

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XX CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**COEFICIENTE DE DESCARGA EN PARTIDORES DE AGUA NO
CONVENCIONALES**

RODRIGO GONZALEZ K.¹
IVAN NUÑEZ P.²
LUDWIG STOWHAS B.³

RESUMEN

Se analiza el comportamiento real de diversas estructuras utilizadas para la partición de pequeños caudales utilizadas en Chile, incluyendo partidores de boquera o ranura lateral y ranuras laterales simples de diverso largo. Se obtienen valores experimentales de coeficientes de gasto, lo que permite validar el procedimiento teórico propuesto por E. Vásquez para su estimación. Se comprueba que dicho procedimiento es extendible al caso de ranuras simples sin grada, siempre que su largo logre alcanzar un comportamiento asimilable a vertedero de pared gruesa. Para ranuras de de menor largo, de pared intermedia, se propone una fórmula empírica monomía que permite estimar coeficientes de descarga con mayor precisión que los métodos actualmente en uso.

¹Ingeniero Civil, UTFSM

²Ingeniero Civil, HRA Ing. Cons.-mail:hra.ivan@gmail.com

³ Profesor Departamento de Obras Civiles, UTFSM – mail: ludwig.stowhas@usm.cl

1. INTRODUCCIÓN.

Los Marcos Partidores son aparatos automáticos, que dividen los caudales variables de un canal en una proporción fija (o lo más cercano a una proporción fija posible), siendo este problema una situación típicamente chilena, en que los accionistas de un determinado canal compran acciones, equivalentes a un porcentaje de agua del canal principal cuyo caudal suele ser variable.

Convencionalmente, las estructuras utilizadas para materializar marcos que logren una partición alícuota, descritos en detalle por F. J. Dominguez (1999), son los siguientes:

- Partidores de escurrimiento crítico por barrera de pared gruesa
- Partidores de escurrimiento crítico por angostamiento.
- Partidores de Resalto.
- Partidores de Ranura Lateral de pared Gruesa

En los últimos años, producto por una parte, de la subdivisión de grandes tierras en propiedades más pequeñas, y por otra, del incremento creciente de métodos de riego mecanizado para los cuales el riego por turnos no es conveniente, ha traído como consecuencia la proliferación de marcos que extraen derechos de agua que son una fracción cada vez más pequeña de lo que era antes. Lo anterior, se traduce en la utilización más frecuente de marcos partidores de boquera o ranura lateral, adecuados para extracciones de pequeños caudales, ya que tienen un ancho bastante pequeño, logrando materializar la extracción del agua en forma continua.

El grave problema de la proliferación de marcos con gradas es el embancamiento, incremento de la infiltración y desbordes que genera hacia aguas arriba el peralte del canal, lo que se ha demostrado a lo largo de diversos canales.

Al hacer una inspección en terreno, se ha verificado que existen variados tipos de sistemas de partición de aguas, entre los que se menciona ranuras, cañones de fondo, cuchillas partidoras, y en particular, las ranuras laterales simples (Stowhas yVásquez,1991), que se han masificado enormemente. Sin embargo, al hacerse el ancho de estas ranuras cada vez más pequeños y al no respetarse dimensiones normalizadas de diseño, el coeficiente de descarga de cada ranura se hace más impreciso, lo que genera bastante error al momento de querer extraer el caudal que, efectivamente, se debe sacar del canal principal.

El presente estudio, pretende entregar antecedentes teóricos y experimentales respecto a los marcos partidores existentes en la actualidad y hacer un mejoramiento en su diseño, profundizándose en la Ranura Lateral simple (sin presencia de grada aguas abajo del canal principal ni en la ranura lateral), que si bien no tienen una proporción fija de partición, en el aspecto constructivo son mucho más simples y no presentan los problemas que genera la presencia de gradas.

2. PRINCIPALES ESTRUCTURAS DE PARTICIÓN DE PEQUEÑOS CAUDALES Y CRITERIOS PARA SU DISEÑO.

Las estructuras consideradas son las siguientes.

2.1 *Marco de Ranura Lateral de Pared Gruesa*

Este tipo de marco partididor consiste en un vertedero de pared gruesa en forma perpendicular al canal principal, es decir se cumple la relación $L/h_c > 2,5$ (requisito dado en base a la experimentación llevada a cabo por F. J. Domínguez), siendo L el largo de la ranura y h_c la altura crítica a la salida de la apertura, contando con una grada en la dirección de la ranura y otra en la dirección del canal principal, las que generan escurrimiento crítico, tanto en el canal principal como en la salida lateral. Por otra parte, este tipo de marcos contemplan una cámara de quietamiento, que permite desprestigiar la velocidad inicial del agua antes de entrar a la ranura.

