

---

# **INSTITUTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

## **ÁREA DE HIDRÁULICA**

### **CÁTEDRA DE HIDRÁULICA APLICADA A LA INGENIERÍA SANITARIA**

**NOCIONES SOBRE ORIFICIOS Y VERTEDEROS, TIPOS DE  
ESCURRIMIENTO UNIFORME EN CANALES, REMANSOS  
Y RESALTOS, Y SU RELACIÓN CON LA SEDIMENTACIÓN  
Y LA CORROSIÓN EN CLOACAS.**

**ING. LUIS PEREZ FARRAS**

**AGOSTO DE 2005**

---

## 1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES

Los objetivos centrales son los de brindar los conceptos fundamentales del título en forma descriptiva y siempre a nivel de divulgación, y está dirigido a aquellos que sin haber tenido formación específica en el tema, se desempeñan o se interesan, en las tareas relacionadas con el Saneamiento Básico. Obviamente para una información profunda debe recurrirse a la frondosa bibliografía especializada.

El presente artículo, está limitado al tratamiento de los conceptos básicos y al análisis descriptivo de los casos más usuales en la práctica de la Ingeniería Sanitaria.

El temario resulta complementario al desarrollado en el texto correspondiente a Hidráulica Aplicada a las Conducciones.

**En el presente se analizan los orificios y vertederos (sobre todo éstos últimos), movimientos variados en canales (Resaltos y Remansos) recurrentes en la problemática habitual, y en particular la relación con los remansos que los vertederos originan, los que a su vez pueden implicar tramos sujetos a sedimentación de sólidos. Para el caso de las cloacas, se presenta el Índice de Pomeroy, que permite evaluar el ataque corrosivo por acción del Sulfuro de Hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ) en las tuberías de o revestidas con materiales cementicios. Se evalúa además, la incidencia de determinados remansos, que favorecen localmente el proceso corrosivo al posibilitar la sedimentación.**

## 2. ORIFICIOS Y VERTEDEROS

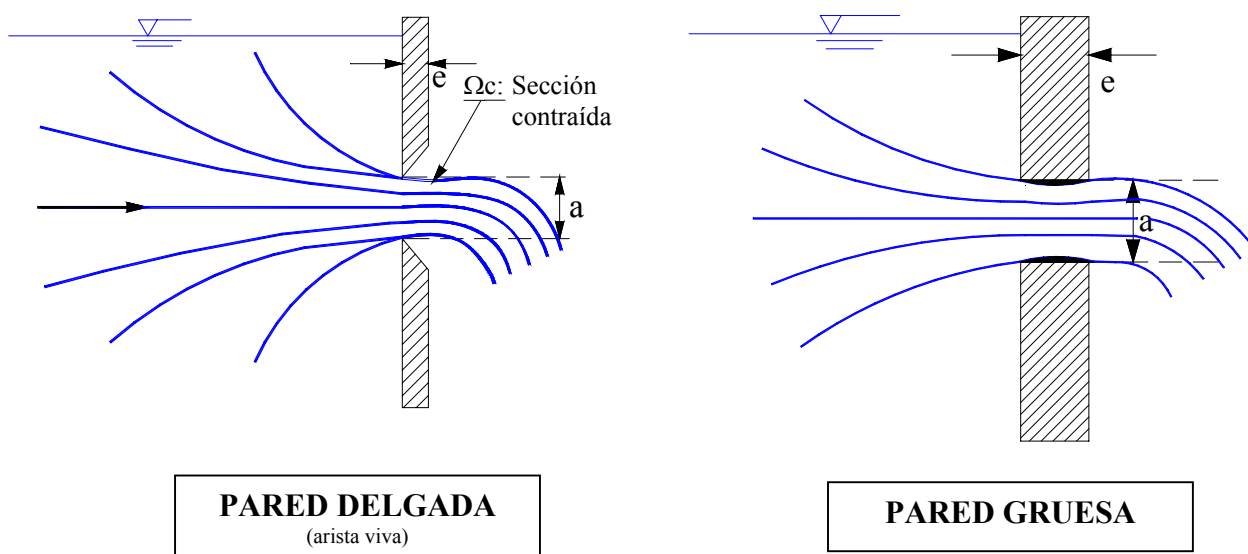
### 2.1. Orificios

#### 2.1.1. Definiciones

Denominamos orificio, en hidráulica, a una abertura de forma regular, que se practica en la pared o el fondo del recipiente, a través del cual eroga el líquido contenido en dicho recipiente, manteniéndose el contorno del orificio totalmente sumergido.

A la corriente líquida que sale del recipiente se la llama **vena líquida** o **chorro**.

Si el contacto de la vena líquida con la pared tiene lugar en una línea estaremos en presencia de un orificio en **pared delgada**. Si el contacto es en una superficie se tratará de un orificio en **pared gruesa** (más adelante se precisará con más detalle el concepto).



**Figura 1**  
Orificios en Pared Gruesa y Delgada

En la práctica, se suele considerar:

- Pared delgada:  $e < \frac{1}{2} a$
- Pared gruesa:  $e > 3 a$

Se denomina **carga** a la altura de líquido que origina la salida del caudal de la estructura. Se mide desde el nivel del líquido hasta el baricentro del orificio.

La **velocidad de llegada** es la velocidad con que el líquido llega al recipiente.

