

EVALUACIÓN DE FENÓMENOS HIDRÁULICOS Y MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL CON IBER EN CANAL DE PENDIENTE VARIABLE

Jaime L. Bendezu Prado

Unidad de Investigación e Innovación de Ingeniería de Minas, Geología y Civil
Programa de Ingeniería Civil - Área de Investigación de Hidráulica y Recursos Energéticos
E-mail: jaime.bendezu@unsch.edu.pe

RESUMEN

Las anomalías en flujo de agua en un canal debido a la variación de pendientes, tirantes, régimen de flujo y caudal generar variabilidad en los fenómenos hidráulicos. Particularmente este trabajo tiene como objetivo evaluar los fenómenos hidráulicos y análisis bidimensional con el software IBER, para lo cual se utilizó un canal de pendiente variable con sus respectivas compuertas y vernier, para diferentes pendientes, tirantes, régimen de flujo y caudales se midieron con correntómetro las velocidades del flujo de agua en diferentes direcciones y verificar los fenómenos hidráulicos para modelar el flujo bidimensional con el software IBER. Para verificar los fenómenos hidráulicos se midió las velocidades, presión y tirantes en forma bidimensional y se comparó con el modelamiento realizado con el software IBER, así se comparó valores para finalmente se concluyó que los valores del modelamiento con tienden a los valores medidos en los ensayos, recomendando que estos fenómenos se evalúe en canales de mayor envergadura y de proyectos ejecutados.

Palabra clave: modelamiento hidráulico.

EVALUATION OF HYDRAULIC PHENOMENA AND BIDIMENSIONAL MODELING WITH IBER IN VARIABLE SLOPE CHANNEL

ABSTRACT

Anomalies in the flow of water in a channel due to the variation of slopes, ties, flow regime and flow generate variability in hydraulic phenomena. Particularly, this work aims to evaluate hydraulic phenomena and two-dimensional analysis with IBER software, for which a variable slope channel with its respective gates and vernier gates was used, for different slopes, braces, flow regime and flow rates were measured with current meter water flow velocities in different directions and verify hydraulic phenomena to model two-dimensional flow with IBER software. In order to verify the hydraulic phenomena, the velocities, pressure and ties were measured in two dimensions and compared with the modeling carried out with the IBER software, thus comparing values and finally it was concluded that the modeling values with tend to the values measured in the tests, recommending that these phenomena be evaluated in larger channels and in executed projects.

Keyword: hydraulic modeling.

INTRODUCCIÓN

Se denominan canales a conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera, los fenómenos hidráulicos son el resultado del cambio brusco de la arquitectura hidráulica del canal como son el cambio de sección y pendiente, para esto se incorpora las obras de arte (caídas verticales e inclinadas, rápidas, etc.)

En un canal se desconoce el efecto hidráulico bidimensional que debe ser evaluado para ser considerado en diseño de diferentes estructuras hidráulica construidos en un canal y propiamente dicho efectos en el canal. Los canales pueden presentar diferentes fenómenos hidráulicos ante la variación de pendientes, variación de caudales, construcción de estructuras hidráulicas en el canal y variaciones de régimen de flujo. Ante el desconocimiento de la respuesta de esta estructura hidráulica a diferente régimen de flujo y fenómenos hidráulicos, es necesario la evaluación de los fenómenos

hidráulicos en el canal para diferentes pendientes, diferentes caudales y régimen de flujo y el análisis bidimensional mediante modelamiento utilizando el software IBER y la toma de decisiones. Para llevar a cabo esto, se necesita disponer de información de antecedentes, canal de pendiente variable equipos necesarios para medida de velocidades y el software IBER.

A lo largo de todos los canales mayormente existes variación de pendientes, tirantes, variación de caudales y variación de régimen de flujo, sin embargo, en los diferentes estudios no se analizan los fenómenos hidráulicos y los efectos en los canales, estas estructuras soportan las variaciones mencionadas.

El principal problema desde el punto de vista de la hidráulica es que las estructuras existentes soportan la corriente del agua con los fenómenos hidráulicos que tienen una variabilidad y se desconocen el comportamiento bidimensional del agua.

Con el presente trabajo se podrá conocer los diferentes fenómenos hidráulicos ante la presencia de diferentes estructuras hidráulicas en un canal de pendiente variable.

MATERIAL Y MÉTODO

Materiales

En cuanto a los materiales se posee los siguientes:

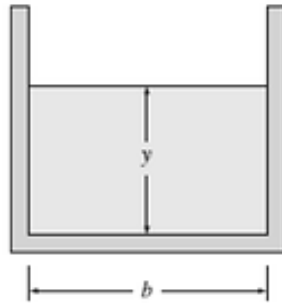
Canal de pendiente variable: Consiste en un canal rectangular de pendiente variable, con una longitud de canal de 7m con un ancho de 25cm. que funciona con una bomba de impulsión de 10HP de potencia y el equipo se ubica en los ambientes del laboratorio de hidráulica, la pendiente del canal varía desde -2% hasta 10% y el caudal varia de 5lt/s hasta 25lt/s.



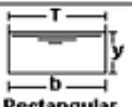
Figura 1: Canal de pendiente variable de sección rectangular

Canal de pendiente variable UNSCH – EFPIC

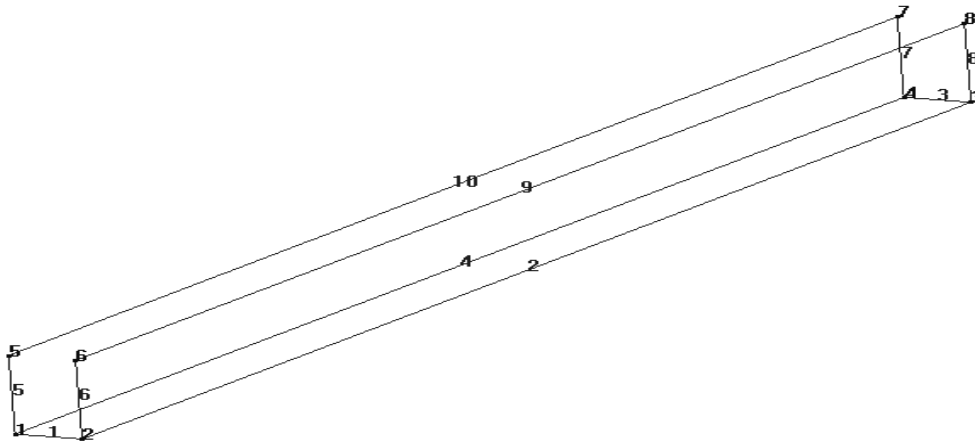
Sección Transversal



$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{yb}{b+2y} = \frac{y}{1+2y/b}$$

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b

Vista Isométrica



b = 25 cm
 b = 0.25 m (ancho del canal)
 L = 7m (longitud del canal)
 S = pendiente variable
 h = 0.35m (altura del canal)

Vertederos:

Se utiliza tres placas de aliviadero de acero inoxidable para colocarlas en el canal de pendiente variable, un vertedero rectangular con contracción, un vertedero triangular y uno vertedero sin contracción.



Figura 2. Vertedero rectangular con contracción



Figura 3. Vertedero triangular

Medidor de tirante de agua de punta Vernier con transportador.

