

Modelo Numérico del Flujo Bifásico Aplicado al Desempeño de Estructuras de Control



Proyecto de Investigación del Instituto de Ingeniería

William Vicente Rodríguez

Martín Salinas

Jonathan Sánchez Muñoz

José Manuel Cubos Ramírez

Christian Lagarza Cortes

En materia de ingeniería civil, el uso de herramientas numéricas en el análisis de sistemas hidráulicos es cada vez más común.

En 2008, la Coordinación de Ingeniería en Procesos Industriales y Ambientales (CIPIA), en conjunto con la Coordinación de Hidráulica ambas del Instituto de Ingeniería de la UNAM, comenzaron a trabajar en el estudio de la dinámica de flujos con superficie libre con intención de simular numéricamente el comportamiento del río Carrizal, localizado en el estado de Tabasco, debido que esta zona ha sido históricamente propensa a sufrir inundaciones.

El grupo de investigación de CIPIA, compuesto por los alumnos de maestría Jonathan Sánchez, Christian Lagarza y José Manuel Cubos y dirigido por los doctores William Vicente y Martín Salinas, realizó simulaciones numéricas de las estructuras hidráulicas propuestas para controlar el caudal del río, con la intención de complementar las investigaciones realizadas por el doctor Jesús Gracia y los Maestros Eliseo Carrizosa y Javier Osnaya, miembros de la Coordinación de Hidráulica.

La simulación numérica es una alternativa complementaria a los métodos tradicionales para el diseño y construcción de sistemas hidráulicos. Su objetivo consiste en poder representar y modelar, de forma tridimensional, la dinámica del flujo en las estructuras hidráulicas de control, como la del río Carrizal.

La primera parte de la investigación consistió en la adecuada representación de la batimetría, así como la de los diseños de las estructuras propuestas para controlar el flujo en la zona. A partir de software CAD/CAM, se generaron los modelos computacionales, lo que proporcionó mayor precisión en la geometría y con ello, resultados más realistas. Figura 1 y Figura 2.

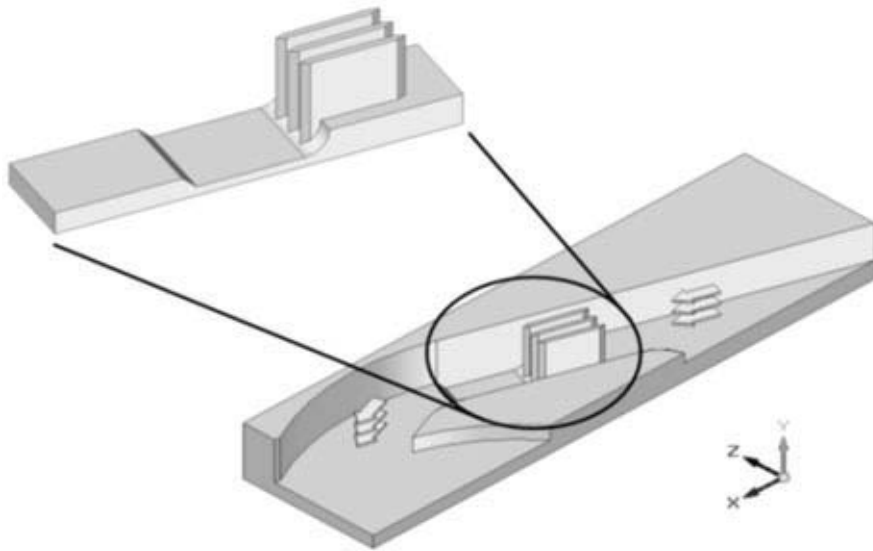


Figura 1. Estructuras de control propuestas, generadas con CAD/CAM.