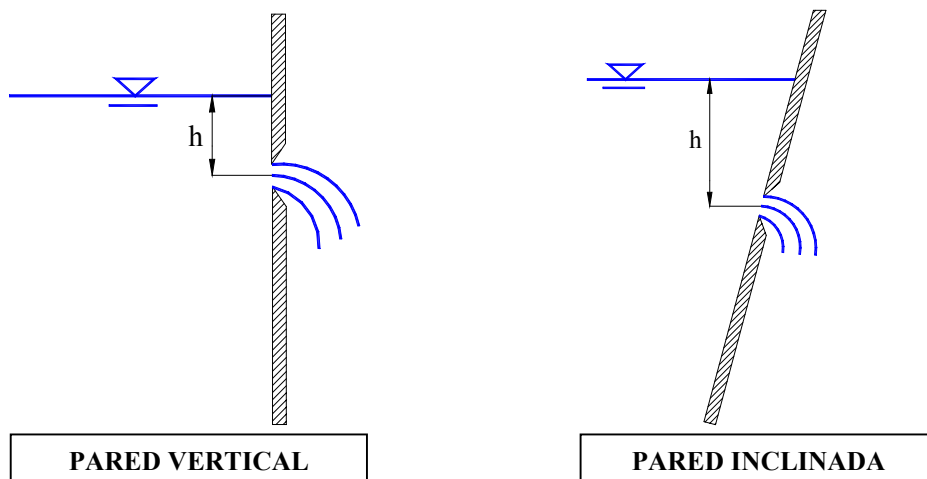
El **movimiento permanente o estacionario** ocurre cuando el escurrimiento tiene lugar a carga constante.

La **salida libre** tiene lugar cuando el nivel del líquido en el canal de salida, o en el recipiente inferior, está por debajo de la arista o borde inferior del orificio.

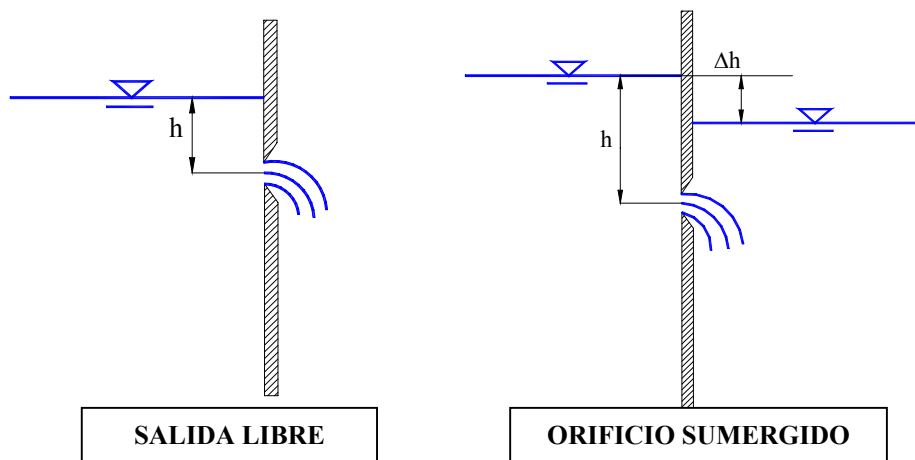
El **orificio es sumergido** cuando el nivel del líquido en el canal de salida o recipiente inferior está por arriba de la arista o borde superior del orificio.

Asimismo la pared puede encontrarse **vertical** o **inclinada**, ya sea hacia aguas abajo o aguas arriba, afectando obviamente dicha inclinación, la descarga producida por dicho orificio.

Se mencionan todas estas condiciones pues no es muy difícil intuir que las mismas tienen influencia en el caudal que será capaz de erogarse por dicho orificio.

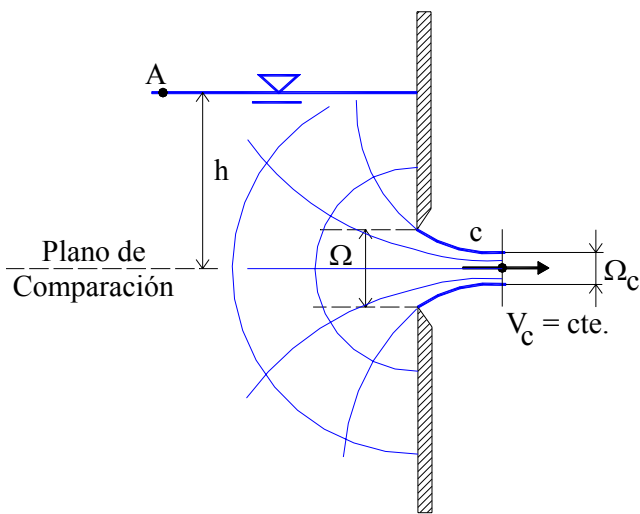


**Figura 2**  
Pared vertical y pared inclinada



**Figura 3**  
Orificios Libres y Sumergidos

**2.1.2. Cálculo del Caudal Teórico Erogado (Teorema de Torricelli)**



**Figura 4**  
Teorema de Torricelli

Si se aplica Bernoulli entre los puntos A y C, tenemos que:

$$h + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g}$$

Ahora, como  $V_a$  es nula, si despejamos  $V_c$  (que es la velocidad media en la sección contraída) obtenemos:

$$V_c = \sqrt{2gh}$$

Un análisis intuitivo de las líneas de corriente, como puede apreciarse en las figuras, permite interpretar la formación de la “sección contraída  $\Omega_c$ ” a una cierta distancia de la pared del orificio, que es sobre la cual aplicamos Bernoulli.

De esta forma, aplicando la Ecuación de Continuidad y teniendo en cuenta un coeficiente experimental  $\mu$  “de descarga del orificio”, el cual consiste en una función compleja menor a la unidad (disminuye, en consecuencia, el valor teórico dado por la expresión) en la que influyen la viscosidad, la formación de la sección contraída, la variación real de la velocidad en la misma (consideramos el valor medio en la deducción), la forma de la sección, etc.; se obtiene la expresión:

$$Q = \Omega_c V_c = \mu \Omega \sqrt{2gh}$$

En la que  $\Omega$  es la sección real del orificio cuyas dimensiones, a diferencia de la sección contraída, son de obtención inmediata.