Nos permite medir el tirante de agua en diferentes puntos de la sección longitudinal y a lo largo del canal de pendiente variable.



Figura 4. medidor de tirante de agua de punta de Vernier con transportador

Correntómetro MF-PRO.

Es un medidor de caudal magnético-inductivo de fácil manejo y mantenimiento reducido para la medición rentable de caudales en conductos abiertos.

El cálculo automático del caudal reduce notablemente el tiempo de permanencia en campo. El cabezal sensorial electromagnético está prácticamente exento de mantenimiento y es ideal para el uso tanto con velocidades de caudal reducidas, como con altas concentraciones de materia en suspensión, así mismo mide profundidad del agua.

- Medidas puntuales
- Tecnología de medición: Electromagnético
- Parámetros medidos: Flujo y nivel de agua

- Puntos destacados: Sensor de flujo magnético inductivo con medición de profundidad para resultados fiables en aguas de poca velocidad, en condiciones de turbulencia y en cauces con muchas plantas. Requiere poco mantenimiento.
- Margen de medición: 0 ... 6 m/s
- Precisión: $\pm 2\%$ del valor medido $\pm 0,015$ m/s (0 ... 3 m/s) y $\pm 4\%$ del valor medido $\pm 0,015$ m/s (3 ... 5 m/s)

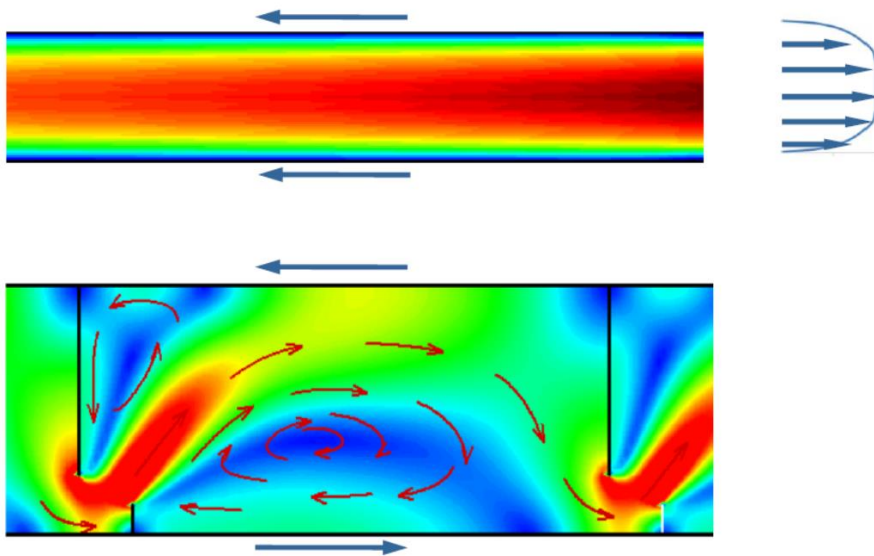


Figura 5. Correntómetro MF-PRO, con sensor.

Software el modelo Iber

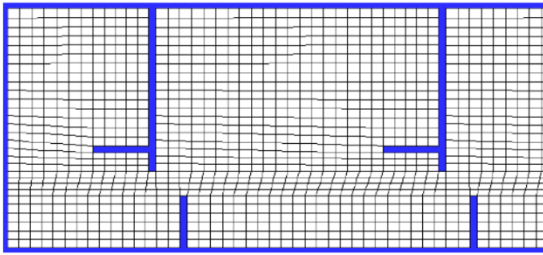
Rozamiento

Canales, estructuras hidráulicas

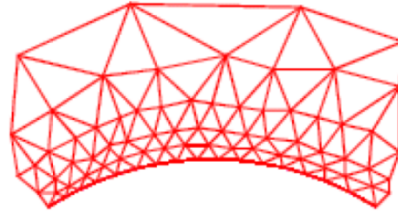


Tipos de mallas

Malla estructurada por bloques



Malla no-estructurada triangular



Mallas no estructuradas Mallas no-estructuradas formadas por elementos de 3 o 4 lados.

Metodología de trabajo

De manera general, los métodos utilizados son:

- **Método Analítico:** Porque se realiza un proceso de conocimientos que se inicia con la identificación del marco teórico, la operación del canal de pendiente variable con sus respectivos accesorios y el software que se utilizó y se caracterizan una realidad. De esta forma se establece la relación causa – efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación.
- **Método Deductivo:** Porque se logró inferir lo observado durante los ensayos registrando los datos y estas comparando con los valores que resultaron con el modelamiento hidráulico.

Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas de recolección de datos que se utilizan en la Investigación son:

- Mediciones directas como caudal con el caudalímetro en el tablero, dimensiones del canal con flexómetro, pendientes del canal con inclinómetros, niveles de agua con vernier, velocidades con correntómetro y presiones con tubo de Pitot.
- Registro de datos anteriores en cuaderno de apuntes.
- Observaciones directas de los fenómenos hidráulicos en diferentes puntos del canal de pendiente variable.

Análisis de datos

Una vez recolectada los datos de en laboratorio se eligió el caudal adecuado que se discurre en el canal de pendiente variable y se ingresaron dichos datos en el software IBER, modelando inicialmente el flujo de agua en canal libre y posteriormente el canal con vertederos y compuerta, siempre adecuando a las características hidráulicas observadas durante el ensayo para comparar con los resultados, para una buena visualización de los resultados en el modelamiento se eligió dimensiones adecuadas en las mallas que fue de 0.025, y el tiempo de modelamiento máximo de 60segundos con intervalos de tiempo de 5 segundos.

RESULTADOS

Tabla de áreas y pendientes

ÁREA DE LOS VERTEDEROS			
	altura	base	área
ver. Rectangular	20	15	300
ver. Plano	10	24.5	245
ver. Triangular	10	19.7	98.5

VERTEDERO RECTÁNGULAR			
	altura	base	área
pendiente plano	8.4	15	126
pendiente 0.10m	8.5	15	127.5
pendiente 0.20m	8.6	15	129

VERTEDERO PLANO			
	altura	base	área
pendiente plano	5.2	24.5	26
pendiente 0.10m	5	24.5	122.5
pendiente 0.20m	5.26	24.5	127.4

VERTEDERO TRIÁNGULAR			
	altura	base	área
pendiente plano	11.6	19.7	114.26
pendiente 0.10m	10.5	19.7	103.425
pendiente 0.20m	11.2	19.7	110.32

Caudal a través de la velocidad en el canal, en una prueba sobre el canal con un fluido sin ningún vertedero.

