



II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

DISEÑO DE VERTEDORES TIPO LABERINTO: COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS

Erick Dante Mattos Villarroel¹; Mauro Íñiguez Covarrubias²; Waldo Ojeda Bustamante²; Jorge Flores Velásquez²; Carlos Díaz Delgado³

¹Estudiante Doctoral. Postgrado en CYTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550, Jiutepec, Morelos, México. e_mattos_@outlook.com. (*Autor para correspondencia).

²Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550, Jiutepec, Morelos, México.

³Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca Atlacomulco km 14.5, Unidad San Cayetano, C.P. 50200, Toluca, Estado de México, México.

Resumen

Los vertedores son obras hidráulicas que permiten garantizar la seguridad de la estructura hidráulica y el control de avenidas existentes. Existe una diversidad de vertedores, principalmente el tipo lineal, sin embargo, los vertedores tipo laberinto son una opción viable con respecto a vertedores tradicionales en términos de carga hidráulica para un gasto de diseño en un mismo ancho de canal. Sin embargo, resulta complicado obtener un diseño óptimo debido a la característica del flujo y las variables que requiere su diseño hidráulico; por lo que la necesidad de mejorar su eficiencia hidráulica ha sido la causa de diversas formas de diseño en su investigación.

En el presente estudio se describe dos métodos de diseño: en un método se requiere la definición de la constante W_r , obtenida experimentalmente, que está en función de la relación carga hidráulica-altura de la cresta y de la relación de gastos de un vertedor en laberinto contra uno lineal; mientras que en el otro método utiliza la ecuación general del vertedor lineal, para definir el coeficiente de descarga propone una ecuación polinómica de cuarto orden que está en función de la relación de carga hidráulica-altura de la cresta para ángulos que varían de 6° a 35° . En ambos métodos se obtiene casi la misma longitud efectiva diferendo sólo en el número de ciclos. Se concluye que tales métodos de diseño son aplicables, siempre y cuando se respete las condiciones en que fueron investigados.

Palabras claves adicionales: Diseño, longitud efectiva, coeficiente de descarga.

Introducción

La particularidad del vertedor laberinto frente a los convencionales reside en la forma del vertedor, que es asimilable a un zig-zag vista en planta. Esta especial morfología incrementa la longitud de su cresta en un determinado espacio disponible para igual carga hidráulica.

La necesidad de mejorar la descarga manteniendo el mismo valor de carga hidráulica, ha sido la causa de la constante modificación de los componentes de los vertederos de laberinto. Cordero et al (2007) menciona que con el objetivo de realizar mejoras a las partes de este tipo de vertedor tiene como consecuencias cambios en el coeficiente de descarga. Estas características dimensionales se estudian mediante un modelo hidráulico para observar cómo influyen en el coeficiente de descarga.

Descripción de vertedores tipo laberinto

El diseño de un vertedor está definido en términos de la altura de cresta operando bajo una carga dada, de manera que las dimensiones del vertedor sean tales que se obtenga el mayor rendimiento, en la figura (1) se describe los parámetros geométricos de un vertedor tipo laberinto.

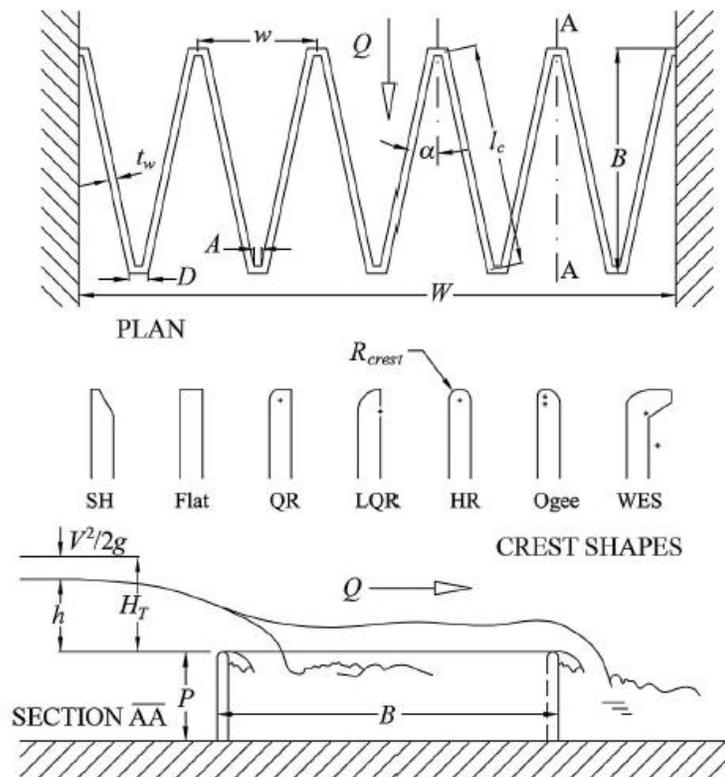


Figura 1. Parámetros geométricos de un vertedor de laberinto (Crookston, 2010).