La expresión general para obtener el caudal de salida de un vertedero de pared gruesa es la siguiente:

$$Q = mbH\sqrt{2gH} \quad (1)$$

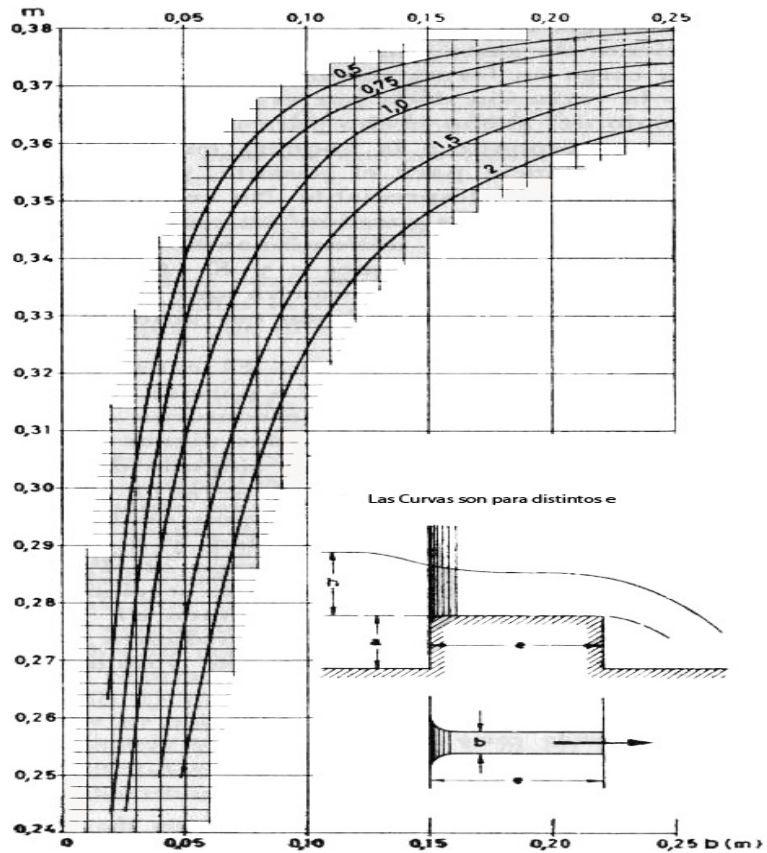
En que b es el ancho o espesor de la barrera, H es la carga sobre el vertedero, m es el coeficiente de gasto, con valor teórico conocido $m=0.385$ si se desprestigian las pérdidas por fricción.

Se puede aplicar la misma fórmula para el caudal de salida del ramal lateral, excepto que el valor del coeficiente de gasto de la ranura difiere del valor común del vertedero de pared gruesa ($m=0,385$), dado que la resistencia de las paredes tiene una importancia mucho mayor, debido al pequeño espesor de la ranura. En el caso de la pared gruesa del canal principal, el espesor de la capa límite es despreciable respecto al espesor del marco. Un esquema de este tipo de marco se obtiene en la Referencia (Dominguez,1999), Pág. 586.

Para su diseño, F. J Domínguez presenta un ábaco (Figura 1) con el coeficiente de gasto m en función del ancho de la ranura y con el largo L de la ranura como parámetro (e, en la figura). De esta forma el caudal que se deba sacar de dicha ranura se obtiene de la fórmula (1), general de vertederos y con el valor de m anteriormente mencionado.

Es de notar que el coeficiente m del ábaco es solo función del ancho de la boquera, y del largo de la barrera; lo que no es del todo exacto ya que se entra en flujo de transición, en que el coeficiente depende del número de Reynolds, y este a su vez varía inversamente a la carga.

Figura 1: *Cálculo del Coeficiente de Descarga en Marcos de Ranura Lateral de Pared Gruesa*



FUENTE: F. J. Domínguez 1999. *Hidráulica*. Sexta Edición. Editorial Universitaria. Pág. 587.

Por otra parte, Vásquez (1990,1991) considera explícitamente las pérdidas de carga proponiendo la expresión teórica

$$m = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{f \cdot L}{8R_H} \right)^{3/2}} \quad (2)$$

donde el factor de fricción f se puede evaluar mediante el ábaco de Moody o la fórmula de Colebrook a partir de la rugosidad ϵ de la pared

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \text{Log} \left[\frac{\epsilon}{14.8R_H} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (3)$$

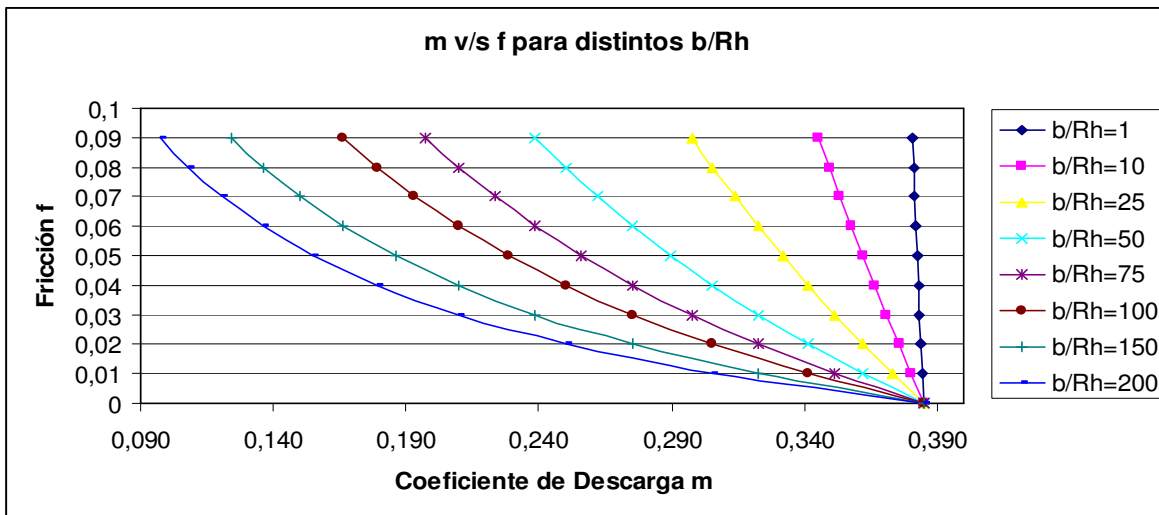
evaluando el N° de Reynolds Re , mediante la expresión