Distancia: 4.025m

Tiempo(s): 8.48; 9.01; 8.69; 8.69

Tiempo promedio(s): 8.7175

Altura de agua sobre el vertedero: 0.0652m

Ancho del canal: 0.2475m

Área de salida del agua (A): 0.0161m²

Velocidad (V): 0.4617m/s

Caudal (Q = AV): 0.0074

Velocidad para vertedero rectangular

<i>pendiente</i>	<i>caudal(m³/s)</i>	<i>área(m²)</i>	<i>velocidad(m/s)</i>
0°00'00"	0.0074	0.0126	0.5909
0°49'04"	0.0074	0.0125	0.5906
1°38'07"	0.0074	0.0123	0.6053

Velocidad para vertedero triangular

<i>pendiente</i>	<i>caudal(m³/s)</i>	<i>área(m²)</i>	<i>velocidad(m/s)</i>
0°00'00"	0.0074	0.0197	0.3779
0°49'04"	0.0074	0.0193	0.3858
1°38'07"	0.0074	0.0189	0.3939

Presiones a través de tubo de Pitot

Si h la altura del agua en el nivel de manguera.
Ademas la presión es:

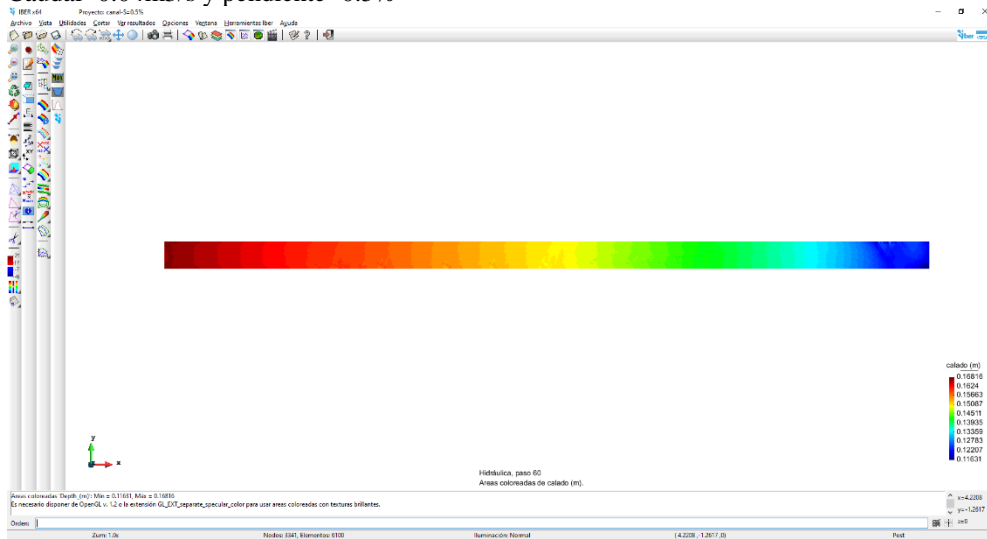
Presión para el vertedero rectangular:

pendiente	altura(cm)	$\gamma(g^r/cm^3)$	presión(pa)
0°00'00"	2.7	0.98	259.49
0°49'04"	5.5	0.98	528.6
1°38'07"	0.39	0.98	37.48

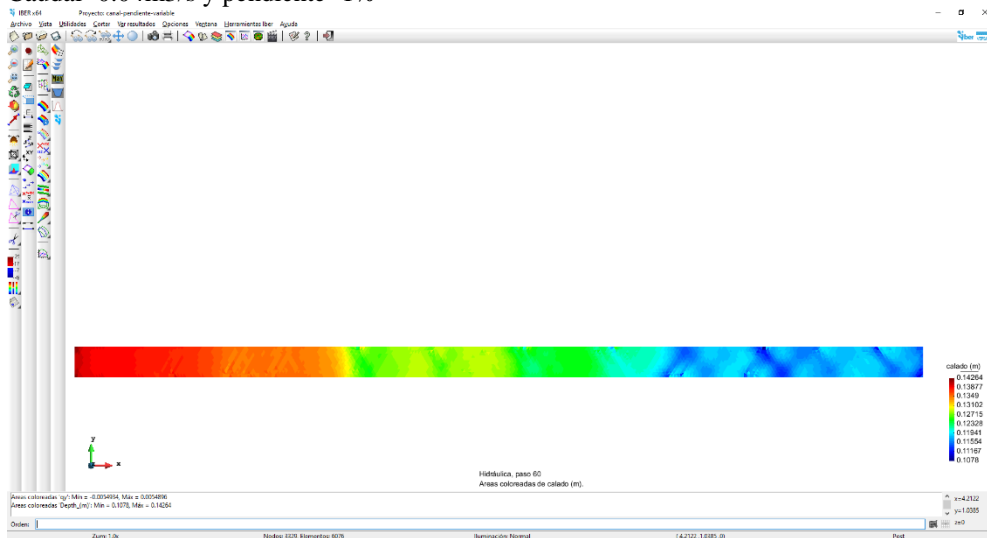
Resultado parámetros de modelamiento en canal de pendiente variable con el IBER.

Variación de calado:

