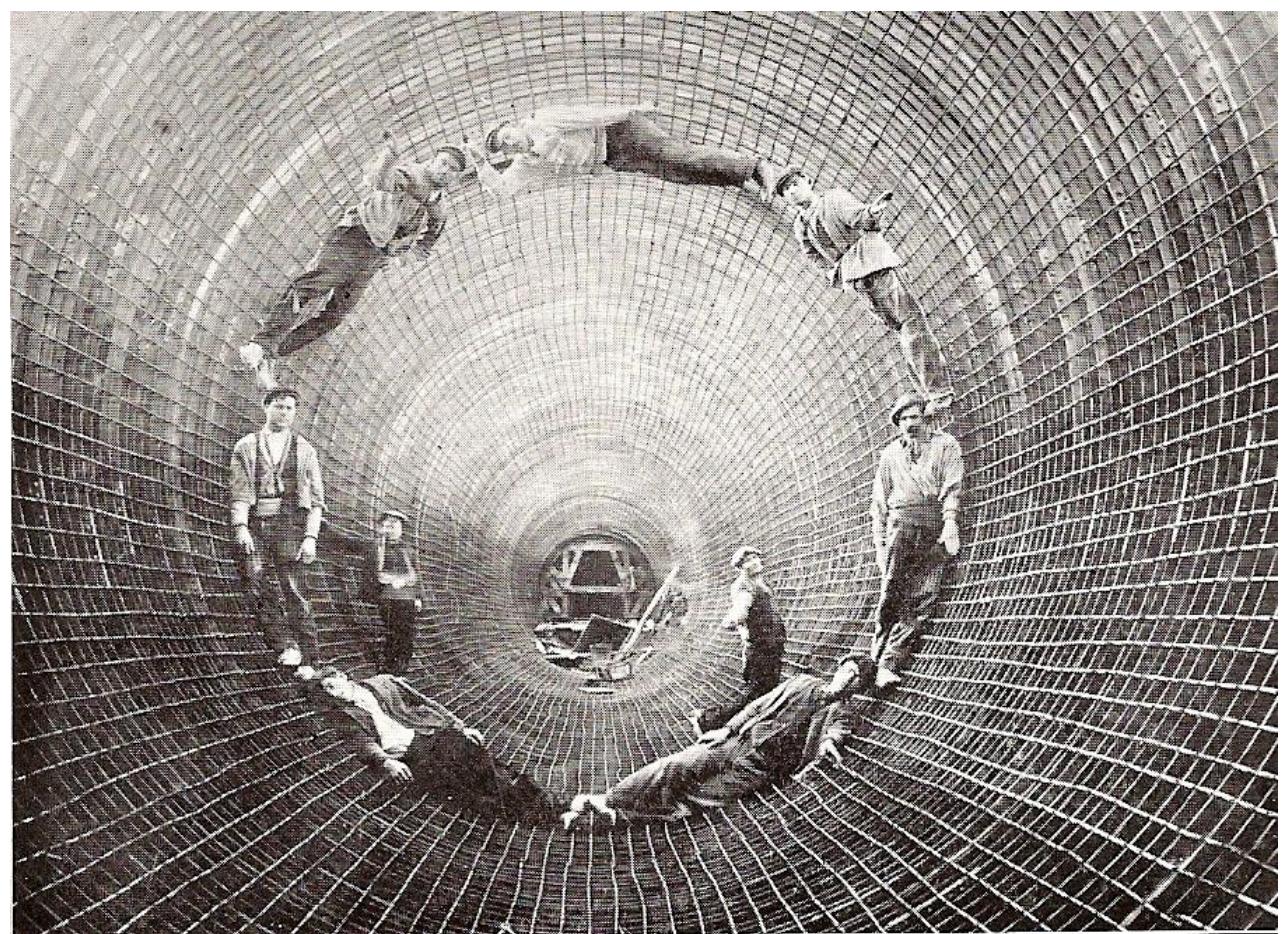
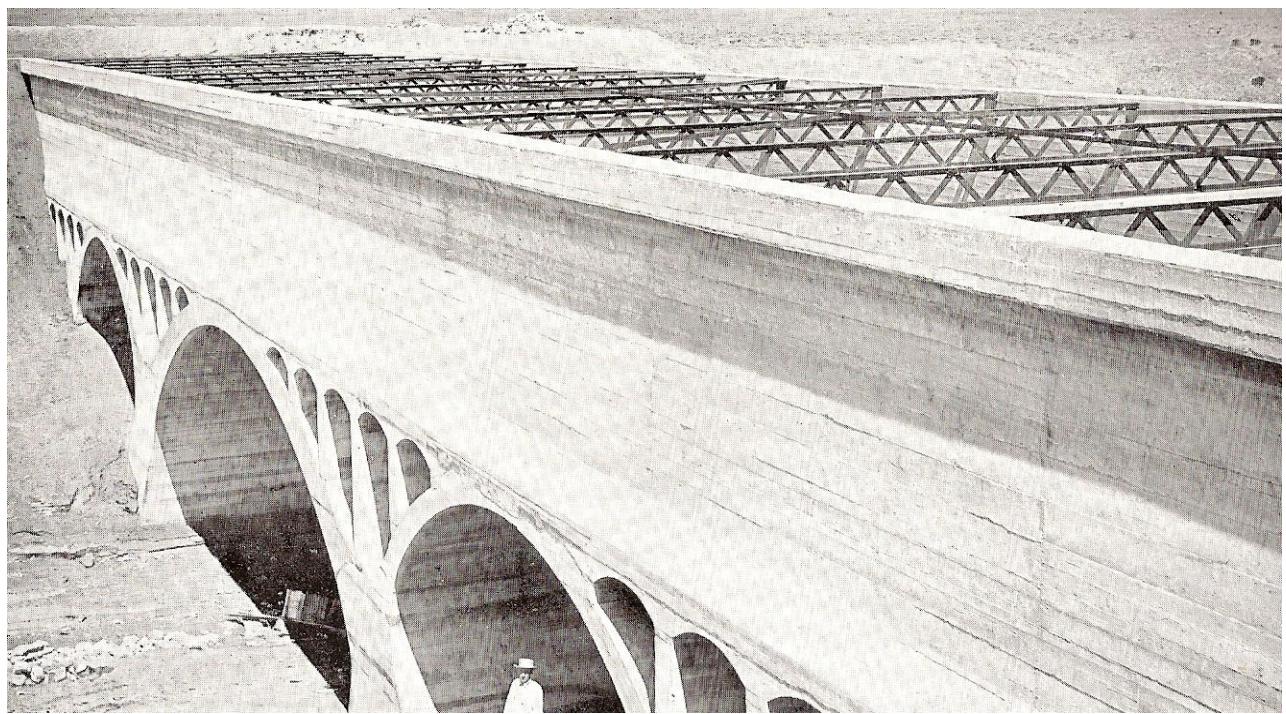
ALGUNOS EJEMPLOS HISTORICOS DE CANALES

