

“VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN VERTEDOR TIPO LABERINTO MEDIANTE TÉCNICAS NUMÉRICAS”



Erick Dante Mattos Villarroel

29/11/2017

1. INTRODUCCIÓN

- Vertedor: Estructura donde se realiza la descarga de un líquido por encima de un muro o placa a superficie libre (Sotelo, 1997).
- Vertedores de pared delgada y gruesa.

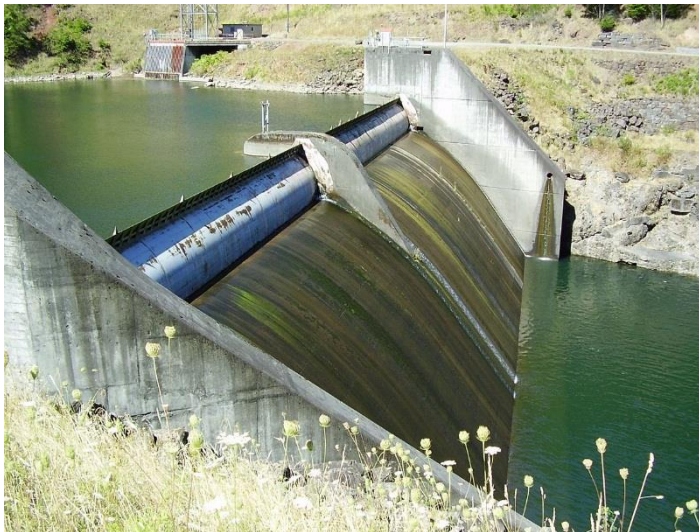


Fig.1 Vertedor de pared gruesa y pared delgada



Fig.2. Falla en presa Teton, Idaho, E.U. (Arriba) . Aumento de volumen de almacenamiento y descarga (Abajo)

1.1 Descripción de vertedores tipo laberinto

- Vertedores tipo laberinto: El diseño de un vertedor está definido en términos de la altura de la cresta operando bajo una carga dada.

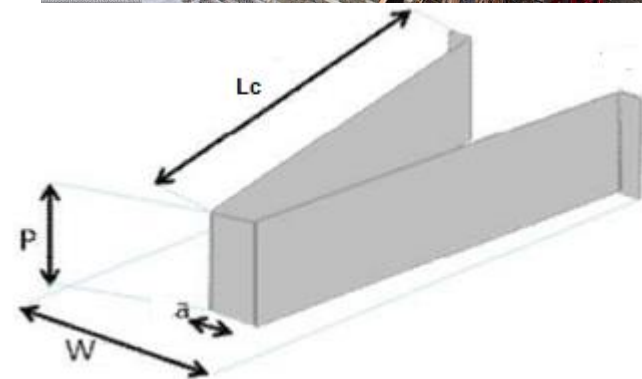
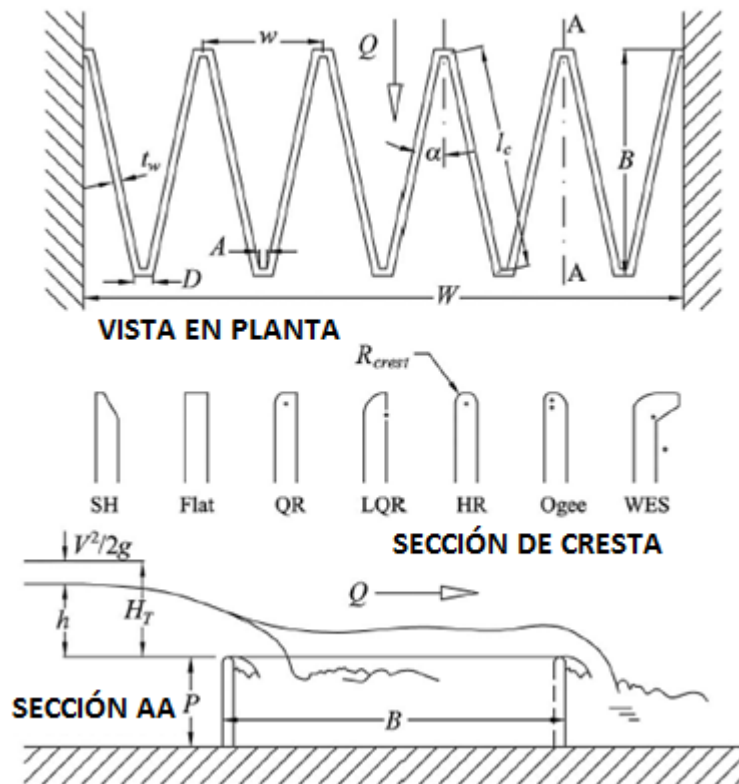


Fig. 3 Parámetros geométricos de un vertedor tipo laberinto. (Crookston 2010).

Relaciones adimensionales

- H_t/P : Carga y la altura del vertedor.
- L_e/w : Magnificación de la longitud.
- α : Ángulo de la pared lateral.
- w/P : Relación del aspecto vertical.
- N : Número de ciclos.
- Perfil de la cresta vertedora.
- Interferencia de láminas vertientes aguas abajo
- Ahogamiento.

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

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

El coeficiente de descarga (C_d) es afectado por varios factores que se puede agrupar en 3:

- Geométricos:
- Condiciones del flujo.
- Condición de aireación de láminas vertientes.

1.1.1 Características del flujo de descarga:

- Ahogamiento
- Interferencia de láminas vertientes.