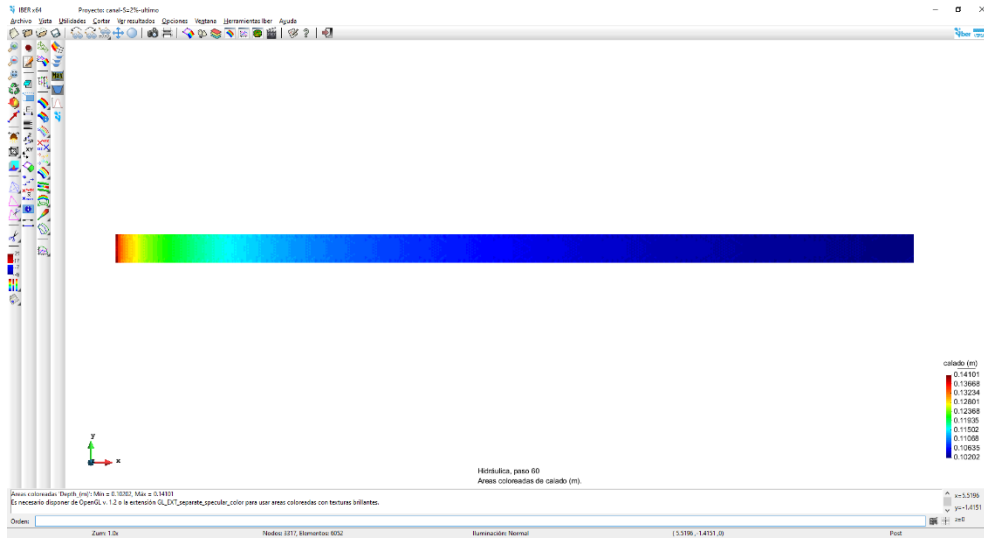
Caudal=0.04m³/s y pendiente=0.5%



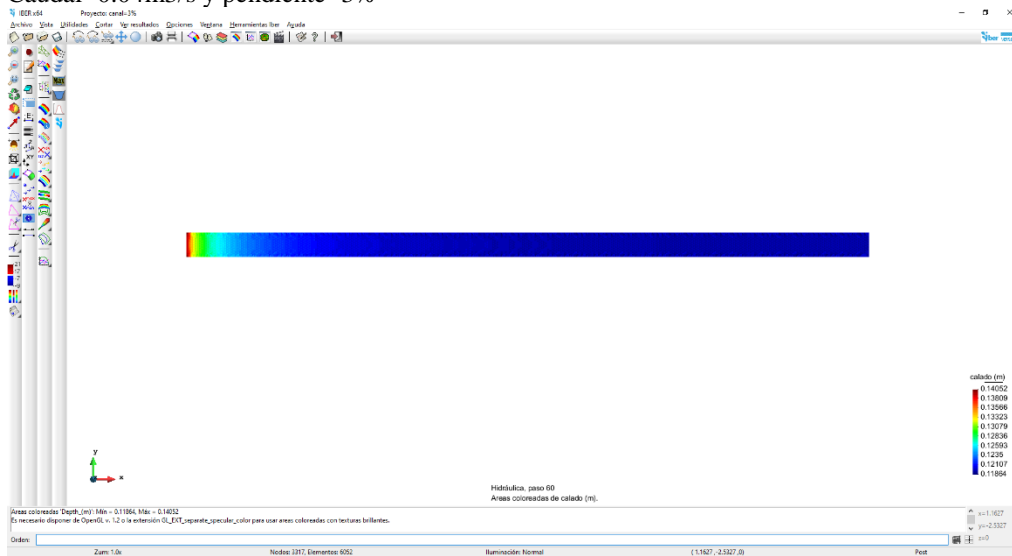
Caudal=0.04m³/s y pendiente=1%



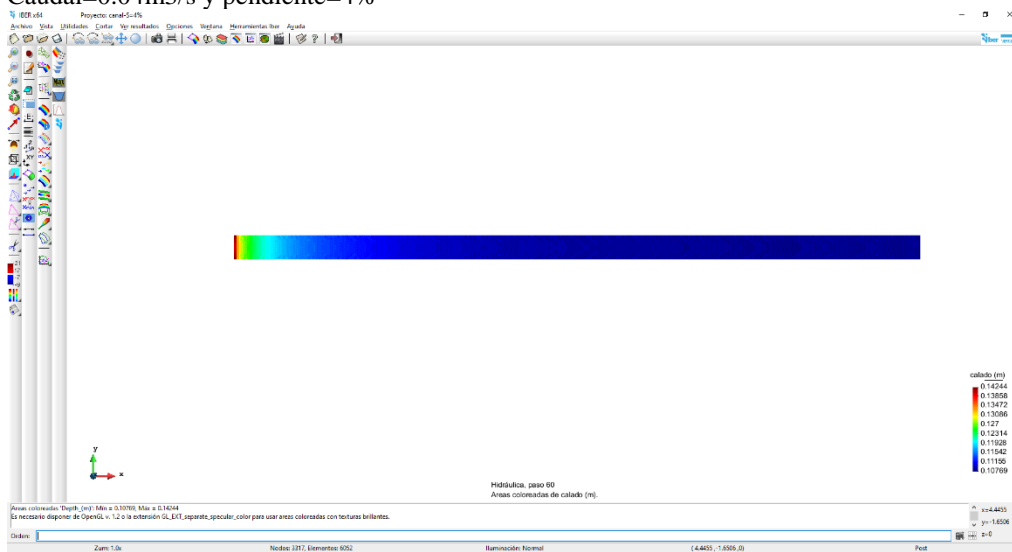
Caudal=0.04m³/s y pendiente=2%



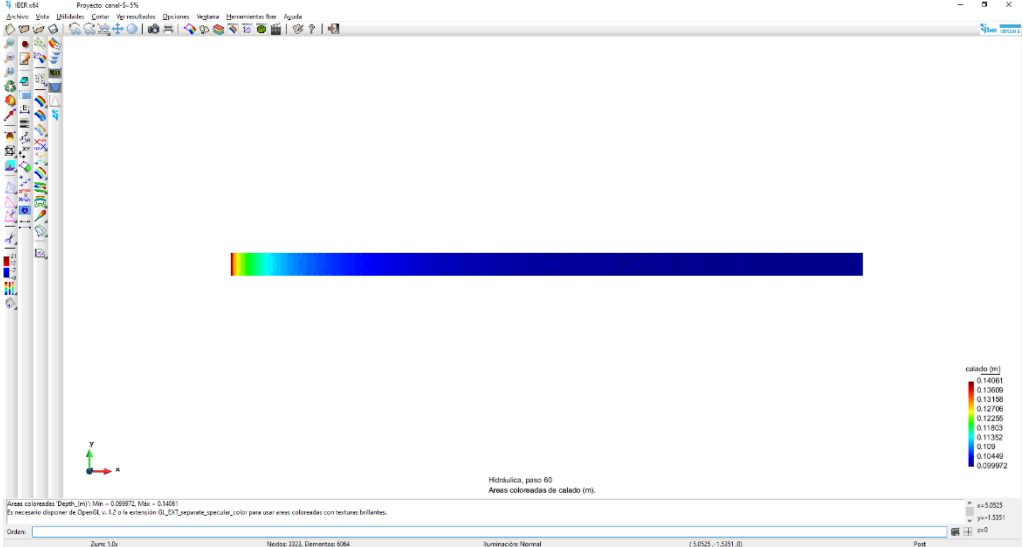
Caudal=0.04m³/s y pendiente=3%



Caudal=0.04m³/s y pendiente=4%

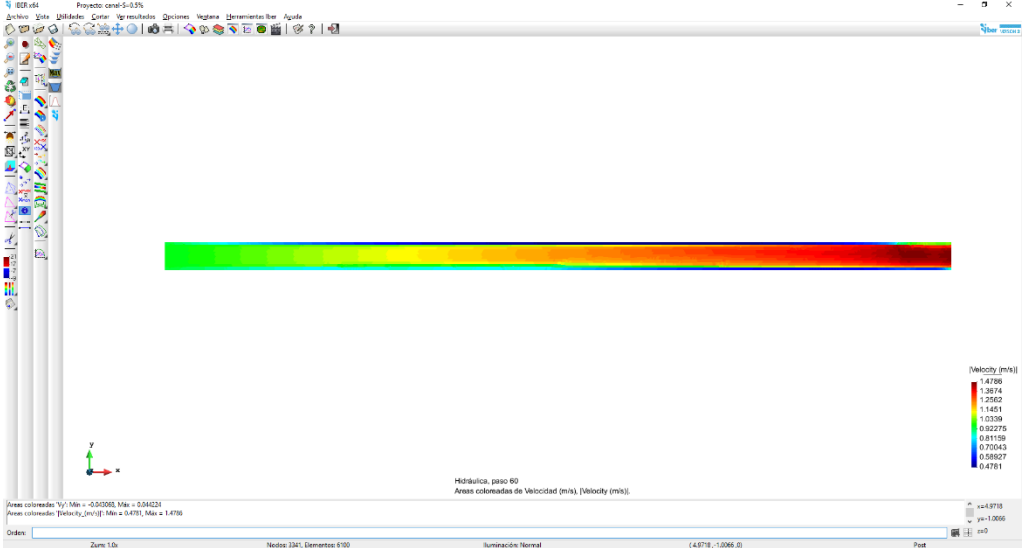


Caudal=0.04m³/s y pendiente=5%

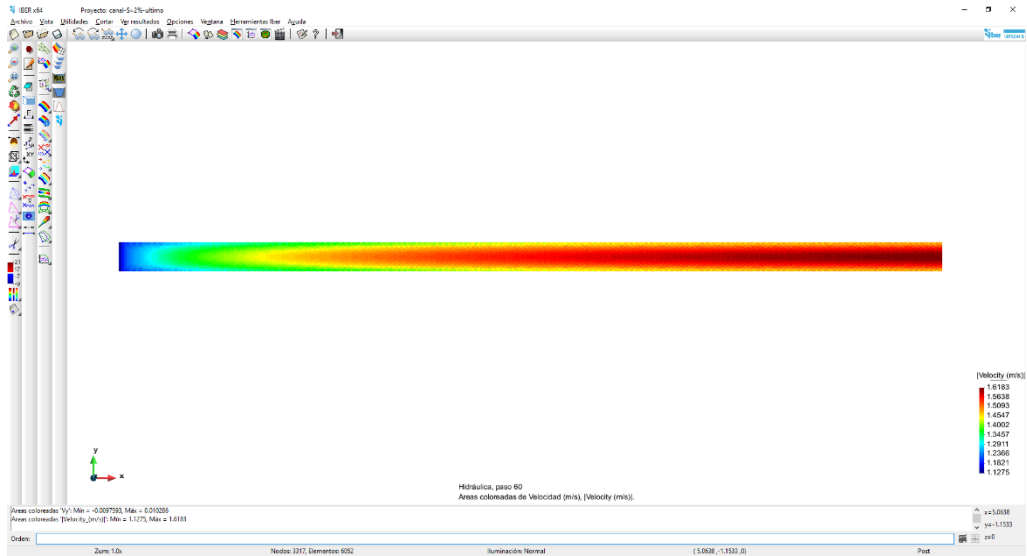


Variación de velocidades:

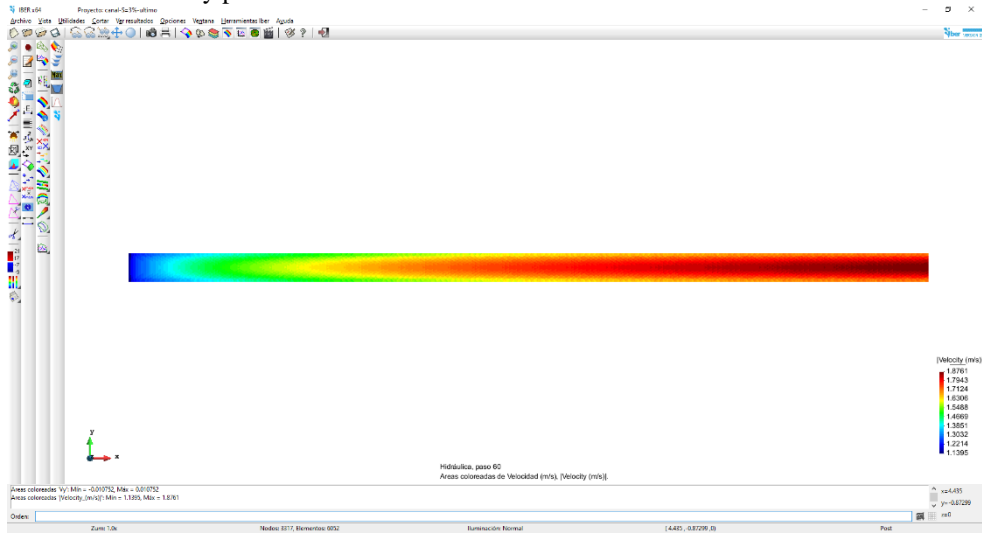
Caudal=0.04m³/s y pendiente=0.5%



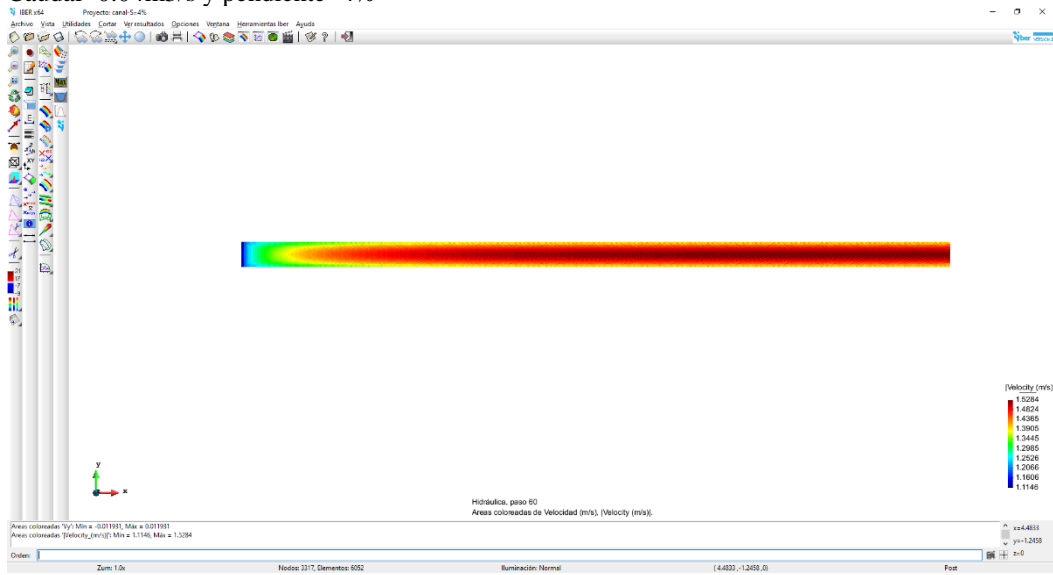
Caudal=0.04m³/s y pendiente=2%



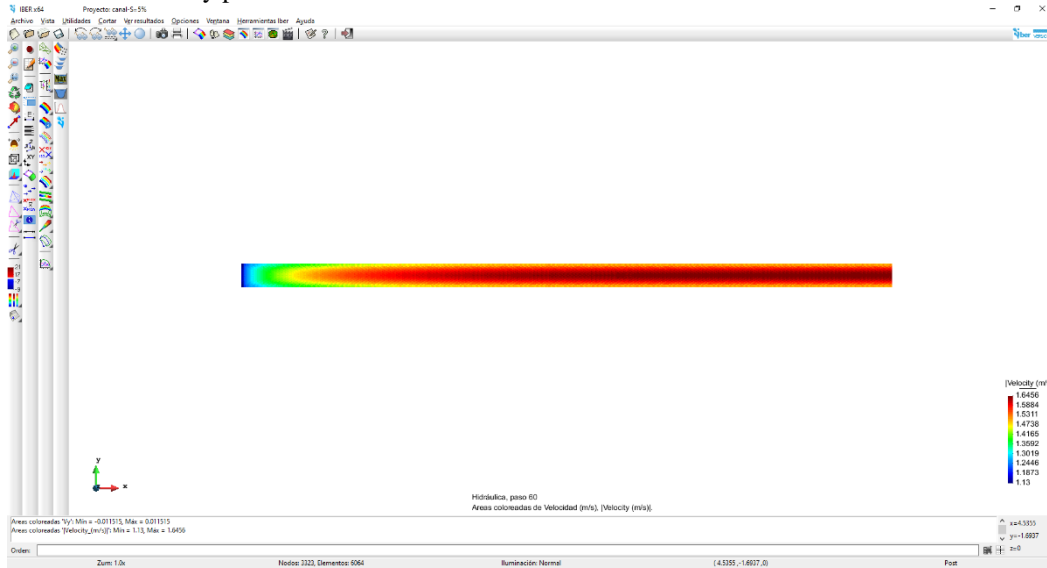
Caudal=0.04m³/s y pendiente=3%



Caudal=0.04m³/s y pendiente=4%



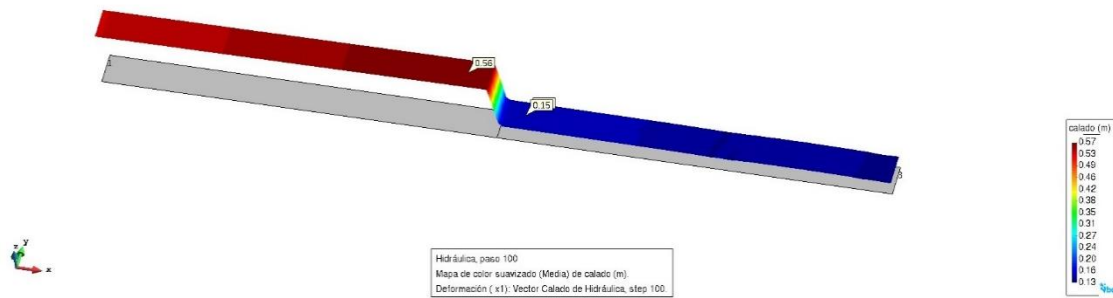
Caudal=0.04m³/s y pendiente=5%



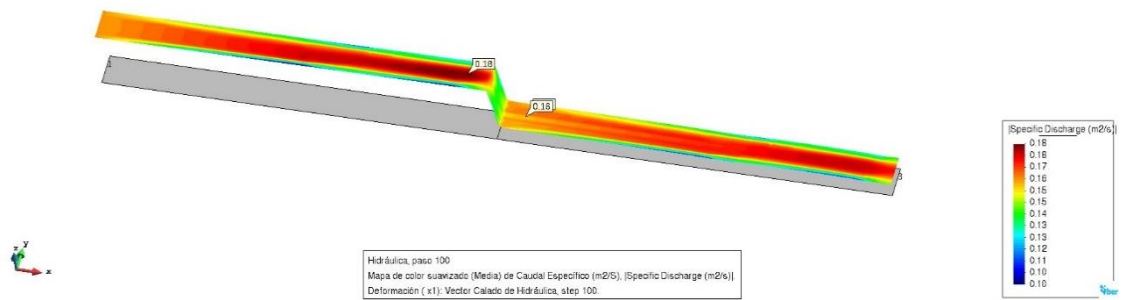
Resultados de modelamiento de canal de pendiente variable con compuerta y vertedero.