Cuando el orificio es en pared delgada, no cometemos error apreciable si se adopta:

$$Q = 0,60 \Omega \sqrt{2gh}$$

Las dos expresiones previas son aplicables al “**Orificio Perfecto**”, el que se define como tal cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- a) Pared delgada, vertical y perpendicular al escurrimiento.
- b) Velocidad de llegada despreciable (menor a 0,30 m/s)
- c) Contracción de la vena completa, lo que implica suficiente distancia desde el fondo y los laterales (orificio cerca de los límites minimizan la contracción).
- d) Idéntica presión (atmosférica generalmente, salvo casos muy particulares) aguas arriba del orificio y alrededor de la vena fluida en caída.
- e) Caída libre, no influenciada por los niveles aguas abajo.

---

Cuando el orificio no cumple con algunas de las propiedades enunciadas debe ser corregido el coeficiente de gasto, el que se obtiene de los manuales especializados y que se simboliza como  $C_i$ , donde  $i$  es el número asignado a cada corrección, con lo que la expresión general queda entonces:

$$Q = \mu C_1 C_2 \dots C_n \Omega \sqrt{2gh}$$

Es oportuno señalar que en el caso del orificio sumergido, el coeficiente de gasto estará obviamente relacionado con la diferencia de niveles aguas arriba y aguas abajo ( $\Delta h$  en la Figura 3).

En particular, en el orificio de pared gruesa, la vena líquida reanuda su contacto con la pared y consecuentemente el efecto de “succión” o “Venturi” producido por la zona de menor presión (sombreada en la Figura 1) mayor el coeficiente de gasto. En ese caso el producto del coeficiente por el  $C_i$  correspondiente es aproximadamente 0,81; por lo que la expresión queda:

$$Q = 0,81 \Omega \sqrt{2.g.h}$$

Es decir que el orificio en pared gruesa eroga más caudal que en pared delgada, por lo que cuando la función del mismo es erogar caudales importantes, ésta constituye la solución obligada.

## 2.2. VERTEDEROS

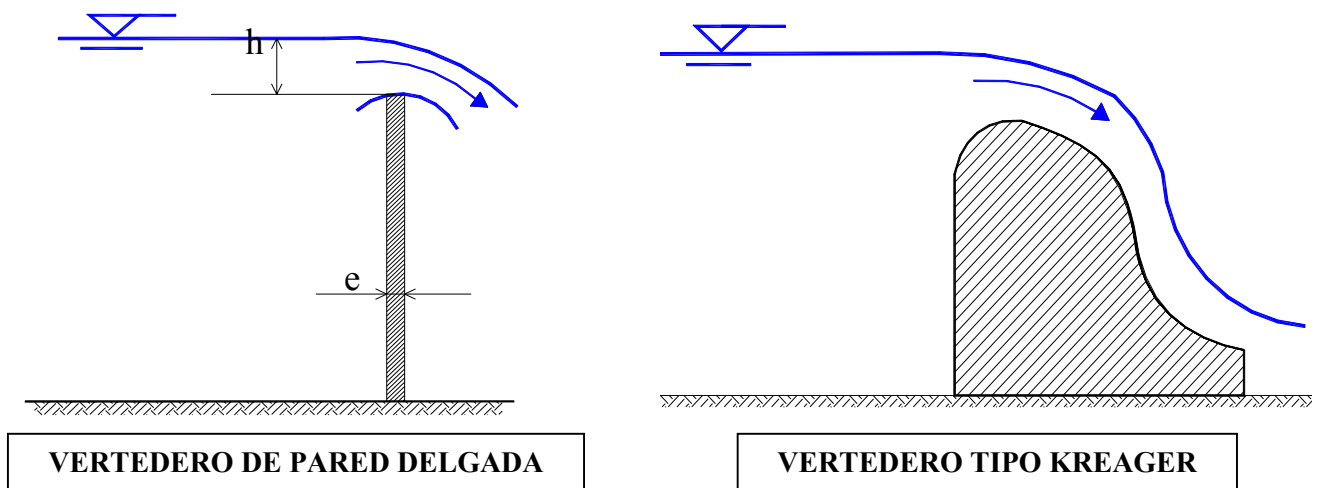
### 2.2.1. Definiciones

Otra estructura utilizada en los proyectos hidráulicos (más frecuentemente que los orificios) está constituida por los **vertederos** en sus distintas variantes, de los cuales existen, según la aplicación, diferentes diseños.

Ya sea como estructura de control de aprovechamientos hidráulicos o bien como estructura para medición de caudales en obras de saneamiento, su aplicación es muy difundida y una de las razones es porque permiten tener un adecuado control del caudal por encima de su cresta siendo necesario únicamente medir una variable que es el tirante sobre dicha cresta.

Según la forma geométrica del contorno de apertura, pueden distinguirse vertederos rectangulares, trapeciales, triangulares, parabólicos, etc.

Además, según el espesor de la pared del vertedero o, más precisamente, la forma en que la vena líquida toca la parte superior de la estructura, se clasifican en Vertederos de Pared Gruesa o Delgada.



**Figura 5**  
Vertedero

Nota: El perfil Kreager o similar, es de uso frecuente en los sistemas de aprovisionamiento de agua, cuando la captación debe realizarse en ríos de bajo tirante y, consecuentemente, es necesario elevar el nivel para captar aguas con seguridad y mayor calidad, dado que serán más claras por el efecto provocado al alentar la sedimentación al reducir la velocidad. Ese tipo de aprovechamiento recibe el nombre de “Azud”.

Los vertederos, resultan según la relación del espesor con respecto a la carga sobre la cresta:

$$e < \frac{1}{2} h ; \text{pared delgada}$$

$$e > 3h ; \text{pared gruesa}$$

Se denomina **cresta, umbral** o **coronamiento** del vertedero a la arista o superficie inferior de la escotadura.

Se denomina **longitud** del vertedero rectangular a la distancia “**b**” entre las paredes verticales o inclinadas (flancos) que lo limitan sobre el umbral.