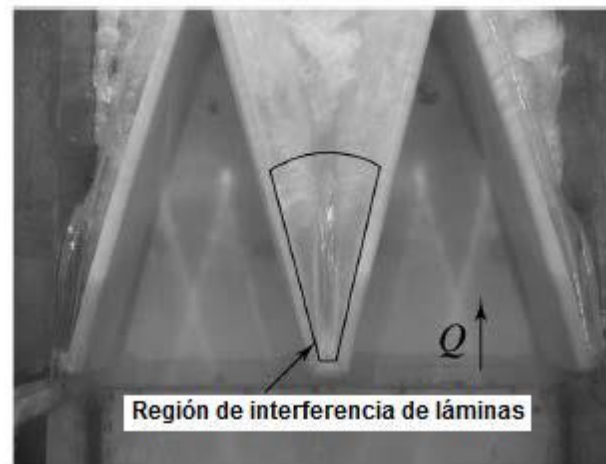


Fig. 4 Interferencia de láminas vertientes (Crookston y Tullis 2012a).

1.1.2 Curvas de diseño

- Tullis (1995) especifica que los parámetros más significativos que afecta el coeficiente de descarga es la geometría del dispositivo y la velocidad; expresó sus conclusiones de manera gráfica, relacionando el coeficiente de descarga con el coeficiente H_T/P . Este investigador adoptó la ecuación convencional del vertedor:

$$Q_d = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L_e H_T^{3/2} \quad (1)$$

Variación del coeficiente de descarga:

$$C_d = f \left(\frac{H_T}{P}, \alpha \right) \quad (2)$$

C_d puede expresarse mediante la ecuación (3):

$$C_d = A_1 + A_2 \left(\frac{H_T}{P} \right) + A_3 \left(\frac{H_T}{P} \right)^2 + A_4 \left(\frac{H_T}{P} \right)^3 + A_5 \left(\frac{H_T}{P} \right)^4 \quad (3)$$

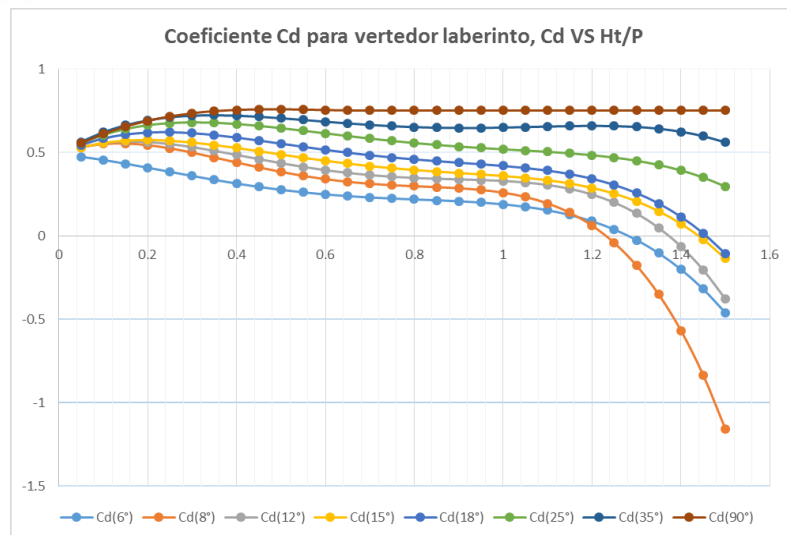


Gráfico 1. Coeficientes de descarga para diferentes ángulos de pared lateral, perfil tipo Cuarto de redondeo, Tullis (1995).

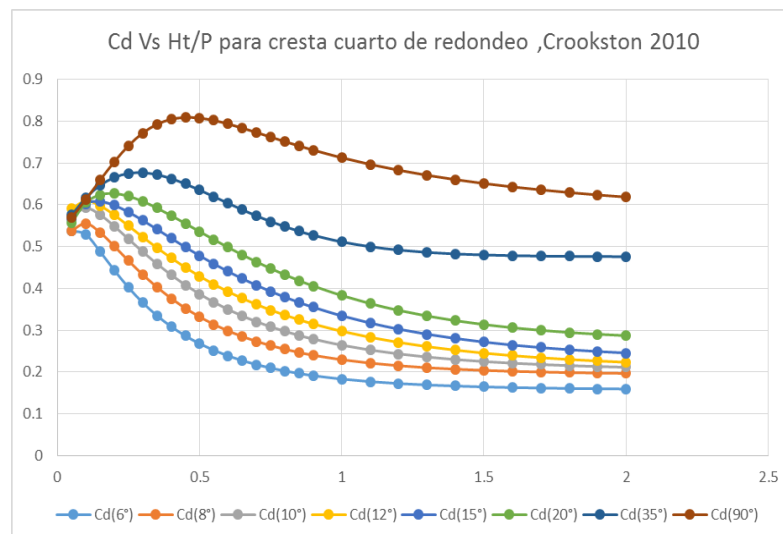
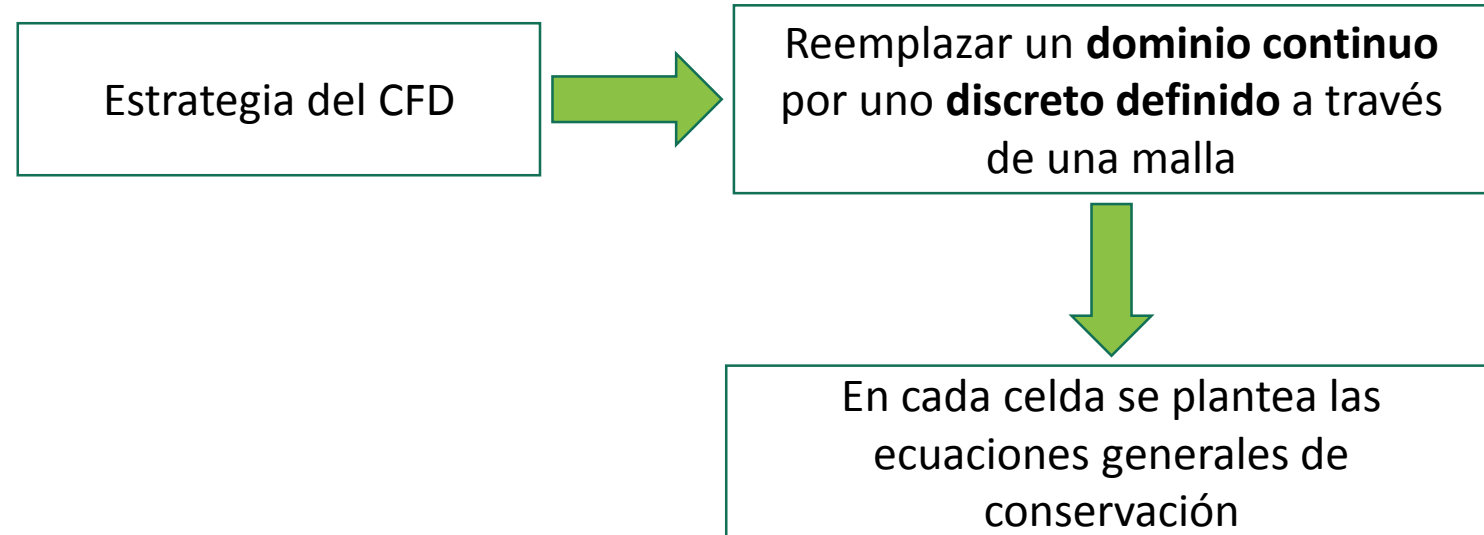