Resultados de modelamiento con IBER de canal de pendiente variable con compuerta

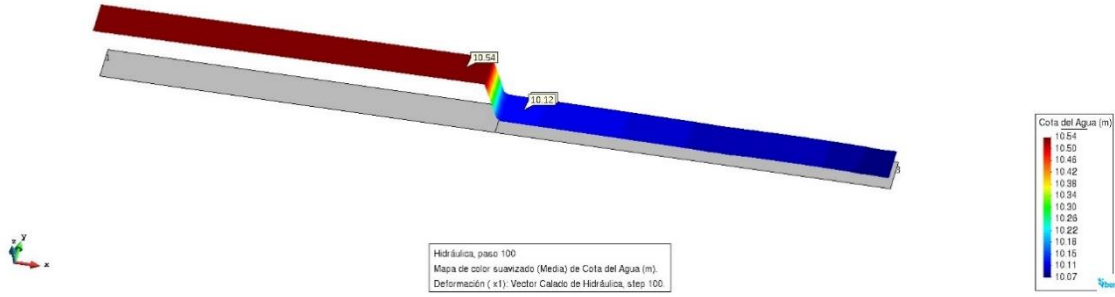
- Calado



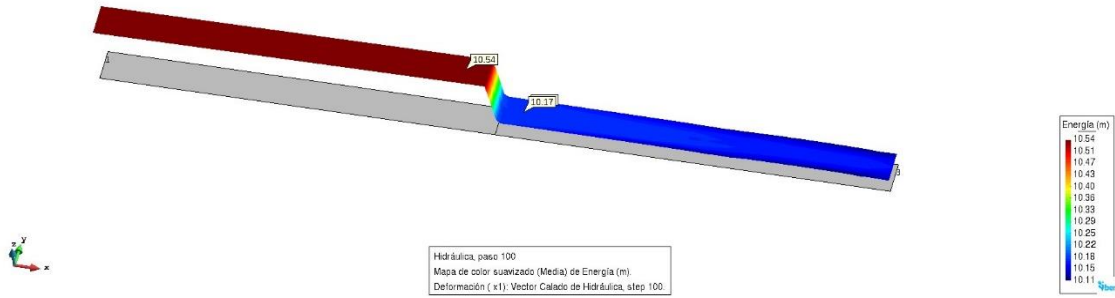
- Caudal Específico



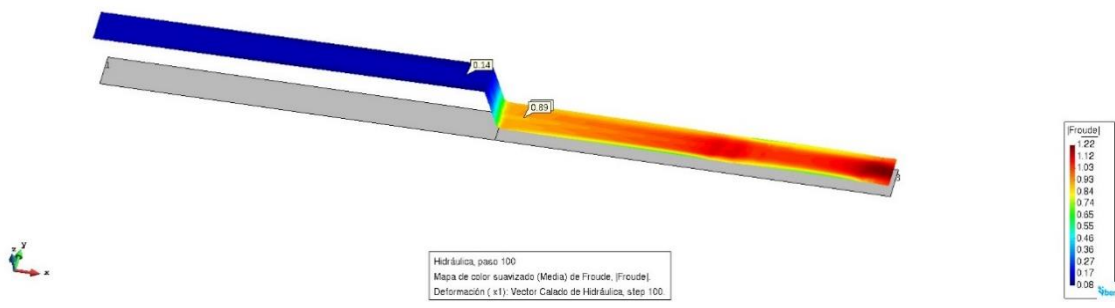
- Cota de agua



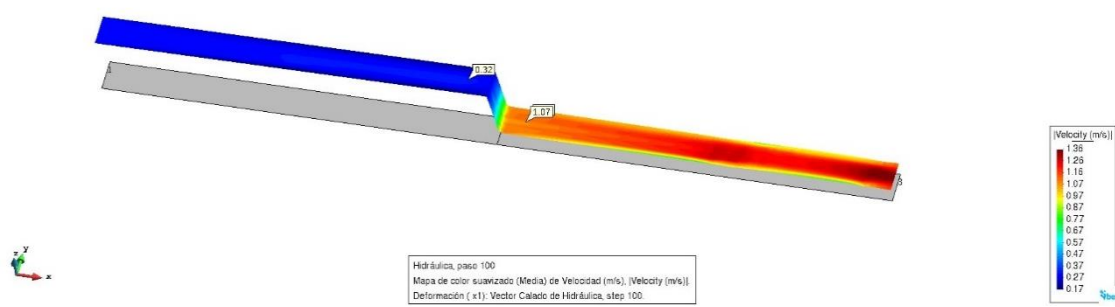
- Energía



- Número de Froude

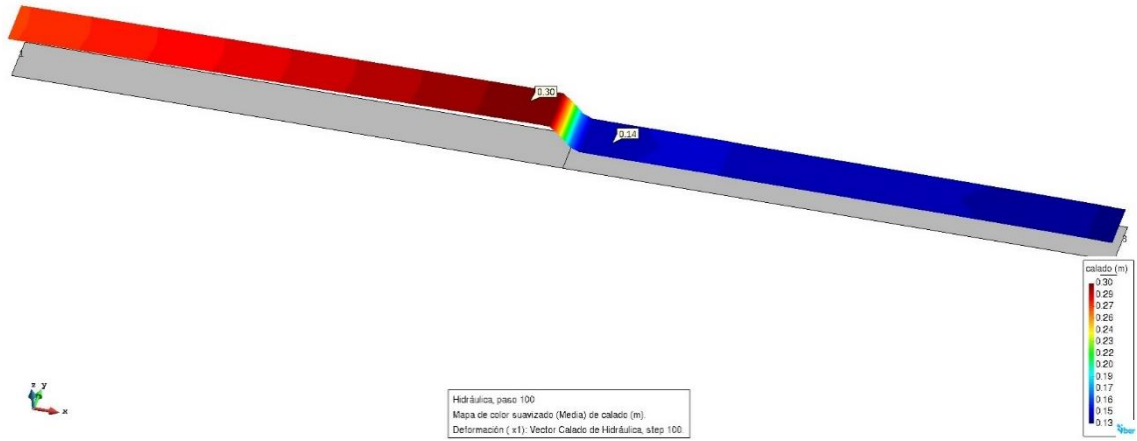


- Velocidad

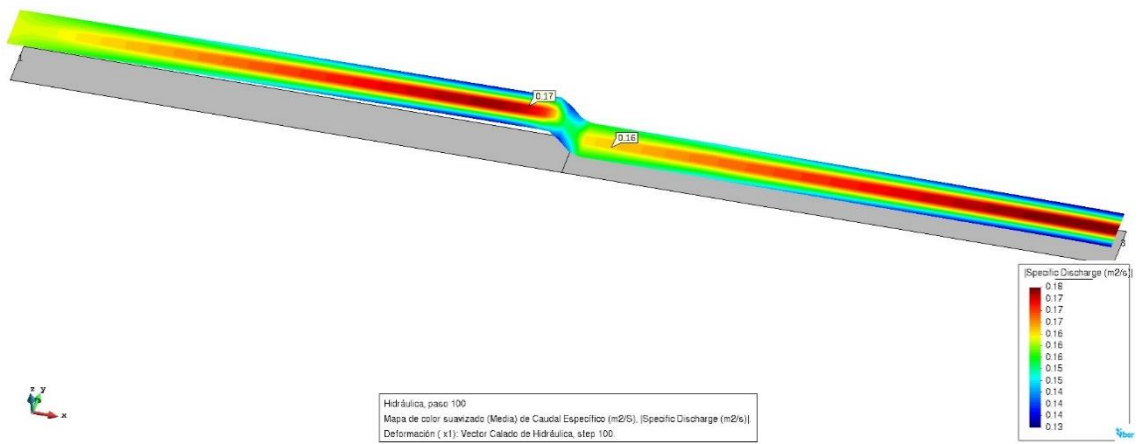


Resultados de modelamiento con IBER de canal de pendiente variable con compuerta de vertedero.