La altura o espesor de la masa líquida existente sobre el nivel del umbral aguas arriba de éste se denomina **carga**. Ésta se mide en la zona en la que la superficie libre del líquido puede considerarse horizontal.

Como en el caso de los orificios, es necesario distinguir en el escurrimiento sobre vertederos, descarga **libre** y **sumergida**, según que el nivel de salida está por debajo o por encima del nivel del umbral.

### 2.2.2. Cálculo del caudal erogado

---

Análogamente a lo que ocurre con la vena líquida que pasa por un orificio (en realidad constituye un caso particular del mismo) la lámina vertiente sufre contracciones inmediatamente aguas debajo de las aristas vivas de la escotadura. Estas contracciones serán de fondo o laterales, según estén producidas por el umbral o aristas laterales del vertedero.

Del mismo modo que para el caso de orificios:

$$Q = \mu \cdot \Omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Donde, para el caso de una forma rectangular:

$$\Omega = b \cdot h$$

Reemplazando obtenemos:

$$Q = \mu b h \sqrt{2 g h}$$

La expresión previa es aplicable al “Vertedero Perfecto”, el que se define como tal, cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- a) Pared delgada, vertical y perpendicular al escurrimiento.
- b) Velocidad de llegada despreciable (menor a 0,30 m/s)
- c) **Contracción de la vena completa con respecto al fondo y nula respecto a los laterales (idéntico ancho del canal de llegada que del umbral del vertedero)**
- d) Idéntica presión (atmosférica generalmente, salvo casos muy particulares) aguas arriba del vertedero y alrededor de la vena fluida en caída.
- e) Caída libre, no influenciada por los niveles aguas abajo y **con lámina netamente destacada (presión atmosférica por sobre y debajo de la misma).**
- f) **Sección rectangular de flancos verticales y umbral horizontal.**

Nota: Las condiciones en “negrita” son las que difieren de las del Orificio Perfecto y son sólo aplicables al Vertedero Perfecto.

Cuando el Vertedero no cumple con algunas de las propiedades enunciadas, al igual que en el caso de los Orificios, debe ser corregido el coeficiente de gasto, el que se obtiene de los manuales especializados y que se simboliza como  $C_i$ , en el que  $i$  es el número asignado a cada corrección. La expresión general queda entonces:

$$Q = \mu C_1 C_2 \dots C_n \Omega \sqrt{2gh}$$

El cálculo del coeficiente combinado depende consecuentemente del tipo de vertedero y de que tanto se aparte de la condición de “Vertedero Perfecto” (velocidad de llegada, inclinación de las paredes, etc.). Éste puede variar entre 0,35 y 0,60 y para mayor precisión se debe recurrir, al igual que en el caso de los orificios, a los manuales especializados, en los que se encuentran innumerables expresiones de las correcciones a la condición de “Vertedero Perfecto”, como así también soluciones para los distintos tipos de vertederos y formas de funcionamiento.

Como primera aproximación, podemos suponer, para la sección de umbral  $b$  y carga  $h$ :

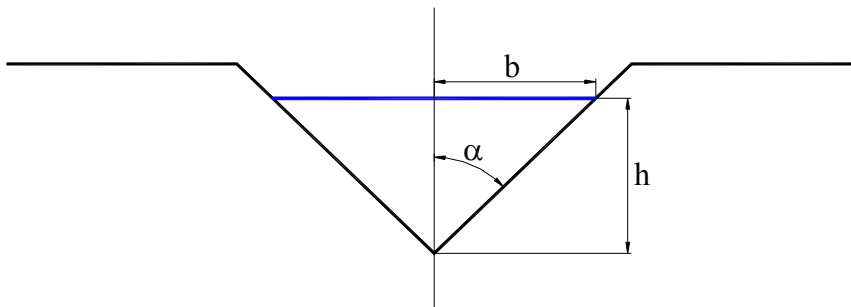


$$Q = 0.5 b h \sqrt{2gh}$$

Para el caso del vertedero triangular, de gran aplicación en la Ingeniería Sanitaria, se tiene:

$$\Omega = 2 \frac{b h}{2} = h^2 \operatorname{tg} \alpha \therefore Q = \mu \operatorname{tg} \alpha h^2 \sqrt{2gh} = \mu \operatorname{tg} \alpha \sqrt{2g} h^{2.5}$$

Se puede apreciar en la expresión anterior que, al estar elevada la carga  $h$  a la  $5/2$ , resulta muy sensible al caudal, es decir que ligeras modificaciones de  $h$  implican relativamente importantes variaciones del mismo. Esta propiedad los hace de gran utilidad para la medición de caudales con importante exactitud y además, dispuestos en batería, posibilitan descargas muy homogéneas y con un importante poder regulador, que los hace de gran utilidad en las plantas de tratamiento (salida de sedimentadores como ejemplo).



**Figura 6**  
Vertedero triangular

Nota: En la parte dedicada a los remansos y resaltos se brindan, también en forma descriptiva, algunas soluciones que involucran a la problemática que originan los vertederos tipo Kreager.

### 3. MOVIMIENTOS VARIADOS EN CANALES (RESALTOS Y REMANSOS)

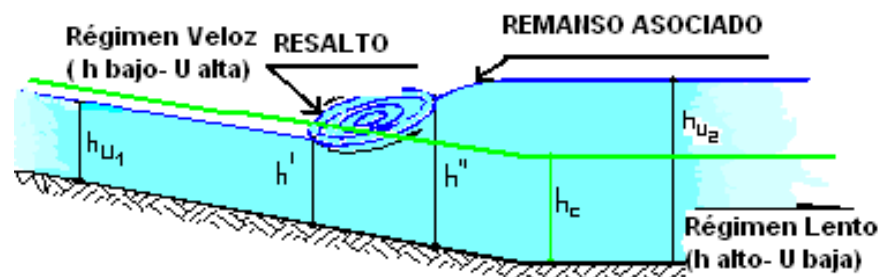
A continuación se presenta una distinción fundamental entre los escurrimientos uniformes en canales. Cuando éstos tienen lugar con velocidades bajas y altos tirantes y, en consecuencia, bajas pendientes, el escurrimiento es “lento” o fluvial. Este movimiento resulta característico de los ríos de llanura y de allí su denominación.