Gráfico 2. Valores del coeficiente de descarga $C_{d(\alpha^\circ)}$ para perfil cuarto redondeo. Crookston (2010).

$$C_{d(\alpha^\circ)} = a \left(\frac{H_t}{P} \right)^b \left(\frac{H_t}{P} \right)^c + d \quad (4)$$

- Dinámica de Fluidos Computacional (CFD):
 - ✓ Rama de la mecánica de fluidos que resuelve numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes. (Balairón, 2011).
 - ✓ Ofrece la posibilidad de evaluar a un vertedor a menor costo y tiempo que un modelo físico.
 - ✓ Fácil extracción de información de presiones, fuerzas y velocidades.
 - ✓ ANSYS-FLUENT permite realizar seguimiento cercano de la superficie libre mediante el modelado de flujos multifásicos.



1.2 Modelado multifásico: Volumen de Fluido (VOF)

- Técnica de seguimiento de superficie aplicado a una malla euleriana fija.
- Se basa en el concepto de volumen fraccional y que las fases no se compenetran.

Cada volumen de control se puede llenar de una fase o una combinación de fases.

$\alpha_q = 0$; la fracción está vacía del fluido q^{th}
 $\alpha_q = 1$; la fracción está llena del fluido q^{th}
 $0 < \alpha_q < 1$; la celda contiene la interfaz
 entre el resto de los fluidos y el fluido q^{th}

Suma de fracción de fases:

0.0	0.4	0.9
0.3	1.0	1.0
0.6	1.0	1.0

Fig. 5. Volume of fluid (Hirt, Nichols, 1981)

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (5)$$

1.3 Modelo de turbulencia k- ϵ

- En flujos en canal abierto, los modelos de turbulencia más comunes usados son los de dos ecuaciones.
- El modelo k- ϵ es un modelo semi-empírico basado en las ecuaciones de transporte para la energía turbulenta (k) y para la disipación de la energía cinética turbulenta (ϵ).
- Se asume que el flujo es totalmente turbulento y que los efectos de la viscosidad molecular son despreciables.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

- Generación de la geometría del vertedor:

α (°)	N	Lc (m)	A (m)	w (m)	P (m)	W (m)
15	2	4	0.038	0.617	0.305	1.235

Cuadro 2. Dimensiones del modelo numérico

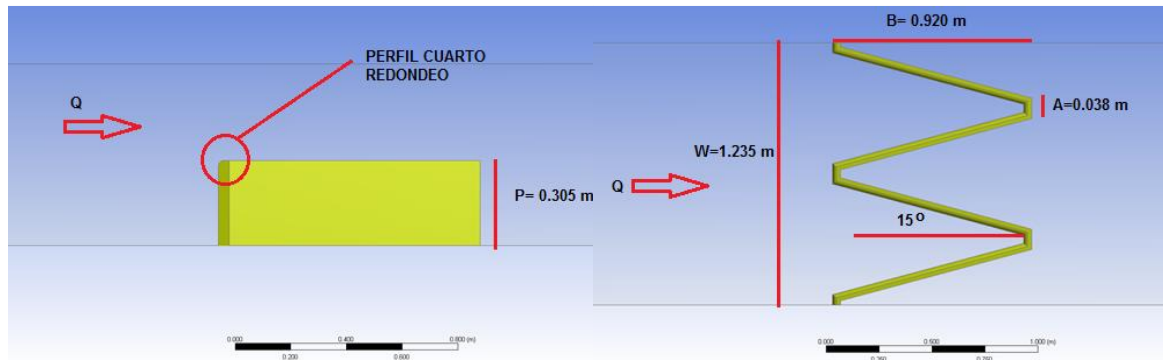


Fig. 6. Vista en planta y perfil del vertedor tipo laberinto en ANSYS-FLUENT

- Discretización espacial del dominio:

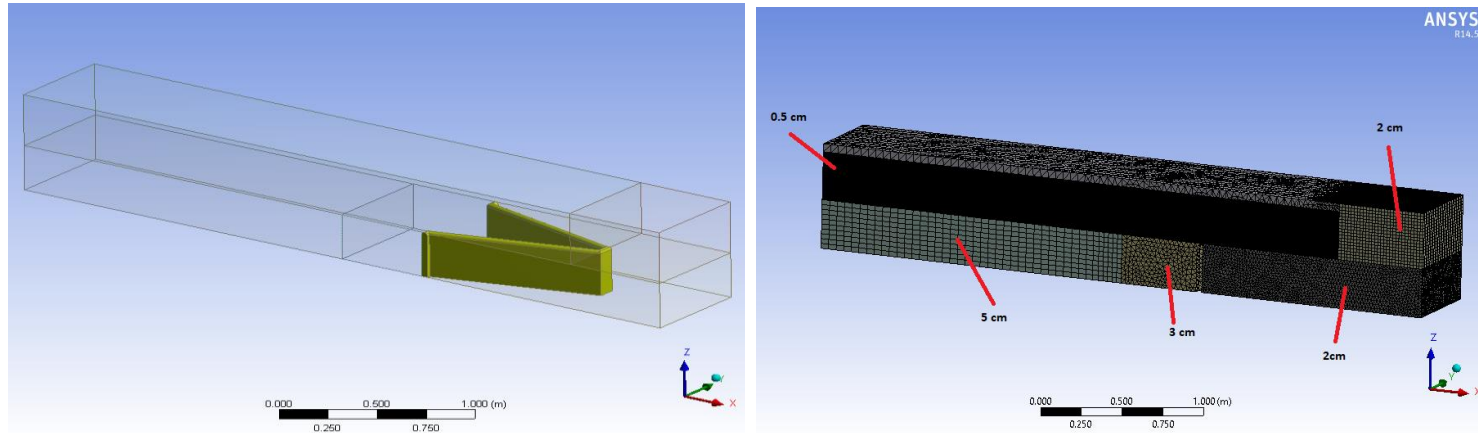


Fig. 7. Generación de la geometría y densidad de malla

- Esquema numérico:
 - ✓ Modelo de turbulencia: $k-\epsilon$ estándar.
 - ✓ Modelo multifásico: Volumen de Fluido (VOF)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Coeficiente de descarga:

Ht/P	Cd (15°) numérico	Cd (15°) Crookston	Error relativo (%)
0.1	0.6206	0.6030	-2.92
0.2	0.6103	0.5989	-1.90
0.3	0.5746	0.5630	-2.07
0.4	0.5059	0.5201	2.74
0.5	0.4890	0.4785	-2.21
0.6	0.4256	0.4407	3.44
0.7	0.3969	0.4077	2.64
0.8	0.3879	0.3792	-2.28
0.9	0.3673	0.3551	-3.44
1	0.3511	0.3346	-4.92

Cuadro 4. Coeficientes de descarga numérico y experimental

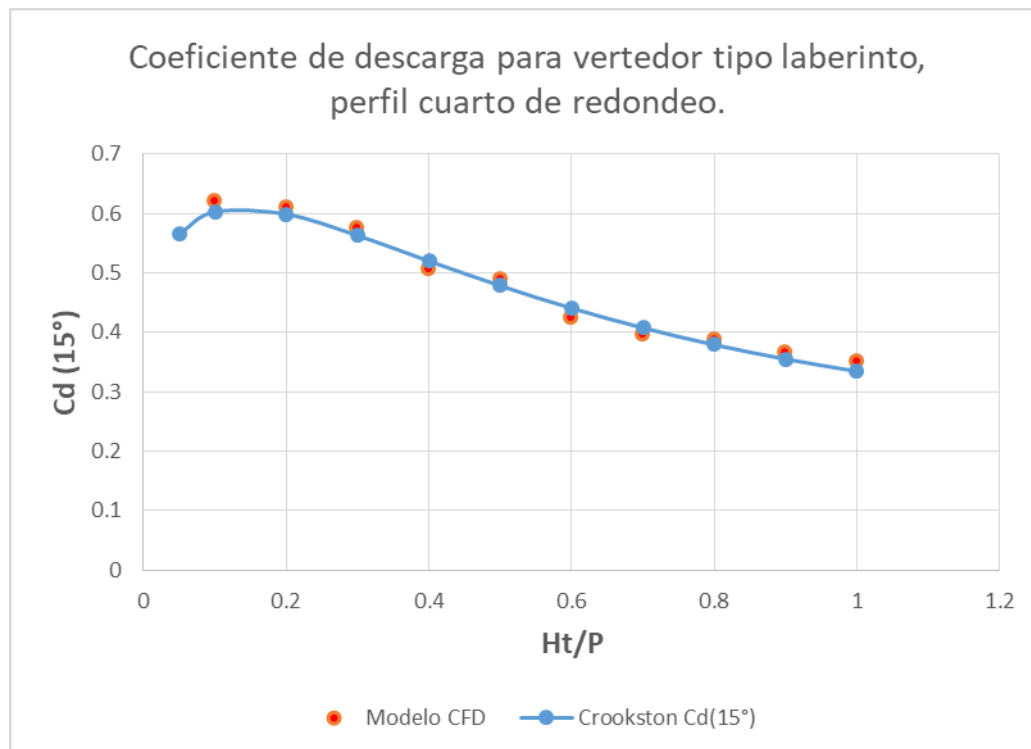


Gráfico 3. Coeficiente de descarga para un vertedor tipo laberinto de 15° de pared lateral.