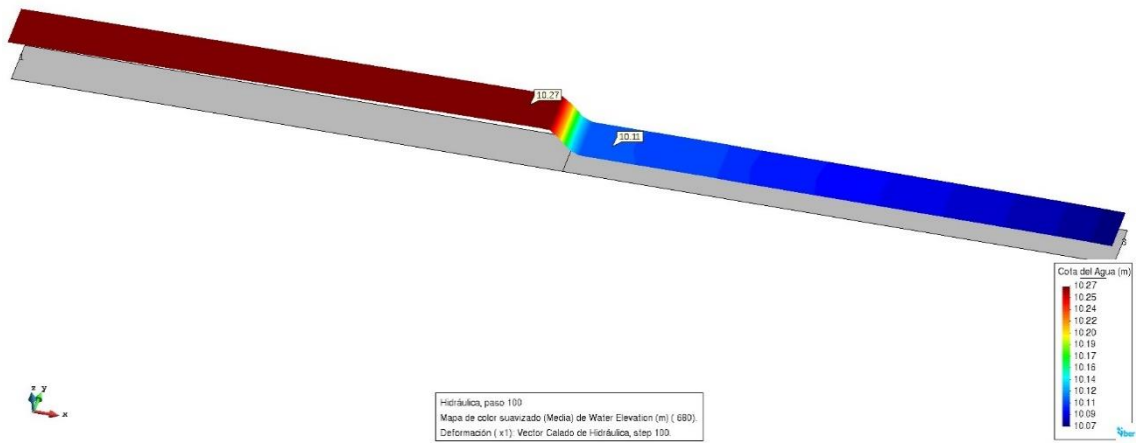
- Calado



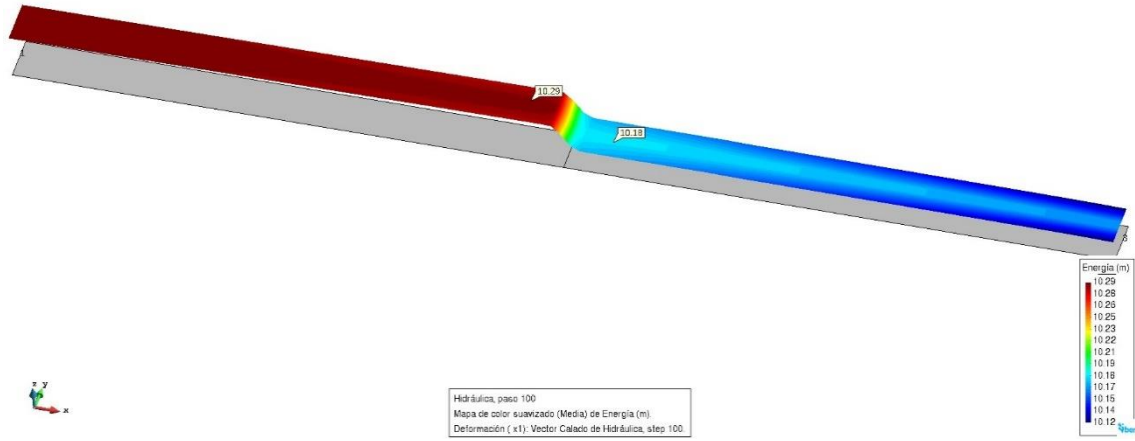
- Caudal Específico



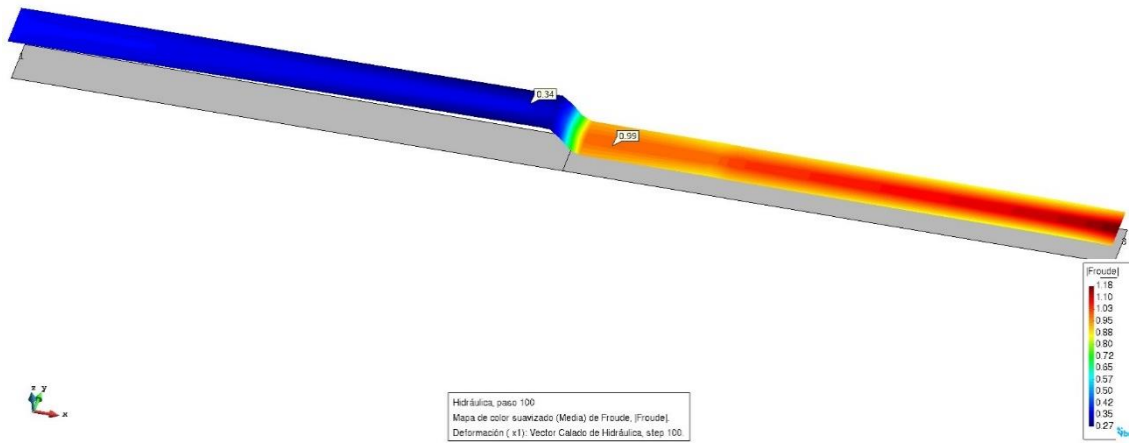
- Cota de Agua



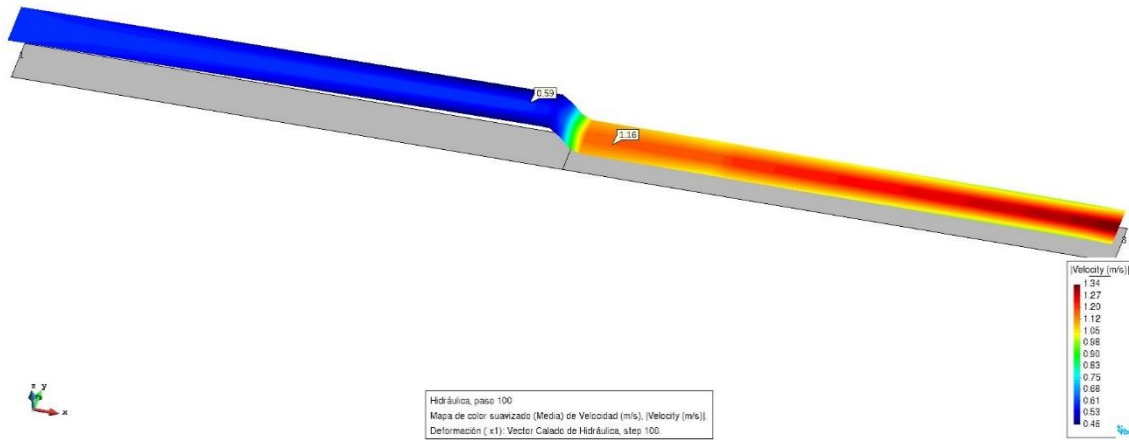
- Energía



- Número de Froude



- Velocidad



DISCUSIÓN

- Al calcular la velocidad a través de la fórmula $Q=AV$ la velocidad obtenida es de manera general por ello no se puede calcular de manera precisa en un punto determinado.
- Las alturas de salida de los vertederos no coincidían por el cual al hacer una comparación de un vertedero a otro no sería correcto realizar comparaciones en sus características de velocidad, presión, etc.
- La presión calculada en el vertedero rectangular de pendiente cero (horizontal) resultó 259.49 pascal; por lo tanto lo calculado se encuentra dentro del rango de la simulación de presión, por ello se concluye que los cálculos y el modelado se realizaron de la mejor manera.
- A menor sección del flujo de agua se incrementa la velocidad, pero disminuye la presión y viceversa a mayor sección se reduce la velocidad y se incrementa la presión, esto ocurre por la conservación de la energía y para su equivalencia debe compensarse entre ambas características.
- A mayor profundidad del agua se reduce la velocidad, pero se incrementa la presión debido a la carga respectiva y a mayor profundidad de agua se tiene mayor presión que fue comprobado con el tubo de Pitot de dicha variación de presión.
- En un vertedero rectangular el agua desemboca es de régimen laminar luego al llegar al pie de vertedero con un régimen transitorio, mientras en un vertedero triangular la descarga del agua por dicho vertedero es de régimen turbulento.
- Con el modelamiento de canal de pendiente variable con el IBER, se puede observar que a mayor pendiente del canal disminuye el calado del agua en cada punto que fue comprobado con los ensayos medidos con vernier y la velocidad se incrementa cuando la pendiente se incrementa en el canal y fueron comprobados con un correntómetro, la energía específica resultó disminuir con el incremento de la pendiente del canal, el caudal específico se pudo observar en el modelamiento que se reduce en los laterales del canal a medida que se incrementa la pendiente del canal.
- Al modelar con compuerta y vertederos en el canal de pendiente variables hace que se incremente la velocidad aguas abajo y la reducción de velocidad aguas arriba, así con el calado se incrementa aguas arriba con flujo subcrítico y aguas abajo el calado disminuye con flujo supercrítico.

CONCLUSIONES

- A mayor calado de agua en el canal se reduce la velocidad, pero se incrementa la presión debido a la carga respectiva, donde a mayor profundidad es mayor la presión.