Diversas relaciones adimensionales son consideradas para describir y cuantificar el flujo del vertedor de laberinto. La forma en planta está definida completamente por el factor de magnificación de la longitud Le/w , el ángulo α de la pared lateral y el número de ciclos que forman al vertedor, N . Los parámetros que influyen principalmente en el funcionamiento del vertedor de laberinto son:

- H_T/P relación de la carga y la altura del vertedor
- Le/w magnificación de la longitud
- α ángulo de la pared lateral
- w/P relación del aspecto vertical
- N número de ciclos en planta
- B Plataforma, paralela al flujo.
- Perfil de la cresta
- Interferencia aguas abajo
- Ahogamiento

Relación de la carga con la altura del vertedor (H_T/P). Para valores pequeños de H_T/P la descarga es reducida y la carga de velocidad despreciable. Con el aumento de la carga se incrementa H_T/P y el efecto sobre la condición de aproximación se hace visible en los perfiles de la superficie de agua a lo largo de los canales aguas arriba y aguas abajo. Con un aumento en la carga, la interferencia del flujo en el canal aguas abajo aumenta y el funcionamiento se ve afectado. Lux (1989) recomienda que la relación de la carga de agua máxima se encuentre en un rango de 0.45 a 0.50

Magnificación de la longitud (Le/w). De acuerdo con investigaciones realizadas por Hay y Taylor (1995), la magnificación de la longitud debe tener un valor mayor a 2. El incremento en la relación Le/w aumenta la magnificación del flujo Q_d/Q_n sólo marginalmente, pues se ha observado que no existe un aumento significativo en la magnificación del flujo para valores de Le/w superiores a 8.

Ángulo del muro lateral (α). El ángulo α de la pared lateral puede variar entre 0 (forma rectangular) y un valor máximo correspondiente a una forma triangular. Al aumentar el ángulo α , la longitud del vertedor disminuye y el grado de contracción del flujo en la entrada al canal aguas arriba también se reduce. El funcionamiento mejora hasta $\alpha=\alpha_{max}$, correspondiendo a una forma en planta triangular ó cuando $\alpha=0.75\alpha_{max}$ en forma trapezoidal (Hay y Taylor, 1970).

Relación del aspecto vertical (w/P). Este parámetro define el tamaño de los ciclos del vertedor en planta, relacionado con la altura de la cresta. El funcionamiento del vertedor de laberinto está en función de la altura de la cresta, entonces, para un H_T/P dado, la variación de w/P influye en el tamaño del ciclo del vertedor en planta. Según w/P disminuya, el tamaño del ciclo se vuelve pequeño comparado con la carga.



Con un w/P pequeño suelen presentarse choques por la interferencia entre la lámina vertiente de las paredes laterales del paramento del canal aguas abajo. Así, un vertedor con forma en planta triangular es más propenso a presentar dicho efecto en comparación con un vertedor trapezoidal.

Existe un valor mínimo de la relación w/P que debe considerarse; para el caso de una forma en planta trapezoidal, la relación debe ser mayor que 2, y para la forma en planta triangular, w/P debe ser mayor que 2.5 (Hay y Taylor, 1970).

Para Lux y Tullis, el rendimiento hidráulico mejora al aumentar la altura del vertedor (P), disminuyendo la relación w/P , mientras que para Hay y Taylor, la relación w/P debe ser mayor que 2.

Número de ciclos (N). El funcionamiento de un vertedor de laberinto se halla independiente del número de ciclos. Tullis (2004) señala que el número de ciclos a utilizar en modelos debe ser impar debido a la simetría de la descarga, la cual busca contrarrestar las fuerzas axiales que el flujo ejerce sobre la estructura.

Perfil de la cresta. El perfil implementado tiene por objetivo facilitar la descarga del fluido, pero este podría tener efectos en la lámina de la descarga, como por ejemplo la cavitación y la oscilación del flujo. Se destacan dos perfiles comúnmente usados en el diseño tanto en prototipos como modelos experimentales: el cuarto redondeo y el medio redondeo.