$$\text{Re} = \left(\frac{32}{3} gH \right)^{1/2} \frac{R_H}{\nu} \quad (4)$$

siendo el radio hidráulico $R_H \approx \frac{b}{2}$, L el largo del vertedero y H la carga sobre el mismo.

Dado el carácter iterativo del procedimiento, Vásquez propone el siguiente ábaco, que permite determinar el coeficiente de descarga en función del coeficiente de fricción y de $\frac{L}{R_H}$, correspondiente al cociente entre el largo y el radio hidráulico de la ranura, denotado como b/Rh en la figura original de Vásquez (Figura 2)

Figura 2: *Coeficiente de descarga en función de la fricción de la fórmula de Colebrook*



2.2 Marco de Ranura Lateral Simple

Este tipo de marco no convencional consiste en un vertedero que, a diferencia del anterior, no tiene una pared gruesa en la descarga lateral, sino un vertedero de pared intermedia ($L/hc < 2,5$), sin grada de fondo.

Estas estructuras constituyen una alternativa de menor costo, con menor error de partición a tubos y cañones de fondo, siendo una solución usual cuando no se quiere utilizar la barrera en el canal principal.

Para este tipo de ranura, existe una expresión experimental del coeficiente de descarga determinada por Stowhas y Vásquez (2,4), en que se establece el valor de este coeficiente en función de la carga y del ancho de la ranura. La expresión general de Vásquez, es la siguiente, donde b y H se consideran en metros.

$$m = 0,2409 + 2,8922 \cdot b + 0,0441 \cdot H \quad (5)$$

La expresión anterior se obtuvo para anchos “ b ” experimentales entre 1 y 5 centímetros, y para un largo de ranura fijo “ L ” igual a 17 centímetros (largo de ladrillo fiscal).

3.- VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

En la práctica, se ha detectado la existencia de marcos partidores que no se construyen respetando las condiciones de marcos de ranura lateral, se elimina la grada, o siendo de ranura lateral simple, se han construido con largos de ranura distintos a los ensayados por Vásquez. Ello introduce una gran incertidumbre en el establecimiento de su coeficiente de descarga y en la determinación del real caudal que estas estructuras descargan.

El objetivo de este trabajo, es el de lograr información experimental, que permita corroborar o corregir las expresiones obtenidas en estudios anteriores. Esto se llevó a cabo de forma tal que, fuera posible obtener los coeficientes de descarga de la manera más cercana a la situación real. La variación en las mediciones, servirá para hacer un análisis de sensibilidad de las variables que hacen cambiar el coeficiente de descarga en forma experimental y real.

Se realizó una serie de experimentaciones (González, 2010), cuya finalidad fue obtener valores experimentales del coeficiente de descarga, los que serán contrastados con el coeficiente de descarga teórico; para lo cual se utilizó variados marcos partidores existentes en el canal Waddington, en la Región de Valparaíso, a los que además, se hizo variar su altura, obteniéndose más información para una misma ranura.

Los marcos partidores estudiados corresponden a 27 saques de agua existentes en el canal, destinados al regadío de predios de predios de La Cruz, Quillota, Limache y Olmué.

Para la mayoría de los casos, los saques se encontraban en buenas condiciones, embancados en algunos sectores; pero una vez limpios, presentaban adecuadas condiciones para ser aforados.

3.1.- Descripción Visual de cada Marco

Los aforos se realizaron en 2 tipos de marcos partidores existentes en el canal, con grada de fondo y sin grada de fondo; los cuales de acuerdo al valor de L/hc , se clasificaron como marco lateral de pared gruesa o marco de ranura lateral simple.

Se procedió a medir distintas variables características de cada marco, como son:

-Ancho de la ranura

La necesidad de que estas ranuras tengan un ancho tan pequeño, genera problemas constructivos, dado que es dificultoso mantener su magnitud a lo largo y alto de estas ranuras; sin considerar los efectos de la diferencia de temperatura que provocan expansión y contracción de los materiales. Por este motivo, se consideró un ancho promedio de la ranura, a partir de los valores medidos abajo, al centro y arriba. Esta medición se llevó a cabo con una huincha métrica con precisión al milímetro.

Se estima que el ancho que se mide en la ranura es el factor que más error genera en la determinación del coeficiente de descarga experimental, debido a que el caudal de salida es muy sensible a esta variable. Por lo tanto, a pesar de que las mediciones hayan sido llevadas a cabo correctamente, se tiene una gran incertidumbre debido a la irregularidad del ancho de las ranuras.