- En un vertedero rectangular el agua descarga con un régimen laminar y luego al llegar al pie de vertedero con un régimen transitorio.
- En un vertedero triangular la descarga del agua es de régimen turbulento.
- En el tramo inicial del canal de pendiente variable las características hidráulicas no tienen variación considerable.
- A mayor pendiente del canal disminuye el calado del agua en cada punto del canal.
- A mayor pendiente del canal la velocidad a lo largo del canal se incrementa.
- La velocidad en la dirección transversal al sentido del flujo de agua para pendientes bajas es uniforme y con el incremento de pendientes varía en las paredes laterales con sentidos opuestos en las paredes laterales opuestas del canal.
- La energía específica disminuye con el incremento de la pendiente del canal.
- El caudal específico se reduce en los laterales del canal a medida que se incrementa la pendiente del canal.

- Las compuerta y vertederos en el canal hacen que se incremente la velocidad aguas abajo y la reducción de velocidad aguas arriba.
- Las compuerta y vertederos hacen que el calado se incrementa aguas arriba con flujo subcritico y aguas abajo el calado disminuye con flujo supercrítico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con las evaluaciones de efectos hidráulicos en diferentes canales de proyectos ejecutados.
- Se recomienda realizar el análisis de fenómenos hidráulicos en diferentes canales de rugosidades distintos.
- Se recomienda el análisis de fenómenos hidráulicos para canales de mayores dimensiones del presente trabajo.
- Se recomienda analizar los efectos que puedan originar las variaciones de parámetros hidráulicos con estudios posteriores.

AGRADECIMIENTO

Al estudiante de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil Kevin K. Meza Richarte por el apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Montejo H. A., Análisis de perfil de flujo gradualmente variado en canales. Universidad Veracruzana, Chapingo. México, 2000.

Espir Nureña J., Evaluación de fenómenos hidráulicos en el canal Chanquin del sistema de riego del valle de Virú primer tramo, Universidad Antenor Orrego, Trujillo, Perú, 2015.

Jimenez Teran J., “Manual de apuntes de la experiencia educativa de tuberías y canales”, México.

Palomino Bendezú J.; “Diseño hidráulico de una rápida para el proyecto: construcción del canal principal de fortaleza, Distrito de Congas, Provincia de Ocros, Región de Anscáh, Lima. 2003.

Zamora García S., Estudio Teórico-Experimental de algunos tipos de resalto hidráulico y curva de remanso, Colombia, 2004.

Álvarez Romero A., “Modelado y Control de un Canal Hidráulico”, España, 2012.

Universidad Nacional de Ingeniería, “Determinación del Salto Hidráulico”, Nicaragua, 1967

Universidad Nacional de Ingeniería, “Perfiles de Flujo por el Método del Paso Directo”, Nicaragua, 1967