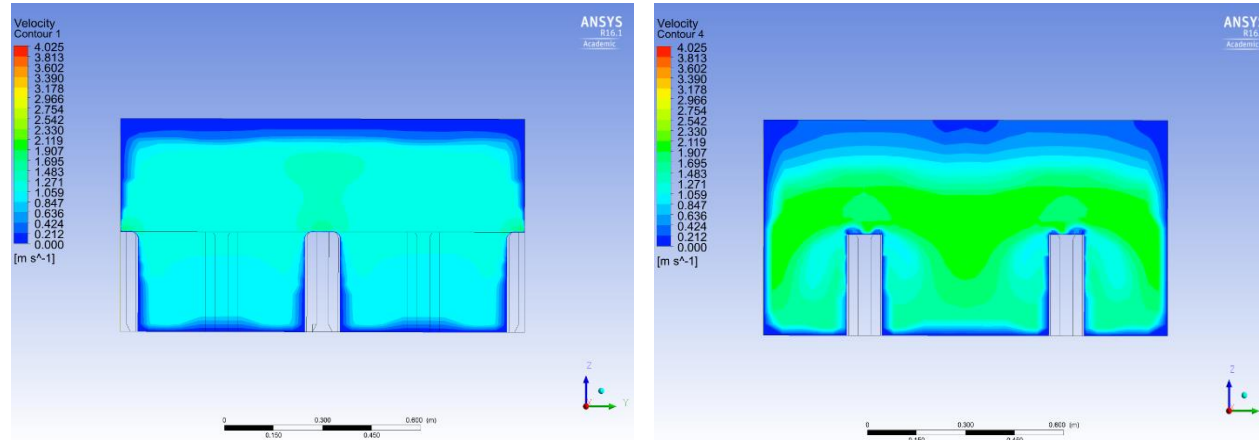
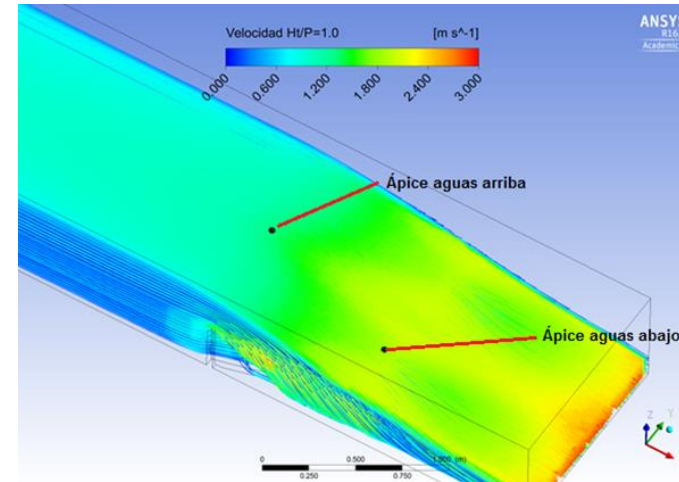
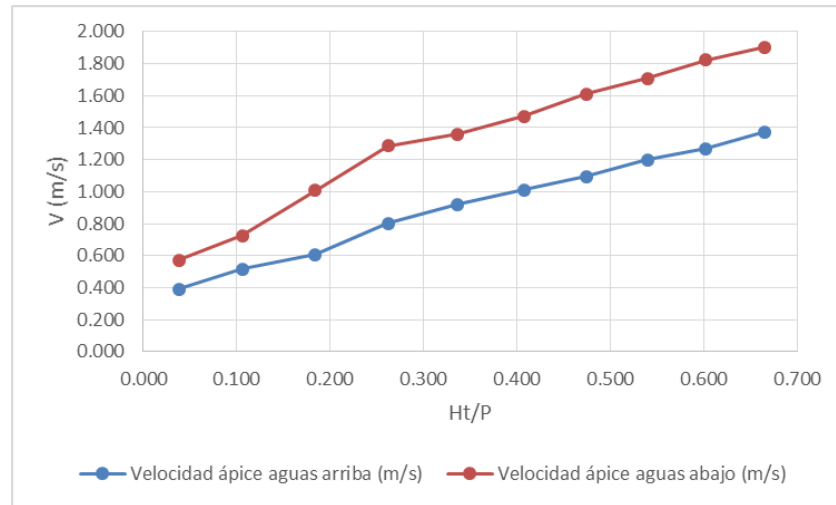


Figura 8. Distribución de velocidades en los ápices aguas arriba (izq.) y aguas abajo (der.) para la relación $H_t/P = 1.0$.



- Presiones en paredes laterales:

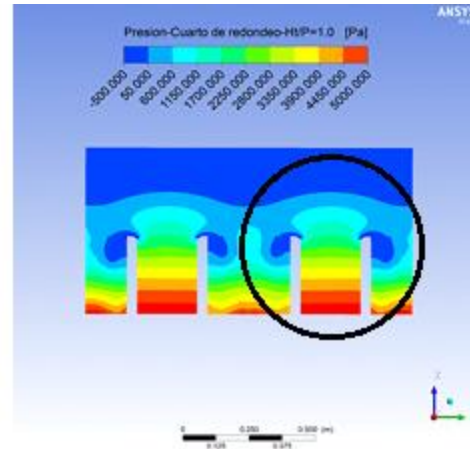
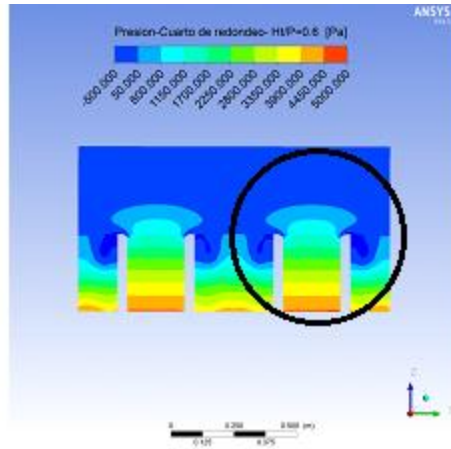


Figura 9. Distribución de presiones en paredes laterales para $H_t/P=0.6$ (izq.) y $H_t/P=1.0$ (der.).