De acuerdo a la investigación de Crookston (2010) un perfil con cresta de forma de medio redondeo ofrece un coeficiente de descarga más alto respecto a uno cuarto redondeo.

Plataformas. La implementación de plataformas se ha observado como una solución al problema de las olas supercríticas, y su relación con el diseño de la pendiente de la rápida de descarga.

Efectividad. Hay y Taylor (1970) definieron un parámetro de efectividad (E) para representar la diferencia entre las descargas ocurridas en un vertedor de laberinto (Q_d) respecto a la descarga a través de un vertedor lineal (Q_n), como consecuencia del aumento en la longitud total de la cresta.

$$E(\%) = \frac{Q_d/Q_n}{L_e/w} * 100 \quad (1)$$

El cuadro (1) muestra valores recomendados por diversos autores respecto a los parámetros que influyen de manera más importante en el funcionamiento del vertedor de laberinto.



Cuadro 1. Relación de parámetros para el funcionamiento del vertedor de laberinto.

Relación	Autor	Observaciones
$1.23 \leq Le/w \leq 4.35$ $1.15 \leq w/P \leq 4.61$ $5.7^\circ \leq \alpha \leq 20.6^\circ$	Kozák y Svab (1961)	Forma trapezoidal; sólo aplicable a los límites de las pruebas experimentales definidas por Taylor (1968).
$Ht/P \leq 0.5$ $2 \leq w/P \leq 5$ $2 \leq Le/w \leq 8$ $1 \leq N \leq 3$	Hay y Taylor (1970)	Ninguno de los parámetros afecta la interferencia.
$2 \leq w/P \leq 2.5$ $W/P < 2$ $Ht > 7$ $A/w \leq 0.0765$	Lux (1989)	El vertedor es eficiente hidráulicamente
$w/P \geq 2.5$	Magalhaes y Lorena (1989)	El vertedor es eficiente hidráulicamente
$Ht/P \leq 0.9$ $3 \leq w/P \leq 4$ $t \leq A \leq 2t$ $W/P < 3$ $6^\circ \leq \alpha \leq 36^\circ$ $Le/w < 9.5$	Tullis (1995)	El vertedor es eficiente hidráulicamente
$Le/w < 9.5$ $2a/w < 0.08$	Falvey (2003)	Si Le/w es mayor a 10, disminuye la eficiencia.
$W/P < 3$	Paxson y Savage (2006)	Aumento en el rendimiento hidráulico

El diseño de vertedor de laberinto consiste en determinar la longitud de la cresta vertedora de forma que las variaciones del nivel del agua sobre el vertedor se mantenga dentro del rango máximo para la operación.

Materiales y métodos

Procedimiento de diseño de vertedor tipo laberinto según Hay y Taylor, 1970.

Hay y Taylor (1970) define un método que requiere la estimación de un parámetro W_r cuyos valores se determinaron experimentalmente, Cuadro (2), haciendo variar la relación H_t/P contra la relación de gastos Q_d/Q_n .



Cuadro 2. Valores del parámetro W_r (Walker, 1987).

Qd/Qn	Relación de Ht/P				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.00	2.00	2.10	2.20
3	3.00	3.05	3.15	3.33	3.50
4	4.00	4.10	4.33	4.65	5.90
5	5.05	5.26	5.77	7.99	-
6	6.09	6.71	8.20	-	-
7	7.22	8.10	-	-	-
8	8.30	-	-	-	-

El gasto Q_n que pasa por el vertedor normal es:

$$Q_n = C_n * L_n * H_t^{3/2} \tag{2}$$

Donde C_n es el coeficiente de descarga del vertedor lineal, L_n la longitud efectiva del vertedor lineal y H_t es la carga total sobre el vertedor.

El coeficiente de descarga C_n del vertedor lineal es:

$$C_n = 1.778 + H_t/P \tag{3}$$

La longitud efectiva del vertedor lineal resulta de:

$$L_n = W - 0.2 * H_t \tag{4}$$

Para la determinación de la longitud efectiva de la cresta vertedora de laberinto se determina con la ecuación:

$$L_e = W * \frac{C_n}{C_s} * W_r \tag{5}$$

Donde C_s es el coeficiente de descarga del vertedor de cresta larga, Cuadro (3), fue determinado experimentalmente por Kraatz y Mahajan (1975) para dos tipos de secciones de vertedor y tres tipos de vertedores.

Cuadro 3. Coeficientes de descarga por Kraatz y Mahajan (1975).