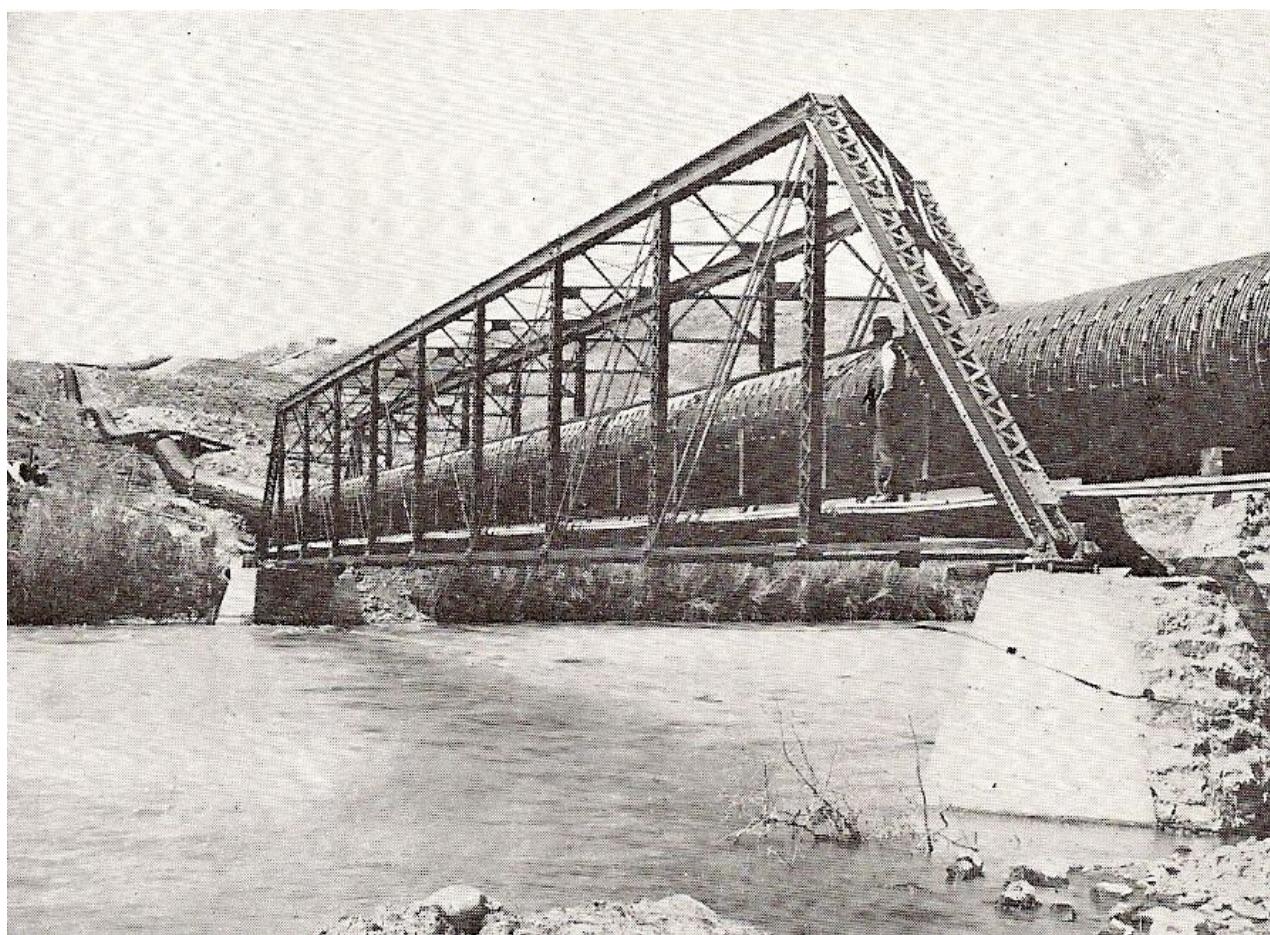
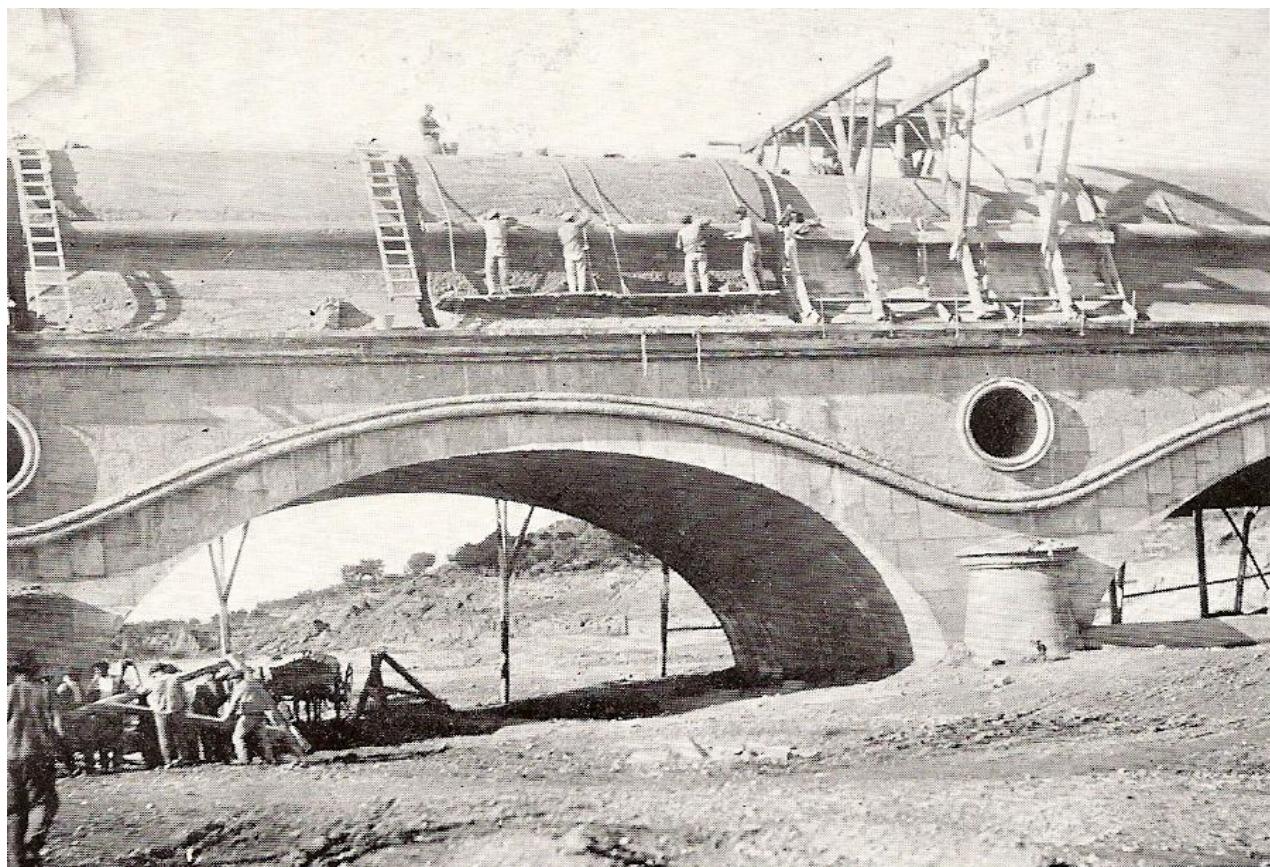












BIBLIOGRAFIA

- Manual de Hidraulica D. DALMATI
- Apuntes de la Catedra de Hidraulica General L.E.PEREZ FARRAS