-Largo de la Ranura:

El aspecto constructivo no genera problemas para el largo de la ranura, siendo este parámetro el que menos presenta variaciones a lo alto de la misma. Este largo varió desde 18 centímetros hasta 3 metros de longitud, aproximadamente.

-Altura del agua en la cámara de aquietamiento (en la ranura)

Este dato corresponde a la determinación de la altura H , que permite determinar la carga inicial de agua al momento de ingresar a la ranura. Este dato se midió con huincha calibrada cada medio centímetro.

Esta altura se hizo variar, tal como se mencionó anteriormente, para poder medir el caudal saliente para alturas variables dentro de esta cámara.

-Medición del caudal que sale desde cada marco

El procedimiento, mediante el cual se midió el caudal saliente por cada ranura fue variable dependiendo de las características físicas que presentó cada saque:

- Medición Volumétrica: es el método más exacto, pero aplicable sólo cuando las condiciones físicas así lo permitieron.
- Medición mediante el uso de un Molinete. Este molinete es de la Marca Global Water, modelo fp-101 construido en EEUU, que registra un rango de velocidades entre 0,05 m/s hasta 4,5 m/s. El equipo indica tanto velocidad instantánea, promedio automático (esperando a que se estabilice la medida) y velocidad máxima. Para llevar a cabo la medición se puede hacer de forma directa, indirecta o preferentemente, ambas, las que se describen a continuación:
 - A) Medición Directa: Corresponde a medir directamente el caudal saliente por cada ranura, siempre y cuando esto sea posible.
 - B) Medición Indirecta: se llevo a cabo en aquellos casos en que existía cierta incertidumbre de los valores medidos en forma directa, y consistió en medir el caudal del canal principal, antes y después de la ranura, para así obtener el caudal que salía por determinado saque. La exactitud de este método, es discutible; pero sirvió para tener una referencia del caudal que se extrae, en los casos en que era difícil medir en forma directa, por las condiciones físicas del lugar donde se ubicaba.

-Determinación Visual del Coeficiente de Rugosidad (ϵ) en las paredes de la Ranura

La determinación visual de este coeficiente se hizo verificando el material con el que se había construido la ranura y el estado en que ésta se encontraba.

Un análisis de sensibilidad ante la variación de los distintos parámetros involucrados, permiten estimar que el error en la estimación de los coeficientes de descarga está en el orden de un 15%.

En función de lo antes expuesto y de las dificultades de medición, los resultados se clasifican en la tabla N° 1.

Tabla 1: Clasificación de la calidad de Las Mediciones y de funcionamiento.

| Marco | Marco con grada | Marco sin grada | Dificultad en la medición | Calidad de la medición | Funcionamiento |
|-------|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------------|----------------|
| 1 | | X | Pequeña | Excelente | Ahogado |
| 2 | | X | Pequeña | Excelente | Ahogado |
| 3 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 4 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 5 | | X | leve | Buena | Correcto |
| 6 | | X | leve | Buena | Correcto |
| 7 | X | | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 8 | | X | leve | Excelente | Ahogado |
| 9 | X | | Ninguna | Excelente | Ahogado |
| 10 | | X | Ninguna | Excelente | Ahogado |
| 11 | X | | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 12 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 13 | | X | leve | Excelente | Correcto |
| 14 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 15 | | X | Pequeña | Buena | Correcto |
| 16 | | X | Pequeña | Buena | Correcto |
| 17 | | X | leve | Excelente | Correcto |
| 18 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 19 | | X | leve | Buena | Correcto |
| 20 | | X | Pequeña | Excelente | Correcto |
| 21 | X | | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 22 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 23 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 24 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |
| 25 | | X | leve | Excelente | Correcto |
| 26 | | X | leve | Buena | Correcto |
| 27 | | X | Ninguna | Excelente | Correcto |

Se observa que 5 de los marcos estudiados funcionaban ahogados por condiciones de aguas abajo, por lo que sólo 22 marcos entregan información útil para el presente estudio, sumando un registro de 53 datos diferentes, considerando las mediciones efectuadas con distinta carga en un mismo marco. Los datos válidos incluyen distintos tipos de ranuras, alturas, anchos y espesores, clasificados según se menciona a continuación:

- Marcos de Ranura lateral de pared gruesa: Son aquellos marcos que presentan un valor de $L/hc > 2.5$, con y sin grada de fondo.

- Marcos de Ranura Lateral simple: Son aquellos marcos que presentan un valor de $L/hc < 2.5$, que en este estudio corresponde sólo a ranuras sin grada de fondo.

3.2.- Marcos de Ranura Lateral de pared Gruesa

30 datos corresponden a este tipo de marco.