VALORES DE C_s			
Sección de vertedor	Tipo de Vertedor		
	Pico de pato	Diagonal	Tipo Z
Biselado	1.5	1.42	1.37
Redondeo aguas arriba	1.68	1.59	1.5

El ángulo α de las paredes laterales del vertedor se determina con la ecuación (6):

$$\alpha = 0.75 * \arcsen \left(\frac{W}{L_e} \right) \tag{6}$$

Con las relaciones L_e/W , w/P y el ángulo α es posible establecer la disposición y el número de ciclos usando los modelos de la figura 2

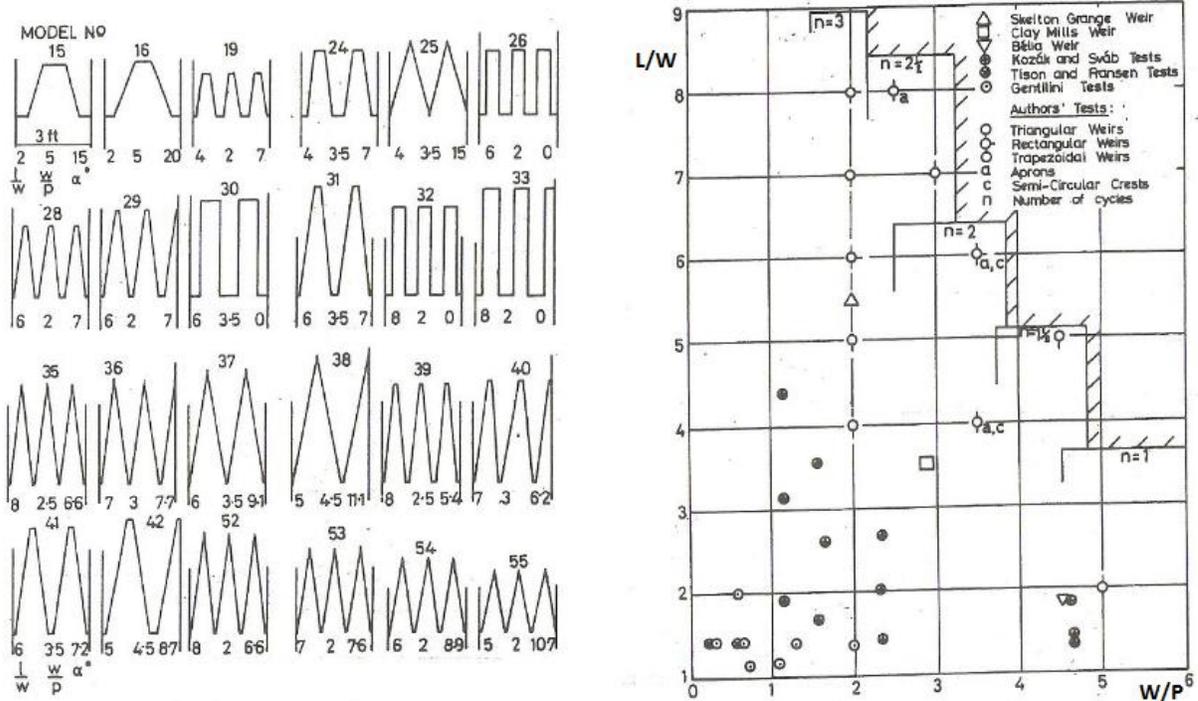


Figura 2. Modelos de vertedores (Hay y Taylor, 1970).

En el Cuadro (4) se muestra un resumen de los parámetros a tomar en cuenta en el diseño del vertedor tipo laberinto según Hay y Taylor (1979).

Cuadro 4. Hoja de cálculo para el diseño del vertedor de laberinto (Hay y Taylor, 1970).