Se puede distinguir porque cualquier perturbación que se produzca (tal como la que se origina al arrojar una piedra) se desplaza aguas arriba, es decir, tiene la propiedad de remontar la corriente.

Cuando los tirantes son bajos, las velocidades altas y, en consecuencia, las pendientes son también altas, el escurrimiento es “veloz” o “torrencial”. Es el característico de los ríos de montaña o “torrentes”.

En este caso, las perturbaciones no pueden remontar la corriente y son arrastradas aguas abajo.

**Siempre que un escurrimiento “veloz” se encuentre con un escurrimiento “lento” se produce un fenómeno que denominamos “resalto hidráulico”** y que esquematizamos en la Figura 7a, en la que se representa la singularidad en el escurrimiento debida al cambio de pendientes de la solera. La primera parte constituye el "Resalto" y la curva continua que complementa la transición es un "Remanso".



**Figura 7a**  
Resalto Hidráulico - Caso  $H_1 < H_2$

**El Resalto consiste esencialmente en un torbellino de eje horizontal y perpendicular al escurrimiento, provocado por la irrupción brusca de un escurrimiento veloz en uno lento.**

Se caracteriza por su alta incorporación de aire y porque su presencia significa importante erosión, por lo que, en donde sea previsible su formación, los canales no deberán ser de tierra, necesariamente deben ser revestidos.

La clasificación en régimen “lento” o “veloz” se hace a partir de lo que se conoce como “tirante crítico”. Éste es el tirante para el cual la energía propia del escurrimiento (los términos  $H = h + U^2/2g$  de la expresión de Bernoulli en canales) es la mínima energía posible con la que puede escurrir un determinado caudal  $Q$ . **Este tirante crítico depende, además del valor del caudal  $Q$ ,**

de los parámetros de la sección transversal del canal (no depende de la pendiente longitudinal) y es calculable consecuentemente para cada sección transversal.

Entonces, si el tirante en el canal es menor que el crítico estaremos en presencia de un régimen veloz, en caso contrario el régimen será lento. Las singularidades al régimen uniforme implican tirantes uniformes antes y después de la misma, por lo que la transición entre ambos debe definirse con una sucesión de eventuales resaltos (cuando se pasa de veloz a lento) y remansos, los que a su vez implican una transición continua con variación del tirante en forma gradual y pequeña en recorridos muy cortos (en términos matemáticos con una variación continua de la  $dh/dl$ )

A los tirantes  $h'$  y  $h''$ , inicial y final del resalto, se los denomina “tirantes conjugados”.

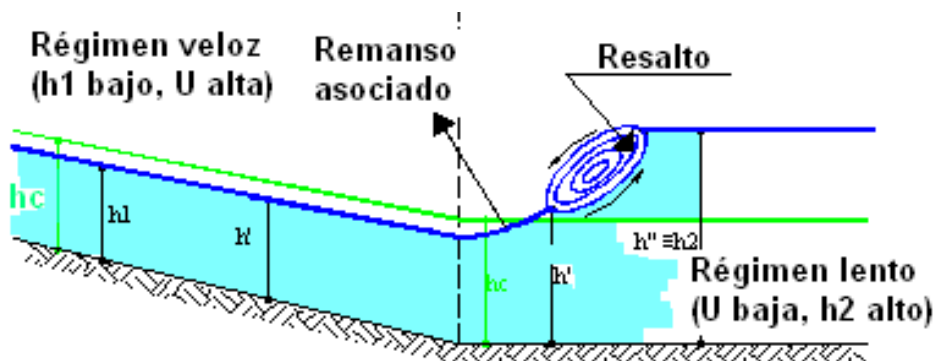
En general, los resaltos aparecen asociados a remansos como los indicados en las Figuras 7a y 7b, las que ilustran con dos ejemplos de formación de los mismos, muy frecuentes en la práctica. El remanso asociado termina de identificar los tirantes aguas arriba y aguas abajo, resolviendo junto con el resalto, la singularidad que originó a ambos.

Sin pretender invadir el terreno del cálculo ingenieril, brindamos, en forma descriptiva y a los efectos meramente ilustrativos, los tres casos de Remansos y Resaltos de las Figuras 7, 8 y 9 para brindar ejemplos sobre los conceptos vertidos, que a la vez son muy frecuentes en la práctica.

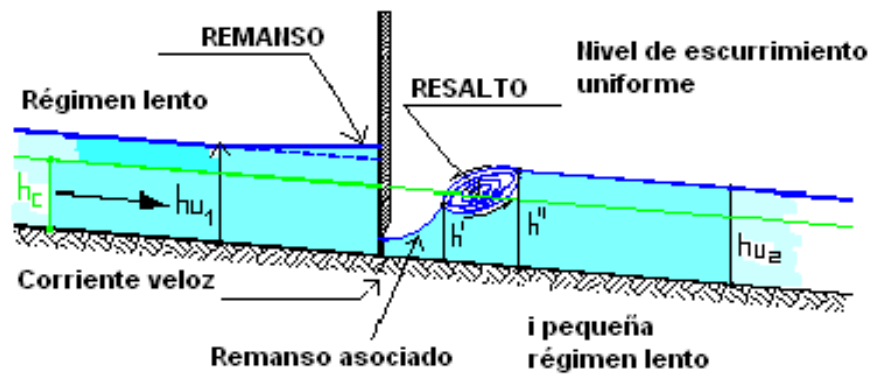
En el primer caso (Figura 7a) se esquematiza la singularidad provocada por el cambio de pendientes, pasando de una pendiente fuerte (es decir que origina escurrimiento “veloz” con tirante por debajo del crítico en el tramo aguas arriba) a otra débil (lo que implica una elevación del tirante por sobre el crítico en el tramo de menor pendiente).