En la tabla N° 2 se presentan los valores experimentales de terreno obtenidos para los coeficientes de gasto, además de los valores que resultan del método teórico de Vásquez y los que son posibles de extraer del ábaco de F.J.Domínguez.(FJD)

Tabla 2: Valores del Coeficiente de Descarga para marcos de pared gruesa de acuerdo a los datos medidos directamente en terreno.

| | Q[l/s] | Radio Hidráulico | H[m] | L/hc | Reynolds | fricción | m Exp. | m Teórico | m Domínguez |
|-----------|--------|------------------|-------|-------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|
| 4 | 5,1 | 0.006 | 0.545 | 2,64 | 36881 | 0.0285 | 0.256 | 0.256 | 0.23 |
| 6 | 7,0 | 0.010 | 0.564 | 3,37 | 67840 | 0.1014 | 0.183 | 0.182 | 0.244 |
| 7 | 20,0 | 0.037 | 0.31 | 16,29 | 186731 | 0.0261 | 0,308 | 0,305 | 0.27 |
| | 14,0 | 0.036 | 0.245 | 20,68 | 160859 | 0.0264 | 0,306 | 0,302 | 0.27 |
| | 8,9 | 0.035 | 0.185 | 28,05 | 133386 | 0.0269 | 0,296 | 0,297 | 0.27 |
| | 5,3 | 0.032 | 0.137 | 39,31 | 107733 | 0.0275 | 0,280 | 0,291 | 0.27 |
| 11 | 10,0 | 0.017 | 0.35 | 4,97 | 88476 | 0.0305 | 0.313 | 0.310 | 0.27 |
| | 8,7 | 0.017 | 0.32 | 5,47 | 84223 | 0.0306 | 0.310 | 0.310 | 0.27 |
| 12 | 5,4 | 0.010 | 0.33 | 2,60 | 50031 | 0.0347 | 0.324 | 0.311 | 0.27 |
| | 3,1 | 0.010 | 0.235 | 3,76 | 41723 | 0.0351 | 0.310 | 0.310 | 0.27 |
| 13 | 30,7 | 0.022 | 0.68 | 2,79 | 161155 | 0.0607 | 0.275 | 0.281 | 0.3 |
| 15 | 6,2 | 0.005 | 0.68 | 3,78 | 36727 | 0.0280 | 0.249 | 0.190 | 0.265 |
| 17 | 19,4 | 0.010 | 0.865 | 2,51 | 82501 | 0.0354 | 0.273 | 0.247 | 0.233 |
| 18 | 39,0 | 0.024 | 0.595 | 2,53 | 166061 | 0.0272 | 0.383 | 0.336 | 0.308 |
| | 24,3 | 0.024 | 0.45 | 3,46 | 142564 | 0.0274 | 0.364 | 0.335 | 0.308 |
| 21 | 16,1 | 0.017 | 0.493 | 5,61 | 106477 | 0.0302 | 0.300 | 0.281 | 0.24 |
| 22 | 20,8 | 0.030 | 0.38 | 4,69 | 165607 | 0.0575 | 0.308 | 0.306 | 0.328 |
| 23 | 2,3 | 0.015 | 0.13 | 13,44 | 48640 | 0.0284 | 0,320 | 0,307 | 0.282 |
| | 5,1 | 0.016 | 0.215 | 7,81 | 65548 | 0.0275 | 0,340 | 0,312 | 0.282 |
| | 9,4 | 0.016 | 0.31 | 5,21 | 80517 | 0.0270 | 0,360 | 0,315 | 0.282 |
| | 16,3 | 0.016 | 0.44 | 3,61 | 97422 | 0.0267 | 0,370 | 0,316 | 0.282 |
| | 24,3 | 0.017 | 0.57 | 2,76 | 111832 | 0.0264 | 0,375 | 0,317 | 0.282 |
| 25 | 32,9 | 0.022 | 0.595 | 2,71 | 154874 | 0.0278 | 0,348 | 0,332 | 0.307 |
| | 21,1 | 0.022 | 0.425 | 3,64 | 128953 | 0.0280 | 0,370 | 0,331 | 0.307 |
| | 16,7 | 0.022 | 0.355 | 4,25 | 116662 | 0.0282 | 0,384 | 0,330 | 0.307 |
| | 11,9 | 0.021 | 0.285 | 5,34 | 102975 | 0.0284 | 0,379 | 0,329 | 0.307 |
| | 4,2 | 0.020 | 0.145 | 10,69 | 68464 | 0.0294 | 0,370 | 0,323 | 0.307 |
| 26 | 15,5 | 0.010 | 0.73 | 3,96 | 75630 | 0.0233 | 0.281 | 0,258 | 0.19 |
| 27 | 3,3 | 0.013 | 0.175 | 4,58 | 47046 | 0.0240 | 0,380 | 0,341 | 0.3 |
| | 6,6 | 0.013 | 0.275 | 2,89 | 60552 | 0.0231 | 0,385 | 0,343 | 0.3 |

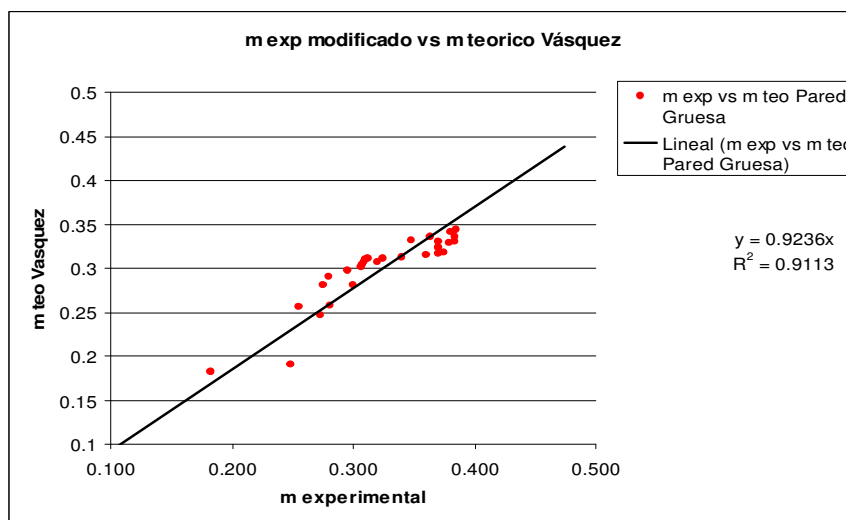
Vertedero de Pared gruesa con grada

Se observa de los resultados, que los valores experimentales concuerdan bastante mejor, en magnitud y dispersión, con los valores teóricos que con los obtenidos del ábaco de FJD,