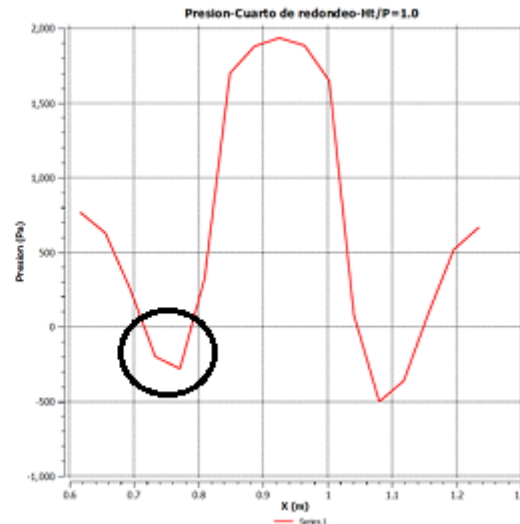
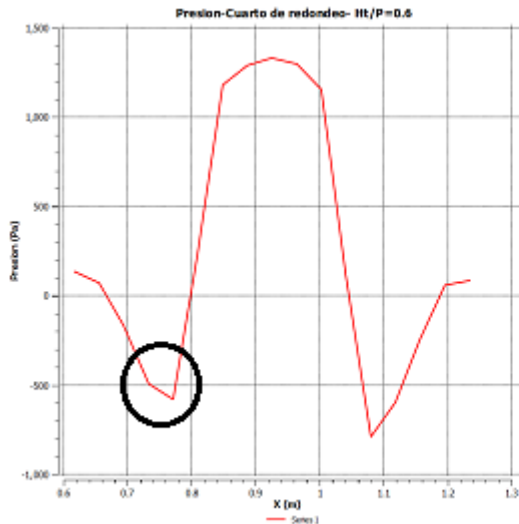
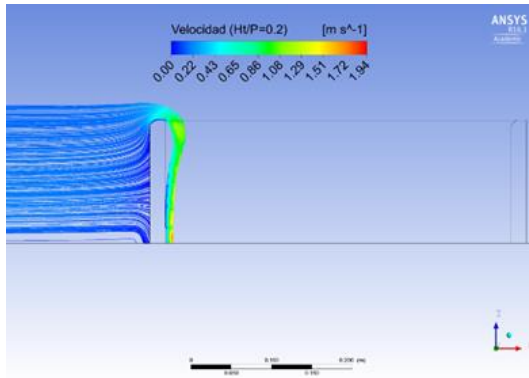


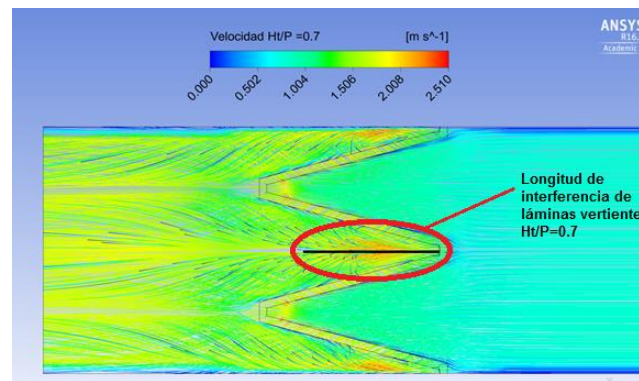
Gráfico 5. Presiones en paredes laterales para $H_t/P=0.6$ (izq.) y $H_t/P=1.0$ (der.).

• Condiciones de aireación:

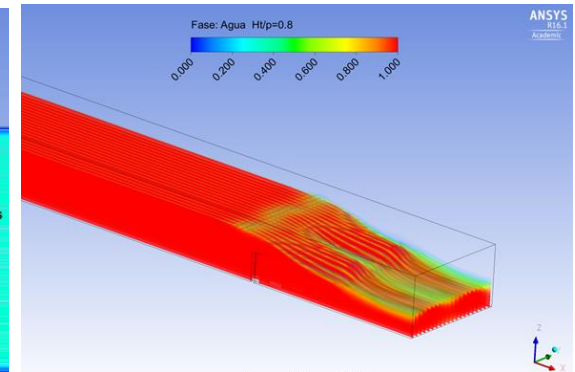
- ✓ $0.1 \leq Ht/P \leq 0.2$: lámina vertiente adherida a la pared
- ✓ $Ht/P \geq 0.3$: inicio de interferencia de láminas vertientes
- ✓ $Ht/P \geq 0.5$: inicio del fenómeno de ahogamiento.



(a)



(b)



(c)

Figura 10. (a) Lámina vertiente adherida a la pared $Ht/P = 0.2$.
(b) Interferencia de láminas vertientes $Ht/P = 0.7$. (c) Ahogamiento $Ht/P = 0.8$.

- Facilitar la descarga del flujo.
- Su diseño influye en la magnitud del coeficiente de descarga del vertedor, y por consecuencia, en su eficiencia hidráulica.