Concepto	símbolo	Unidad	Observaciones
Datos de entrada			
Gasto de diseño vertedor laberinto	Qd	m ³ /s	
Ancho del vertedor laberinto	W	m	
Elevación de la cresta	P	m	
Carga total aguas arriba	Ht	m	
Datos calculados			
Longitud efectiva del vertedor normal	Ln	m	$Ln = W - 0.2Ht$
Coef. De descarga vertedor lineal	Cn	-	$Cn = 1.778 + Ht/P$
Gasto vertedor lineal	Qn	m ³ /s	$Qd = Cn * Ln * Ht^{1.5}$
Magnificación del flujo	Qd/Qn	-	
Relación carga de agua	Ht/P	-	$0 \leq Ht/P \leq 0.5$
	Wr	-	Ver cuadro 2
Coef. De descarga vertedor cresta larga	Cs	-	Ver cuadro 3
Longitud efectiva del vertedor laberinto	Le	m	$Le = W * Cs / Cn * Wr$
Longitud de magnificación	Le/w	-	$2 \leq Le/w \leq 8$
Número de ciclos	N	-	$w/P \geq 2 \rightarrow w = 2 * P ; N = W/w = W/(2P)$
Ancho de ciclo	w	m	$w = W/N$
Relación de ancho del ciclo	w/P	-	$2 \leq w/P \leq 5$
Ángulo del muro lateral	α	°	$\alpha = 0.75 * \alpha_{max} = 0.75 * \arcsen(1/(Le/w))$
Longitud efectiva del muro lateral	Lc	m	$Lc = (w/2 - (Le/w) * w/2) / (\sen \alpha - 1)$
Ancho efectivo del ápice	a	m	$a = (Le/w) * w/2 - b$
Longitud del ciclo	lc	m	$lc = 2a + 2lc$
Longitud de plataforma (paralelo al flujo)	B	m	$B = b * \cos(\alpha)$

Procedimiento de diseño de vertedor de laberinto según Tullis, 1995.

Tullis (1995) expresó sus conclusiones de manera gráfica, relacionando el coeficiente de descarga con la relación H_T/P . Este investigador adoptó la ecuación convencional del vertedor, para definir el coeficiente de descarga del vertedor de laberinto, y tomó en cuenta la longitud efectiva del vertedor L_e , en lugar de la longitud de la cresta completa, así como la carga total aguas arriba H_T , no la carga sobre la cresta del vertedor:

$$Q_d = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L_e H_T^{3/2} \tag{7}$$

Dónde: C_d es el coeficiente de descarga, H_T la carga total, L_e la longitud efectiva o total del vertedor y Q_d el gasto del vertedor.

Los resultados se generaron utilizando vertedores trapezoidales, con perfiles de cresta del tipo “cuarto de redondeo”, y las pruebas fueron ejecutadas en un canal de condiciones similar a las consideradas por Taylor (1968).

El coeficiente de descarga C_d está en función de la geometría (forma de la cresta, altura del vertedor P , ancho del ciclo w , ápice, orientación del ciclo (lineal o en arco), las condiciones de aproximación del flujo, el comportamiento de la lámina vertiente (condiciones de aireación, inestabilidad de la lámina vertiente), ahogamiento local. La variación del coeficiente de descarga está en función de la relación de la carga de agua y la altura del vertedor, así como de la apertura del ángulo de las paredes laterales, puede expresarse mediante una ecuación polinómica de cuarto grado.

$$C_{d(\alpha)} = A_1 + A_2 \left(\frac{H_T}{P}\right) + A_3 \left(\frac{H_T}{P}\right)^2 + A_4 \left(\frac{H_T}{P}\right)^3 + A_5 \left(\frac{H_T}{P}\right)^4 \tag{8}$$

En el Gráfico (1) se aprecia los coeficientes de Tullis para cada ángulo de la curva de diseño se han determinado, basándose en pruebas realizadas en el Utah Water Research Laboratory (UWRL), obteniéndose las curvas siguientes:

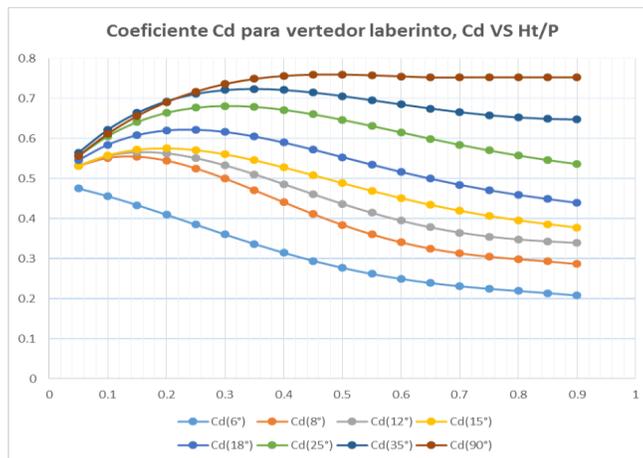


Gráfico 1. Coeficiente de descarga para vertedores de laberinto (Tullis, 1995).