posiblemente porque debido a lo estrechas de las ranuras, estas escapan al rango experimental de Domínguez.

La figura 3 muestra la relación entre los valores teóricos y experimentales, con un grado de asociación que se considera bastante bueno si se considera la magnitud de los errores de medición que se pueden producir de una experimentación en terreno. El coeficiente de regresión resulta 0.9236 con un valor de $R^2 = 0,9113$ para todos los datos y de $R^2 = 0,9172$ al excluir el dato correspondiente al marco 15, el punto de mayor dispersión.

Figura 3: *Contraste entre el Coeficiente de Descarga experimental y Teórico para marcos de Ranura lateral de Pared Gruesa con los datos medidos directamente en terreno.*



Es de gran interés observar que sólo 7 de las mediciones corresponden marcos partidores de ranura lateral convencionales, es decir, con grada o barrera tanto en el canal principal como en el ramal saliente; el resto, la mayoría, corresponden a ranura laterales sin grada de fondo, con lo que se demuestra que el criterio de una relación $L/h_c > 2.5$ para definir comportamiento como vertederos de pared gruesa, es también aplicable al caso en que la ranura se construye hasta el fondo, sin grada.

3.3.- Marcos de Ranura Lateral Simple

23 datos corresponden a este tipo de marco que clasifican en la categoría de pared intermedia, cuyo valor de $L/h_c < 2,5$. Hay que notar que, en este tipo de partidores, el valor del coeficiente de descarga puede ser mayor a 0,385, por el hecho de que ya no se trata de una pared gruesa, sino de pared intermedia y las pérdidas por fricción son menores.

En la tabla N° 3 se presentan los valores experimentales de terreno obtenidos para los coeficientes de gasto, además de los valores que resultan del método empírico de Vásquez, válido para ranuras simples de largo $L=17$ cm.

La figura 4 muestra la relación entre las variables indicadas, excluyendo los resultados del Marco 14, cuyo valor experimental escapa totalmente al rango, sugiriendo algún error de medición.

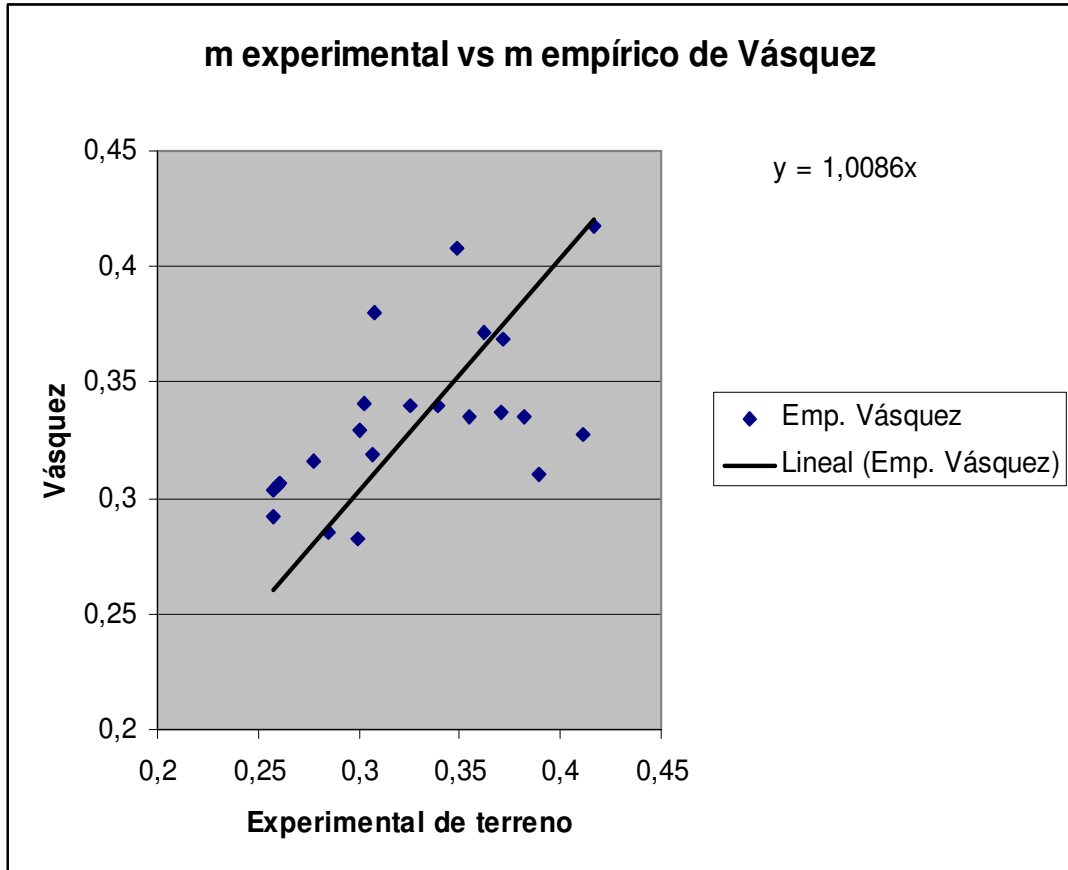
Tabla 3: Valores del Coeficiente de Descarga para marcos de Ranura Simple, de acuerdo a los datos medidos directamente en terreno.