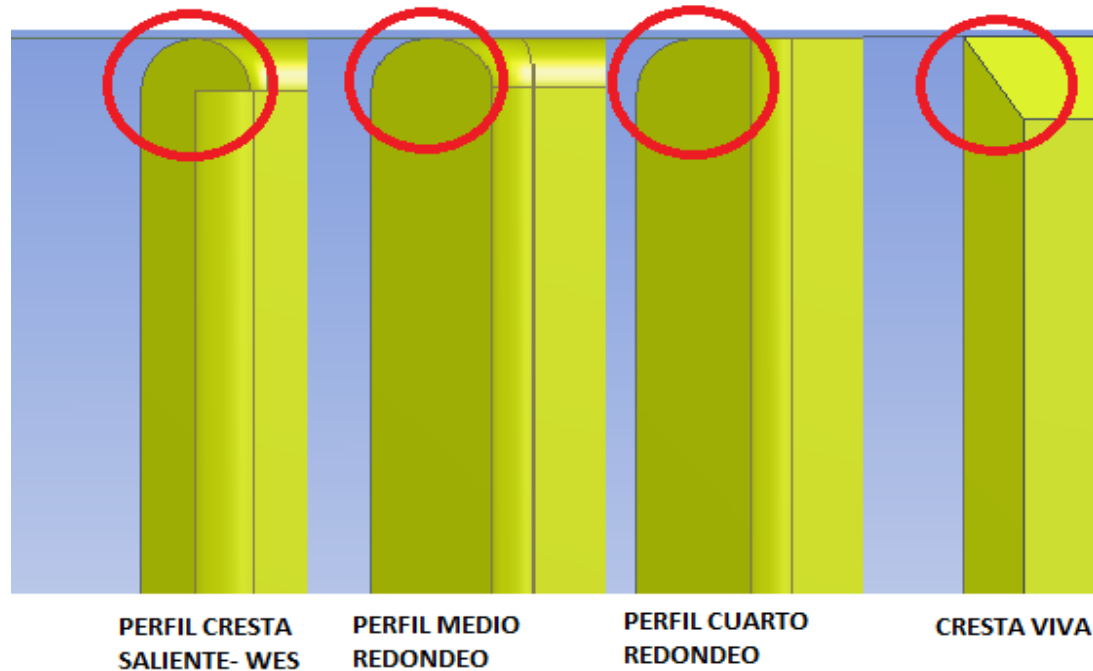


Figura 11. Perfiles de cresta vertedora

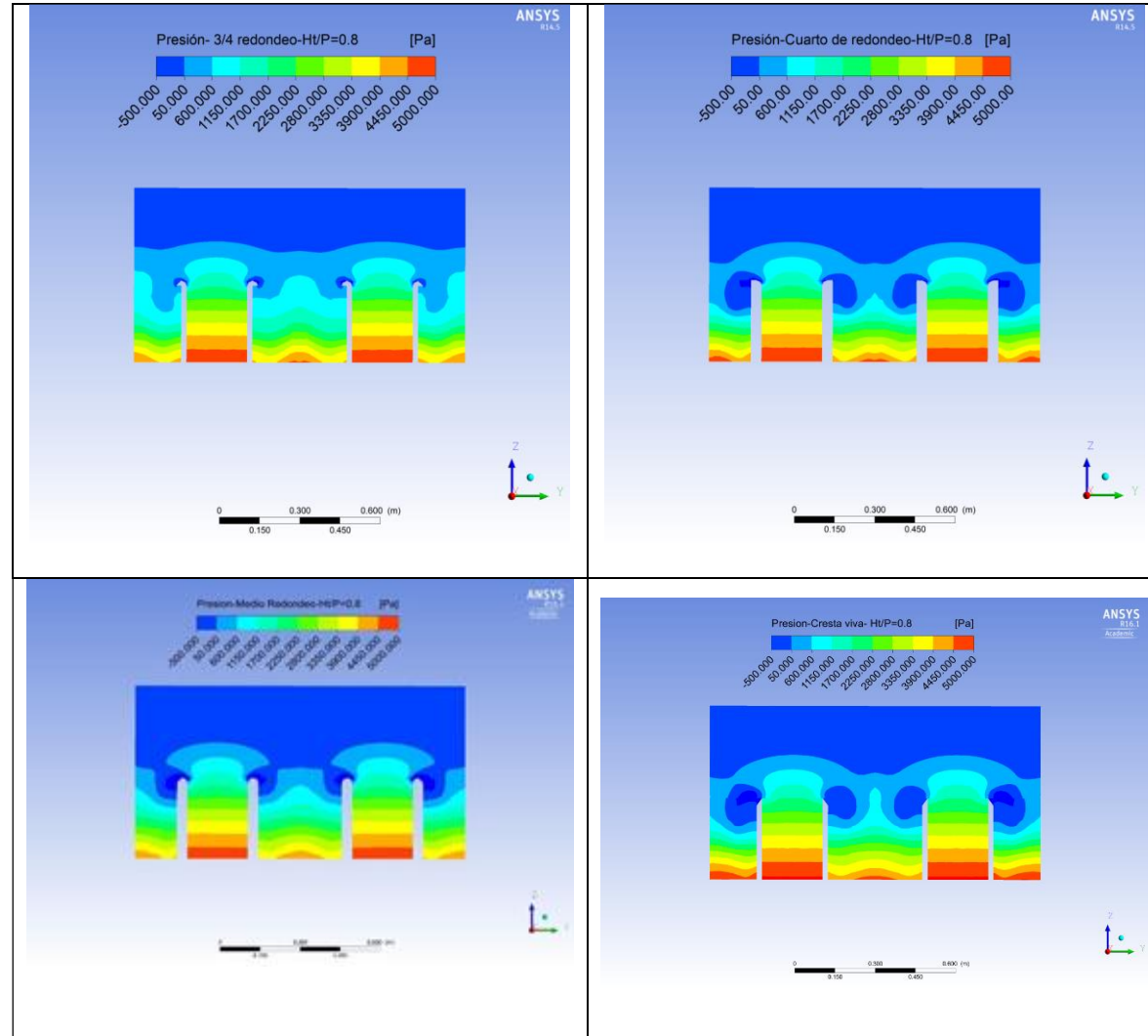


Figura 12. Distribución de presiones en perfiles de cresta saliente, cuarto de redondeo, medio redondeo y cresta viva.