Para cálculos que impliquen valores intermedios de α , el coeficiente puede estimarse por interpolación de los valores correspondientes a la información disponible de los dos ángulos adyacentes. Además, tómesese en cuenta que los coeficientes tienen validez si H_T/P es menor que 0.9. Para vertedores lineales, los coeficientes son válidos si H_T/P es menor que 0.7.

En el Cuadro (5) se muestra un condensado de los parámetros a tomar en cuenta durante el diseño de un vertedor de laberinto. El diseño consiste en la obtención de los parámetros mediante la aplicación de una hoja de cálculo, como la presentada por Tullis, 1995.

Cuadro 5. Hoja de cálculo para el diseño del vertedor de laberinto (Tullis, 1995).

Concepto	símbolo	Unidad	Observaciones
Condiciones Hidráulicas			
Gasto de diseño	Qd	m ³ /s	
Ancho del vertedor laberinto	W	m	Dato de entrada ó W=N*w
Elevación de la cresta	P	m	
Carga total aguas arriba sin ahogamiento	Ht	m	carga hidráulica+velocidad aguas arriba- pérdidas
Datos asumidos			
Pérdidas estimadas	hf	m	estimado
Número de ciclos	N	-	Seleccionar para mantenr w/P ≈ 3 a 4
Ángulo del muro lateral	α	°	$6^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$
Geometría del vertedor de laberinto			
Espesor de la pared de la cresta	t	m	$t = P/6$
Ancho interior del ápice	A	m	$t \leq A \leq 2t$
Ancho externo del ápice	D	m	$D = A + 2t \cdot \tan(45 - \alpha/2)$
Relación carga de agua	Ht/P	-	$Ht/P < 9$
Coef. de descarga del vertedor laberinto	Cd (α)	-	Interpolar curvas del gráfico 1
Longitud efectiva de la cresta	Le	m	$Le = 1.5 \cdot Qd / (Cd(\alpha) \cdot Ht^{1.5} \cdot (2g)^{0.5})$
Longitud de plataforma (paralelo al flujo)	B	m	$B = (Le/2N + t \cdot \tan(45 - \alpha/2)) \cos \alpha + t$
Longitud actual del muro lateral	L1	m	$L1 = (B - t) / \cos(\alpha)$
Longitud efectiva del muro lateral	L2	m	$L2 = L1 - t \cdot \tan(45 - \alpha/2)$
Longitud total de la cresta	L3	m	$L3 = N(2L1 + D + A)$
Ancho del ciclo	w	m	$w = 2 \cdot L1 \cdot \sin(\alpha) + A + D$ ó W/N
Relación de ancho del ciclo	w/P	-	$3 \leq w/P \leq 4$
Longitud del vertedor lineal para el mismo flujo	Lc (90°)	m	$Lc(90^\circ) = 1.5 \cdot Q / (Cd(90^\circ) \cdot Ht^{1.5} \cdot (2g)^{0.5})$
Volumen de concreto			
Volumen pared de concreto		m ³	Vol. = L3 * P * t
Volumen de plataforma de concreto		m ³	Vol. = W * B * t
Voumen total de concreto		m ³	

El ejemplo siguiente ha sido propuesto para la comparación de ambos métodos, que conducen al procedimiento de diseño; se propone diseñar un vertedor para una descarga máxima de 400 m³/s, con una carga máxima de 1.41 m, el ancho del canal es de 30 m y una altura de la cresta del vertedor de 4.30 m.

La propuesta realizada por Hay y Taylor (1970) no permite el diseño de más de tres ciclos.

La longitud efectiva del vertedor normal es: $W-0.2*H_t = 30- 0.2*1.41 = 29.72$ m, y su coeficiente de descarga del vertedor normal: $1.778+H_t/P = 1.778+1.41/4.3 = 2.11$, por lo que el gasto que transita a través del vertedor normal será: $C_n * L_n * H_t^{1.5} = 2.11 * 29.72 * 1.41^{1.5} = 104.78$ m³/s.

La magnificación del flujo será igual a: $Q_d/Q_n = 400/104.78 = 3.82$.

La relación carga total-altura de la cresta (H_t/P) es igual a: $1.41/4.3 = 0.328$, que se encuentra dentro de los límites establecidos por Hay y Taylor ($0 \leq H_t/P \leq 0.5$).

Del Cuadro (2), con los valores de las relaciones Q_d/Q_n y H_t/P se determina el valor de $W_r = 4.33$

Para obtener el coeficiente de descarga del vertedor de cresta larga, C_s , se hace uso de la Cuadro (3) obteniendo un valor de 1.50 para una sección de cresta de vertedor biselado.