| Marco | Q[l/s] | H Entrada a Ranura (m) | R_H | Reynolds | L/hc | m exp | m emp Vásquez |
|-----------|-------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| 3 | 2,7 | 0,355 | 0,005 | 26361 | 0,96 | 0,285 | 0,285 |
| | 4,0 | 0,495 | 0,005 | 31250 | 0,74 | 0,258 | 0,292 |
| | 1,8 | 0,265 | 0,005 | 22668 | 1,25 | 0,299 | 0,282 |
| 4 | 13,0 | 0,962 | 0,006 | 49218 | 1,42 | 0,277 | 0,316 |
| | 8,4 | 0,745 | 0,006 | 43239 | 1,90 | 0,261 | 0,306 |
| | 7,8 | 0,71 | 0,006 | 42196 | 2,00 | 0,260 | 0,305 |
| | 7,0 | 0,665 | 0,006 | 40815 | 2,15 | 0,258 | 0,303 |
| 5 | 14,5 | 0,79 | 0,006 | 47492 | 1,36 | 0,389 | 0,310 |
| 6 | 22,2 | 0,78 | 0,010 | 80176 | 1,56 | 0,355 | 0,335 |
| 12 | 15,1 | 0,685 | 0,010 | 73197 | 1,32 | 0,300 | 0,329 |
| | 8,8 | 0,47 | 0,010 | 60235 | 1,89 | 0,307 | 0,319 |
| 14 | 17,3 | 0,88 | 0,005 | 41850 | 0,30 | 0,474 | 0,309 |
| 16 | 25,2 | 0,96 | 0,010 | 87012 | 0,92 | 0,303 | 0,341 |
| 17 | 26,1 | 0,935 | 0,010 | 85848 | 2,06 | 0,326 | 0,340 |
| 18 | 57,0 | 0,725 | 0,024 | 184642 | 1,96 | 0,417 | 0,417 |
| 19 | 27,3 | 0,5 | 0,024 | 151071 | 1,70 | 0,349 | 0,408 |
| 20 | 18,2 | 0,63 | 0,010 | 70109 | 2,35 | 0,411 | 0,327 |
| 23 | 33,6 | 0,725 | 0,017 | 126910 | 2,22 | 0,362 | 0,371 |
| | 30,7 | 0,67 | 0,017 | 121772 | 2,36 | 0,372 | 0,369 |
| 24 | 41,6 | 0,93 | 0,017 | 144467 | 1,93 | 0,308 | 0,380 |
| 27 | 13,7 | 0,485 | 0,013 | 82078 | 1,78 | 0,339 | 0,340 |
| | 9,7 | 0,355 | 0,013 | 69532 | 2,25 | 0,382 | 0,335 |
| | 11,8 | 0,415 | 0,013 | 75579 | 1,97 | 0,370 | 0,337 |

Eliminado por estar fuera de rango

Se observa que si bien la tendencia promedio da un coeficiente de regresión prácticamente igual a 1, la dispersión es fuerte, alcanzando el coeficiente de correlación sólo $R^2=0.724$, lo que indica que el largo de la ranura influye en forma no despreciable y debe considerarse en el cálculo del coeficiente de gasto, dejando la fórmula propuesta por Vasquez, sólo al caso $b=17$ cm.

Figura 4: *Contraste entre el Coeficiente de Descarga experimental y Empírico para marcos de Ranura lateral Simple.*



4 PROPOSICION DE NUEVA EXPRESION EMPÍRICA

Dado que la única fórmula empírica disponible para encontrar el valor del coeficiente de descarga en partidores de ranura simple, no se acomoda a la totalidad de la información existente en forma correcta, se procedió a buscar una nueva fórmula empírica que correlacione de mejor forma el valor del coeficiente de descarga experimental.