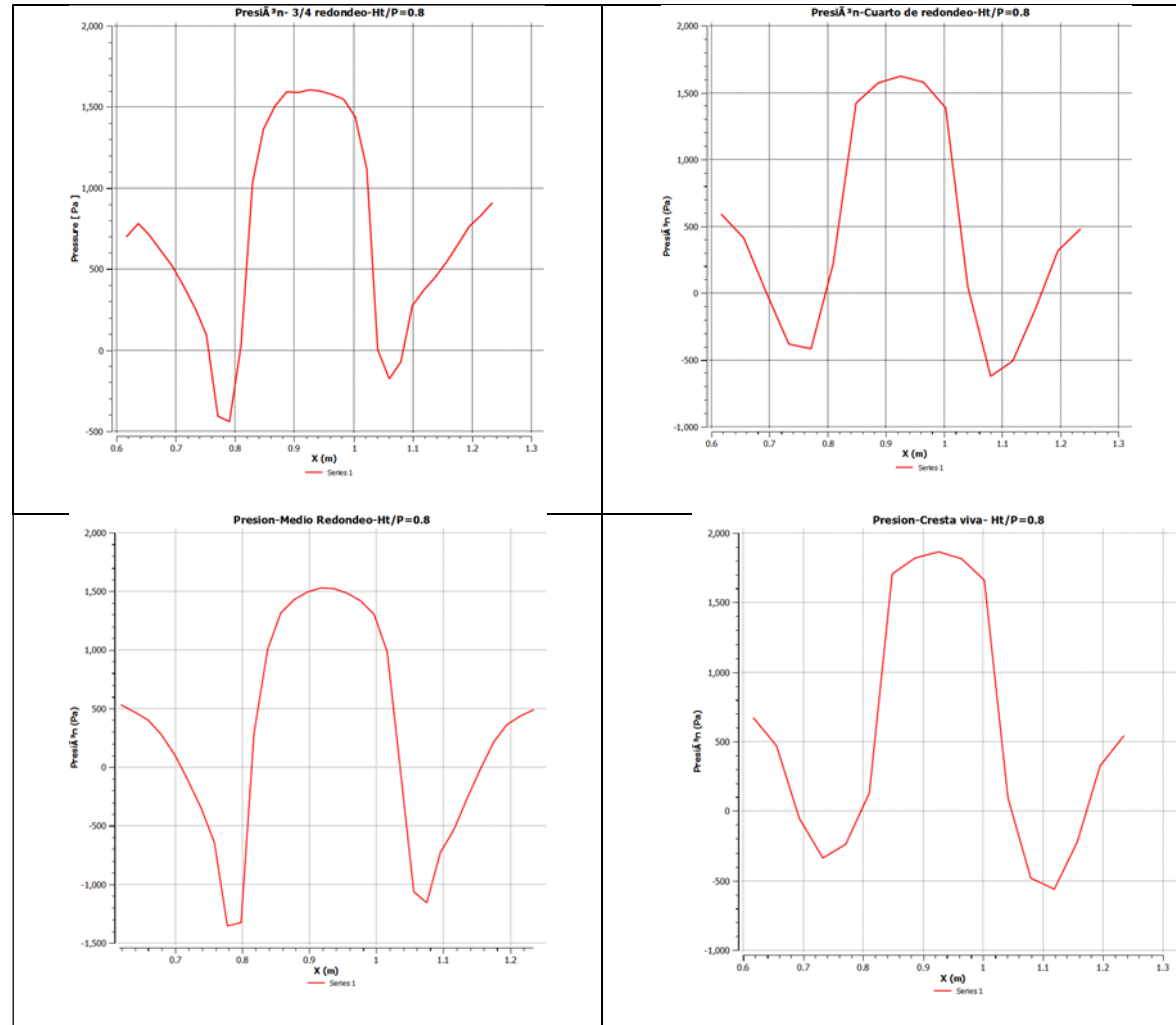


Gráfico 6. Presiones aguas abajo en perfiles de cresta saliente, cuarto de redondeo, medio redondeo y cresta viva

4. Conclusiones

- El vertedor de laberinto ha experimentado variaciones en su geometría a partir de observaciones e investigaciones realizadas en modelos y prototipos que implican la modificación de sus coeficientes de descarga.
- Los resultados de coeficiente de descarga obtenidos numéricamente son aceptables al compararlos con los resultados experimentales, por lo que el análisis de la estructura hidráulica mediante la Dinámica de Fluidos Computacional queda validado.
- Se debe considerar la existencia de segmentos de descarga con diferente carga hidráulica y diferentes velocidades por la aproximación del flujo; la reducción de velocidad en el ápice aguas arriba produce una menor longitud de descarga.

- Para elevadas cargas existen zonas de baja presión en las paredes laterales durante la descarga, cuyas presiones aumentan y sus áreas disminuyen conforme incrementa el gasto sobre el vertedor. El análisis del vertedor con distintos perfiles de cresta permitió comparar la eficiencia de cada uno; la cresta saliente reduce las áreas de baja presión durante la descarga y la magnitud de la presión es relativamente mayor comparado con el resto de los perfiles analizados.

Gracias

Erick Dante Mattos Villarroel

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



PUEBLA
XXXI CONVENCIÓN ANUAL Y EXPO

ANEAS
2017
27 NOV + 1 DIC



www.comeii.com/comeii2017

  @CongresoCOMEII

 info@comeii.com