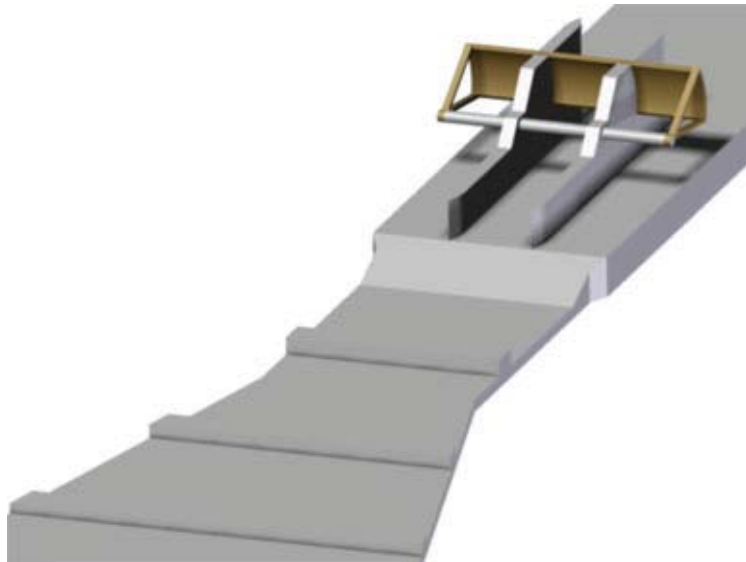
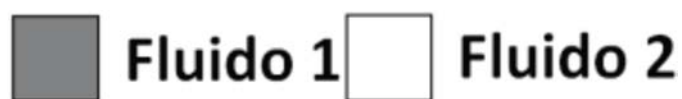


Figura 2. Simulación numérica de la estructura de control.

Una vez representada la batimetría y las estructuras de control, fue necesario seleccionar e implementar un modelo numérico que representara el movimiento de la superficie libre y las estructuras del flujo en el fluido.

El análisis numérico de un flujo con superficie libre enfrenta dos problemas importantes. Primero, identificar la posición de la superficie libre en el paso de tiempo presente y segundo, actualizar esta posición para el siguiente paso de tiempo.



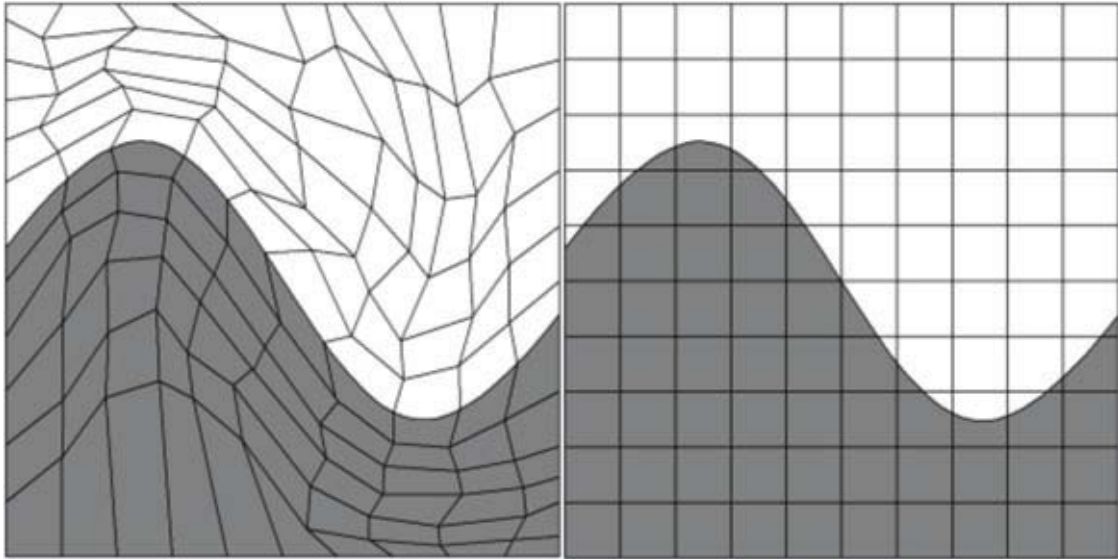


Figura 3. Métodos de estudio para el tratamiento de la superficie libre.

Con la finalidad de localizar la superficie libre móvil, se analizó una serie de métodos, los cuales, generalmente, se categorizan en dos tipos:

- Métodos de malla móvil
- Métodos de malla fija




En los métodos de la malla móvil o métodos Lagrangianos (Figura 3a), los puntos de la malla se mueven con el fluido. La superficie libre es tratada como una frontera del dominio computacional, donde son aplicadas condiciones de frontera cinemáticas y dinámicas. Estos métodos no pueden ser usados si la topología de la interface cambia significativamente, ya que la distorsión de la malla en exceso da lugar a errores numéricos ocasionados por el cambio del dominio del líquido, así como problemas de convergencia para alcanzar la solución.