En el tramo de pendiente  $i_1$ , ésta es alta, y el régimen de escurrimiento es veloz, en el tramo de pendiente  $i_2$ , además de ser menor que  $i_1$ , implica escurrimiento lento. La singularidad se resuelve con la formación de resalto y remanso asociado. En este caso el balance de energía es tal que el tramo aguas abajo invade al tramo aguas arriba.

En el caso contrario, cuando la energía del tramo aguas arriba supera a la de aguas abajo, la singularidad se resuelve como se indica en la Figura 7b.



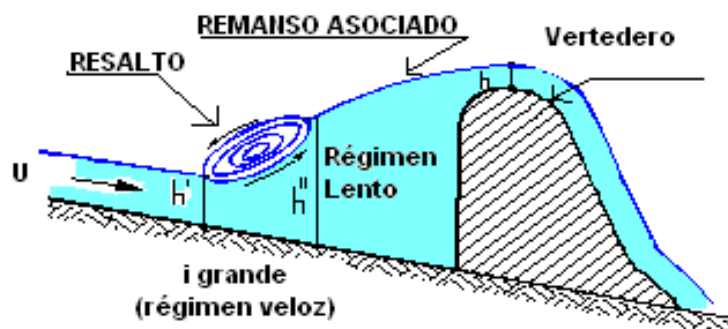
**Figura 7b**  
Resalto Hidráulico - Caso  $H_1 < H_2$



**Figura 8**  
Corriente lenta con compuerta

En el segundo caso (Figura 8), se representa un escurrimiento en un canal de pendiente baja y se obliga a pasar al caudal con un tirante  $h_0$  (apertura de la compuerta) tan bajo que origina una corriente veloz. Como ésta debe identificarse con un escurrimiento lento de tirante  $h$  aguas abajo, necesariamente se formará un resalto hidráulico y el perfil se completa con la formación de un remanso asociado. Nótese que aguas arriba de la compuerta se forma un remanso originado en la sobreelevación necesaria para que el orificio provocado por la compuerta, posibilite erogar el caudal  $Q$  en condiciones de régimen.

Finalmente, en el tercer caso (Figura 9) se representa un escurrimiento veloz (pendiente elevada), al que se le interpone una estructura (vertedero) que obliga al caudal a pasar por sobre ella. Esta sobreelevación del escurrimiento implica que éste se convierta en lento, por lo que debe formarse un resalto y su remanso asociado.

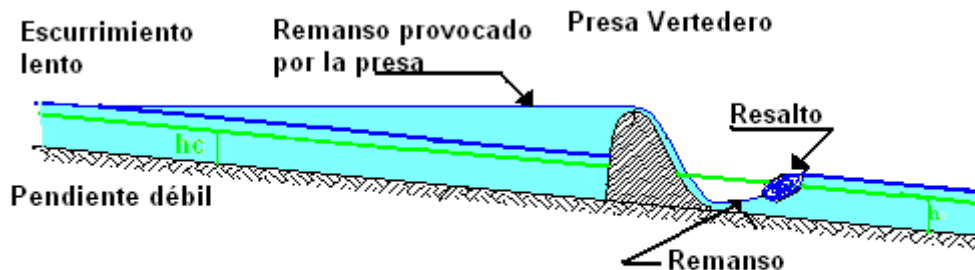


**Figura 9**  
Corriente veloz con vertedero

Debe recordarse que el resalto sólo se produce cuando un escurrimiento veloz se identifica con un escurrimiento lento. Para otro tipo de singularidades sólo se producirán remansos, sin la formación de resaltos.

En el ejemplo de la Figura 10 se analiza un escurrimiento lento, interceptado por una presa vertedero que obliga al caudal a pasar por encima de la estructura. La identificación de la superficie

libre, aguas arriba, se verifica con un remanso como el dibujado. Es característico de las presas en ríos de llanura y puede extenderse por decenas y aún centenares de kilómetros en los grandes ríos (el remanso de la Presa de Yacyretá significó la relocalización de la ciudad paraguaya de Encarnación y de todos los barrios bajos de Posadas).



**Figura 10**

Escorrimento lento aguas arriba y presa vertedero

El vertedero implica un escorrimento sobre su faldón como vena fluida acelerada (un torrente), el que implica, a su vez, que ingresado al canal nuevamente, deberá recomponer el tirante original del escorrimento uniforme, lo que tiene lugar con un resalto, puesto que se pasa obligatoriamente de régimen veloz a lento, con un remanso asociado de identificación como el indicado.

Es importante tener presente el esquema anterior, puesto que el remanso que se indica aguas arriba, cuando tiene lugar por “endicamientos” producidos por sedimentos, el proceso se realimenta, dado que, al disminuir la velocidad de llegada al obstáculo, como su velocidad tractiva disminuye (se recuerda que es proporcional a  $U^2$ ) crece la sedimentación de las partículas sólidas arrastradas.

En el caso de cloacas tiene especial sentido puesto que el remansamiento no sólo implica menor espacio destinado a la ventilación (con las consecuencias que se detallarán más adelante) sino que además puede llevar a la entrada “en presión de la conducción”.

## 4. APLICACIÓN A CONDUCCIONES CLOCALES

### 4.1. Concepto de Esfuerzo Tractivo y Velocidad de Autolimpieza

El esfuerzo tractivo  $\tau$  (dimensiones de fuerza dividida por superficie) resulta:

$$\tau = \gamma j R$$

En la que:

- " $\tau$ " es el "esfuerzo tractivo" en  $\text{kg/m}^2$  o  $\text{N/m}$ .
- " $\gamma$ " es el peso específico del agua.
- " $R$ " es el "Radio medio hidráulico" ("Sección mojada" dividida por el "perímetro mojado").
- " $j$ " es la pendiente de la "solera del canal" (o "invertido" de la tubería si es una conducción cloacal).