La longitud efectiva del vertedor de laberinto resulta de la aplicación de la ecuación (5), por lo que $L_e = 30 * 2.11 / 1.50 * 4.33 = 182.37$ m.

El ángulo α de la pared lateral del vertedor resulta: $\alpha = 0.75 \arcsen (30/103.63) = 7.10^\circ$.

Con las relaciones: $L_e/W = 6.079$, $w/P = 2.33$, $\alpha = 7.10^\circ$ y los modelos de vertedores de la figura (2) se obtiene el modelo y número de ciclos del vertedor; siendo el modelo 28 de tres ciclos.

De las Cuadro (4) se obtiene que la longitud del muro lateral L_c es igual a 28.98 metros, y el ancho del ápice y longitud del ciclo son 1.42 m y 60.79 m respectivamente.

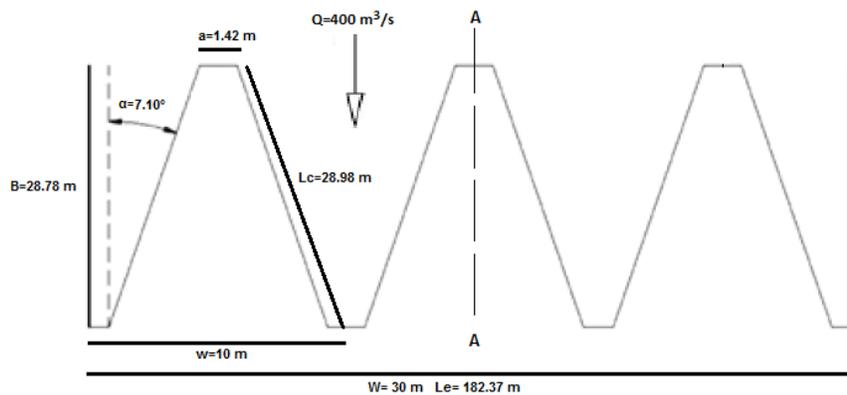


Figura 3. Dimensiones de un ciclo vista en planta, resultado de Hay y Taylor (1970).

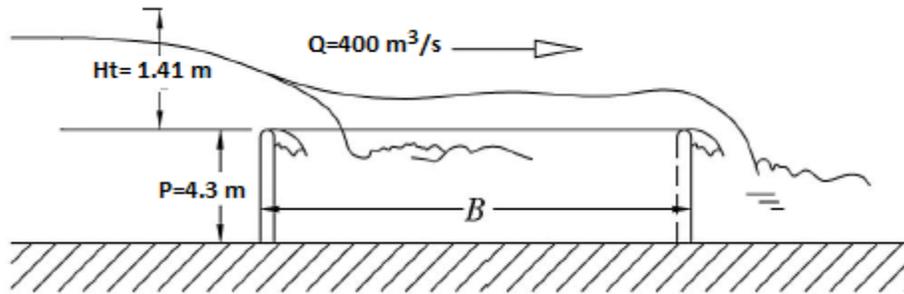


Figura 4. Sección A-A, esquema de parámetros geométricos del vertedor laberinto.

En la metodología realizada por Tullis (1995), a contraparte de Hay y Taylor (1970), no existe un limitante en cuanto a lo que se refiere al número de ciclos.

Tullis propone considerar pérdidas por entrada de flujo, sin embargo en este ejemplo se considera nulo por lo que la carga total por encima de la cresta se mantiene a 1.41 m.

La relación H_t/P , al igual que Hay y Taylor, es 0.328; se propone un ángulo de la pared lateral de 7.3° . Con los valores de H_t/P y el ángulo α se obtiene el coeficiente de descarga $C_{d(\alpha)}$ realizando la interpolación de las curvas del Gráfico (1).

Con la ecuación (7), se tiene que la longitud efectiva del vertedor de laberinto, es: $L_e = 1.5 \cdot Q_d / (C_{d(\alpha)} \cdot H_t^{1.5} \cdot (2g)^{0.5}) = 181.40 \text{ m}$.

Tullis toma en consideración el espesor de la pared como la sexta parte de la altura de la cresta ($P/6$) obteniendo un espesor $t=0.72 \text{ m}$. Se propone un ancho interior del ápice igual al del espesor, $A= 0.717 \text{ m}$ ($t \leq A \leq 2t$), y utilizando la ecuación del Cuadro (5) para obtener el ancho externo del ápice se tiene una longitud $D=1.98 \text{ m}$.