A partir de un análisis dimensional de las variables involucradas y de distintas alternativas ensayadas, se propone una fórmula monomía del tipo

$$m = m_0 \left(\frac{b}{H} \right)^a \cdot \left(\frac{L}{H} \right)^c \cdot \left(\frac{\varepsilon}{H} \right)^d \left(\frac{(g \cdot H)^{0.5} \cdot b}{v} \right)^f \quad (6)$$

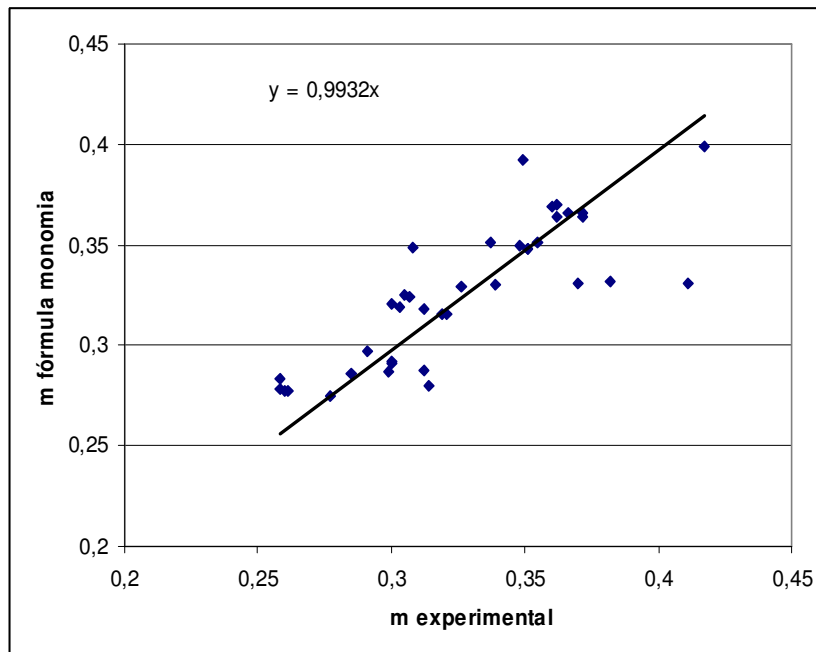
Para la determinación de los parámetros se utilizó la información recolectada en el presente estudio (22 datos), representativos de la realidad y del comportamiento hidráulico de este tipo de partidores de agua, a los que se les sumó los valores experimentales obtenidos en laboratorio por Vásquez, sumando un total de 38 datos.

El ajuste de la fórmula propuesta, arrojó el siguiente resultado:

$$m = 0.079 \left(\frac{b}{H} \right)^{0.0439} \cdot \left(\frac{L}{H_0} \right)^{0.0347} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{H} \right)^{0.0259} \left(\frac{(g \cdot H)^{0,5} \cdot b}{v} \right)^{0.1651} \quad (7)$$

La figura 5 muestra la relación entre los valores experimentales y los que resultan de la fórmula propuesta

Figura 5: Valores Teóricos y experimentales del coeficiente de Descarga.



Se observa un coeficiente de regresión cercano a 1 y un coeficiente de correlación $R^2=0.87$, con un error standard en la estimación del coeficiente de descarga de $\varepsilon_s = \pm 0.023$. El procedimiento propuesto resulta superior al obtenido con la fórmula propuesta por Vásquez, constituyéndose en un aceptable procedimiento para estimar el coeficiente de descarga de partidores de ranura lateral simple, sin grada y pared intermedia. Los 5 valores que más escapan a la tendencia general, corresponden a datos obtenidos en terreno, lo que revela las mayores dificultades de medición, con errores estimados del orden del 15%.

5.- CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones que se pueden extraer del presente estudio son las siguientes:

- Para la estimación de coeficientes de descarga de marcos partidores de ranura lateral con grada, cuando el ancho de la ranura es pequeño, resulta más preciso el procedimiento teórico propuesto por Vásquez que el uso de los ábacos propuestos por F.J. Domínguez.
- Las experiencias confirman el criterio de Domínguez de establecer una relación $L/h_c > 2.5$ para lograr un funcionamiento correspondiente a vertedero de pared gruesa.
- Lo anterior resulta también válido para partidores de ranura sin grada, cuyo coeficiente de descarga puede estimarse con el mismo procedimiento propuesto por Vásquez.
- En el caso de ranuras sin grada de menor largo, con relación $L/h_c < 2.5$ el comportamiento es de pared intermedia y el uso del procedimiento teórico pierde validez.
- En este último caso, el largo de la ranura influye significativamente en el coeficiente de descarga por lo que el uso de la fórmula empírica propuesta por Vásquez debe restringirse sólo a ranuras de un largo $b=17\text{cm}$.
- La fórmula monomía propuesta permite mejorar la estimación del coeficiente de descarga de ranuras laterales simples de largo variable con un error standard de la estimación del coeficiente de descarga de $\varepsilon_s = \pm 0.023$.

REFERENCIAS

- 1.- **DOMINGUEZ S., Francisco Javier.(1999)** “*Hidráulica*”. Sexta Edición. Santiago : Editorial Universitaria.
- 2.- **GONZALEZ KLENNER, R.,(2010)**”Coeficiente de Descarga en Partidores de Agua no Convencionales”, Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad Santa María, Valparaíso.
- 3.-**STOWHAS, L. y E. VASQUEZ, (1991)** “ Partición de Pequeños Caudales en Base a Ranuras Simples”, X Congreso de Hidráulica, SOCHID, Valparaíso.
- 4.- **VASQUEZ, E. y STOWHAS, L.,(1991)** “ Coeficientes de Descarga de Vertederos de Ranura”, X Congreso de Hidráulica, SOCHID, Valparaíso.
- 5.-**VÁSQUEZ P., Eugenio.(1990)** “*Determinación del Coeficiente de Descarga en Vertederos de Ranura*”. Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, 1990. Tesis de título.