Nota: Se destaca que en el régimen uniforme  $i = j = j^*$ , por lo que los símbolos son intercambiables. Se respeta la sustitución "j" por "i" porque en la bibliografía relativa al esfuerzo tractivo, en general así se la expresa.

A su vez el esfuerzo tractivo también resulta igual (Ver teoría de la Sedimentación):

$$\tau = \frac{\gamma}{C^2} U^2$$

esta última conclusión implica que **"El esfuerzo tractivo es proporcional al cuadrado de la velocidad media"**.

Por otro lado, para calcular la conocida "Velocidad de Autolimpieza" se idealiza al material arrastrado o sedimentable (teoría de CAMP-SHIELDS, ver Teoría de la Sedimentación) como una sucesión de esferas de diámetro  $\phi$  y peso "específico de sólidos"  $\gamma_s$ , en contacto íntimo y dando lugar a una porosidad  $p$ , obviamente cubierta por el agua que brinda el "esfuerzo tractivo" del escurrimiento. El planteo de la teoría lleva a la expresión:

$$U = \sqrt{\frac{8g(\gamma_s - \gamma)}{f \gamma}} K \phi$$

Interesa destacar en el presente, que la expresión vincula a la velocidad mínima necesaria para que sea removida una partícula sólida discreta de diámetro  $\phi$  y peso específico  $\gamma_s$ .

## 4.2. Ataque Corrosivo en Materiales Cementicios – Índice de Pomeroy

Mediante experimentación y analizando instalaciones en caños de hormigón el investigador R. D. Pomeroy determinó, en los años cuarenta, relaciones entre las variables ligadas al proceso de corrosión por  $\text{SH}_2$ . Permitió, de este modo, relacionar parámetros hidráulicos, la temperatura y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los cuales eran manejados previamente, en forma aislada e independiente.

La fórmula posibilita evaluar, para las tuberías de material cementicio o revestidas con el mismo, **un eventual ataque corrosivo por  $\text{SH}_2$  y, en el caso que se produzca, cuantificar la magnitud del mismo.** Además brinda elementos de juicio para decidir sobre la selección del material del caño, establecer la necesidad o no de revestimientos protectores y prever la vida útil de la conducción.

La fórmula a la que hacemos referencia es la que sigue y la designaremos como Índice de Pomeroy:

$$I_p = \frac{3(\text{DBO})}{\sqrt{i} \sqrt[3]{Q}} \frac{\chi}{B_s} 1,069^{(T-20^\circ)}$$

En la que:

- $I_p$ : es el índice de Pomeroy (adimensional)
- DBO: es la “Demanda Bioquímica de Oxígeno”, en mg/l.
- $\chi$ : es el perímetro mojado, en m.
- $i$ : es la pendiente de la conducción (adimensional)
- $Q$ : es el caudal promedio, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .
- $B_s$ : es el ancho superficial, en m.
- $T$ : es la temperatura del agua, en  $^\circ\text{C}$ .

Las experiencias demuestran que:

- Para  $I_p > 7.500$  tiene lugar el ataque corrosivo importante para los hormigones.
- Para  $I_p > 23.000$  tiene lugar el ataque corrosivo para los caños de fibrocemento.

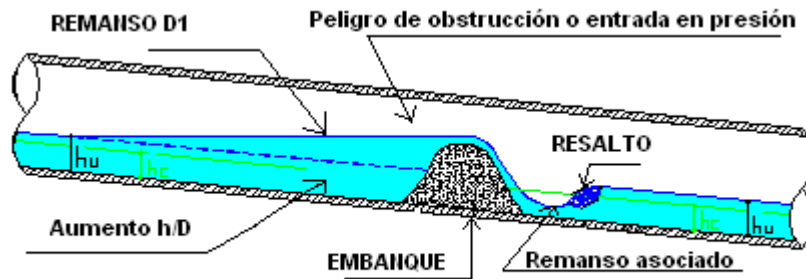
Es de destacar que el cociente  $\chi/B_s$  mide la capacidad de ventilación, puesto que al aumentar  $I_p$  aumenta la corrosión. Evidentemente cuando  $B_s$  tiende a 0, a medida que  $h/D$  tiende a 1,  $I_p$  aumenta tendiendo a  $\infty$ .

Por otra parte la temperatura  $T$  del agua también juega un rol importante, puesto que la actividad bacteriana productora de  $\text{SH}_2$ , aumenta considerablemente a partir de los  $20^\circ\text{C}$ .

## 4.3. Problemática usual en cloacas

La sedimentación de partículas sólidas, con alta componente orgánica, da lugar a un “endicamiento” que se autoalimenta, puesto que, al aumentar el volumen del embanque, aumenta en consecuencia el tirante debido al “efecto vertedero” que evidentemente se produce. Este efecto implica necesariamente reducción de velocidad por culpa del remansamiento, con la consecuente

reducción de la capacidad tractiva del escurrimiento, por lo que, cada vez, partículas de menor diámetro sedimentarán reforzando el “endicamiento” u obstrucción.



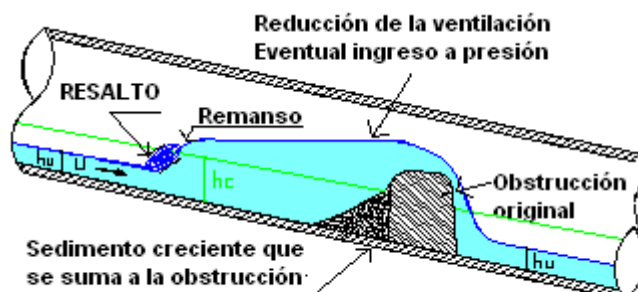
**Figura 11a**

Remanso por embanque en escurrimiento lento (pendiente suave)

En el caso extremo, puede llegar a obturarse la conducción y, para situaciones intermedias, se reduce considerablemente y en forma creciente (hasta llegar a la obturación) el espacio por sobre la superficie libre destinado a la ventilación del sistema.