El número de ciclos que conforma el vertedor debe satisfacer los límites que tiene la relación w/P ($3 \leq w/P \leq 4$), teniendo un total de 2 ciclos.

Para obtener la longitud de la plataforma B paralela al flujo se utiliza la ecuación del Cuadro (9) dando como resultado $B= 46.32 \text{ m}$.

Con los valores obtenidos del ángulo de la pared lateral, el ancho de la pared y la longitud de la plataforma B se hace uso de las ecuaciones plasmadas en el Cuadro (9) con los que es posible conocer la longitud del muro lateral y su longitud efectiva siendo $L_1= 45.98 \text{ m}$ y $L_2= 45.35 \text{ m}$. Finalmente el ancho del ciclo es igual a el ancho del canal entre el número de ciclos dando un resultado de 15 m y una longitud efectiva total de cresta de 181.40 m.



curvas obtenida por Tullis, sin embargo, el aumento de la longitud del vertedor producto de un menor ángulo compensa la reducción del coeficiente de descarga.

Conclusiones

La capacidad de un vertedor en laberinto se encuentra en función de la longitud efectiva de la cresta L_e , la carga total H_t y el coeficiente de descarga C_d . El coeficiente de descarga depende de la altura del vertedor P , la altura de la carga total H_t , el ángulo de la pared lateral α y la forma de la cresta vertedora que según Crookston (2010) es más efectivo una cresta de medio redondeo a una de cuarto redondeo.

El método de diseño de Hay y Taylor es válido sólo para pequeñas cargas, $H_t/P \leq 0.5$, mientras que Tullis admite cargas más elevadas, sin embargo la eficiencia de un vertedor incrementa para valores $H_t/P \leq 0.5$, tal como se aprecia en las curvas de el Gráfico (1). Es importante mencionar que ambos métodos de diseño son aplicables, siempre y cuando se respete las condiciones que fueron investigados.

Existen tres maneras de analizar la eficiencia hidráulica de un vertedor tipo laberinto:

1. Mediante procedimientos experimentales de cálculo cuyos resultados se extrapolan a una determinada gama de geometrías y rangos de funcionamiento.
2. Mediante ensayos hidráulicos sobre modelaciones físicas a escala reducida.
3. Mediante modelaciones numéricas.

Aunque es recomendable los métodos para el análisis y diseño los vertedores de laberinto, es aconsejable el estudio de un modelo físico y/o numérico para verificar el rendimiento hidráulico. Tal estudio del modelo puede proporcionar información valiosa sobre el rendimiento y funcionamiento del vertedor de laberinto.

Referencias bibliográficas

- Cordero, D.; García, E.; Granell, C. (2007). "Aliviaderos en laberinto". Presa de María Cristina. España. Aliviaderos, 5-20p.
- Crookston, B.; Paxson, G.; Savage, B. (2012). "Hydraulic performance of labyrinth weirs for high headwater ratios". 4th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, 9-11 February 2012, Porto, Portugal, ISBN: 978-989-8509-01-7.
- Crookston, (2010). "Labyrinth weir". Utah State University. Utah.
- Falvey, H. (2003). "Hydraulic design of labyrinth weirs". American Society of Civil Engineers, USA.



- Kraatz, D, and Mahajan, I. (1975) “Small hydraulic Structures”, Irrigation and Drainage Paper No. 26/2, food and agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Lux, F. (1989). “Design and application of labyrinth weirs.” Design of hydraulic structures 89, M. Alberson and R. Kia, eds., Balkema/Rotterdam, Netherlands, 205-215.
- Lux, F. and Hinchliff, D. (1985). “Design and construction of labyrinth spillways.” 15th Congress ICOLD, Vol. IV, Q59-R15, ICOLD, Paris, 249-274.
- Magalhães, A., and Lorena, M. (1989). “Hydraulic design of labyrinth weirs.” Report No. 736, National Laboratory of Civil Engineering, Lisbon, Portugal.
- Paxson, G. and B. Savage (2006). Labyrinth Spillways Comparison of Two Popular U.S.A Design Methods and Consideration of Non-standard Approach Conditions and Geometries. International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures.
- Taylor, J; Hay, T. (1970). “Labyrinth and Duckbill Spillways. EE.UU, American Society of Civil Engineers.
- Tullis, J; S, Barfuss. (2004). “Model study of the hubbard creek spillway. Conducted for freese and Nichols, INC.”
- Tullis, J; D, Waldron. (1995). “Design of labyrinth spillways”. American Society of Civil Engineers, USA.