Es oportuno señalar que en el caso de pendiente débil (menor que la crítica) representado en la Figura 11a, el remanso que se produce es asintótico aguas arriba, y se extiende en una gran longitud, por lo que la región afectada por la reducción de área destinada a la ventilación, puede ser muy importante.

En el caso de pendiente fuerte (Figura 11b), la situación que se produce por una obstrucción es la indicada, lo que implica una corriente lenta, que por un mecanismo similar al descrito en el caso anterior, se autoalimenta, conduciendo a una situación similar, pero ahora en una conducción que originalmente tenía un muy importante esfuerzo tractivo en función de su elevada pendiente y consecuente alta velocidad y que se transformó en lenta por causa de la obturación.



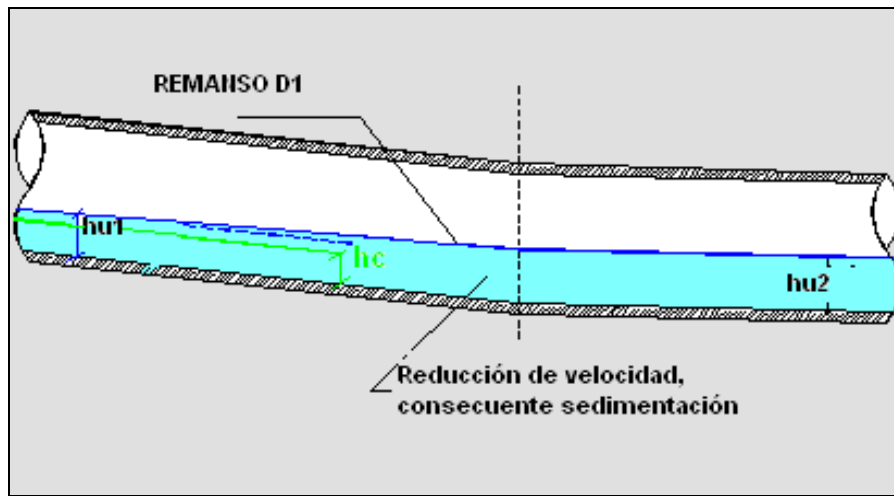
**Figura 11b**

Remanso por embanque en escurrimiento veloz (pendiente fuerte)

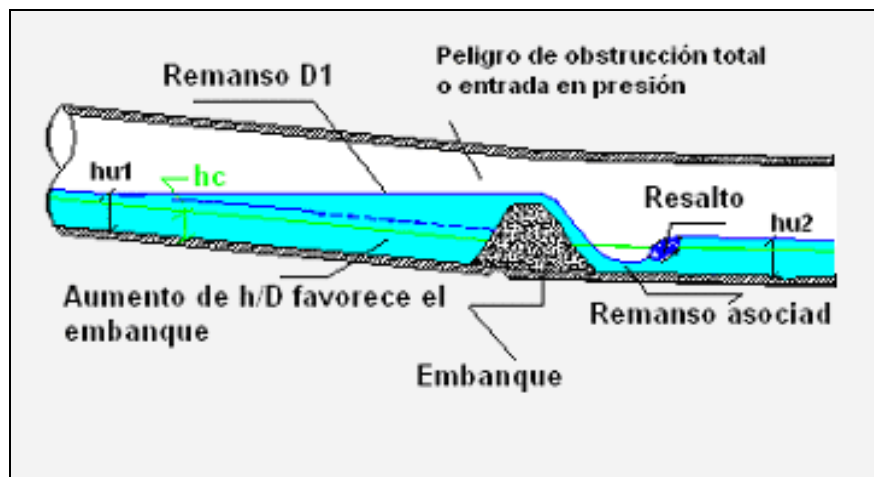
Una situación similar a la de la Figura 11a, muy frecuente, se da para el caso descrito en la Figura 12a, en la que se esquematiza un cambio de pendiente por reducción de la misma. La



similitud tiene lugar aguas arriba del cambio de pendiente, tal como puede ser apreciado en el esquema.



**Figura 12a**  
Remanso por cambio de pendiente



**Figura 12b**  
Remanso por embanque en escurrimiento lento (cambio de pendiente)

Nota: En los casos estudiados se obvia en el dibujo la cámara de registro, la que no modifica en absoluto el remanso que se origina por la singularidad.

Puede observarse, en este caso, que al pasar de una pendiente menor que la crítica (escurrimiento lento) a una todavía menor, el efecto es similar al de un endicamiento, por lo que en las inmediaciones de la singularidad tendrá lugar el efecto de la sedimentación que incluso ahonda el problema, tal como puede apreciarse en la Figura 12b.

---

A modo de conclusiones de los conceptos expuestos se deduce lo siguiente:

- a) La justificación de la necesidad del mantenimiento preventivo para evitar los endicamientos producidos por obstrucciones que se autoalimentan.
- b) Respetar las pendientes fijadas por el proyectista durante la construcción para no formar remansamientos no queridos por vicios durante la misma al generarse cambios de pendientes no previstos.
- c) Evaluar convenientemente la problemática de los remansos y/o resaltos en las conducciones importantes (cloacas máximas o colectoras de gran diámetro) para los distintos caudales de funcionamiento.
- d) Considerar que cuando tienen lugar los remansos que disminuyen la zona destinada a ventilación, **consecuentemente el efecto corrosivo para las tuberías de material cementicio, se potencia**, puesto que al aumentar el tirante en la zona superior, disminuye el ancho superficial  $B_s$  y aumenta proporcionalmente el Índice de Pomeroy, lo que implica aumento de la corrosión por transformación química del  $\text{SH}_2$  (siempre presente en el líquido cloacal) y el posterior ataque a unos de los componentes fundamentales de los cementos, el aluminato tricálcico.