Por otra parte, en los métodos de malla fija, conocidos como métodos Eulerianos (Figura 3b), la malla es tratada como un marco de referencia fijo, a través del cual el fluido se mueve, es decir, la malla generada inicialmente se utiliza en todo el cálculo, por lo que no existe ninguna dificultad geométrica, sin embargo, dado que el movimiento del fluido no coincide con la malla de cálculo, es necesario un tratamiento especial para seguir el movimiento de la superficie libre.

Dentro del marco de los métodos Eulerianos, un método adecuado es el método VOF (por sus siglas en inglés, *Volume of Fluid*). Este método es utilizado en problemas de flujo con movimiento de superficie libre y es capaz de modelar dos o más fluidos mediante la solución de un conjunto de ecuaciones de fracción volumétrica, donde la misma variable es fijada para cada uno de los fluidos del dominio, basándose en la consideración de que los fluidos son inmiscibles. Para cada fase que se agrega se introduce una variable llamada "fracción volumétrica de la fase" en la celda de cálculo, teniendo en cuenta que la suma de todas las fracciones volumétricas de todas las fases es la unidad. Si la fracción volumétrica de cada una de las fases se conoce en cada posición, las variables y propiedades en cada celda son representativas de una de las fases o de la interface, dependiendo de los valores de la fracción volumétrica.

La fracción volumétrica de un fluido es denotada como c , donde pueden cumplirse tres condiciones:

Por tanto, es necesario resolver una ecuación de transporte adicional para la fracción de volumen de la primera fase, c .

$c = 1$ Celda llena de fluido 1	
$c = 0$ Celda llena del fluido 2	
$0 < c < 1$ Celda con interface	

Esta ecuación, tiene la misma forma que ecuación de continuidad, con la diferencia de que la densidad ρ es sustituida por

$$c \cdot \frac{\partial c}{\partial t} + \text{div}(c\vec{v}) = 0$$

De esta manera, las propiedades del líquido efectivo varían en el espacio de acuerdo a la fracción de volumen de cada fase, de la siguiente manera:

$$\rho = \rho_1 c + \rho_2 (1 - c)$$

Donde los subíndices 1 y 2 denotan los dos fluidos (líquido y gas) respectivamente. Así, si un volumen de control está parcialmente lleno con un fluido y parcialmente con el otro fluido (es decir, $0 < c < 1$), se supone que ambos fluidos tienen la misma velocidad y presión, teniendo en cuenta que la interface no representa un límite por lo que no hay necesidad de establecer condiciones de contorno en ella.

El modelo numérico simuló, junto a la interface, la hidrodinámica del flujo resolviendo las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento en promedios de Reynolds a través del método de los volúmenes finitos, cerrando el sistema de ecuaciones vía el modelo de turbulencia $k-\epsilon$.

Las simulaciones numéricas de las estructuras de control propuestas para el río Carrizal utilizando el método, se presentan en la Figura 4, donde se observa el comportamiento de la hidrodinámica del flujo en su movimiento, a través de las estructuras de control.

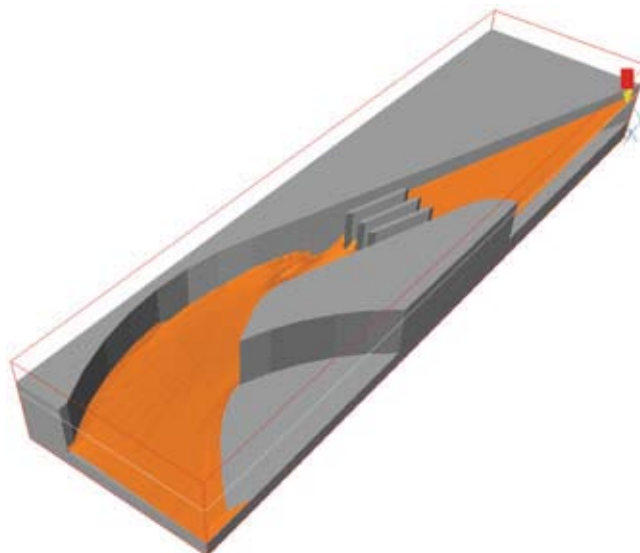


Figura 4. Simulación numérica de las estructuras de control construidas sobre el río.

La Figura 5, se muestran los contornos de densidad. El método utilizado permite obtener una interface definida.

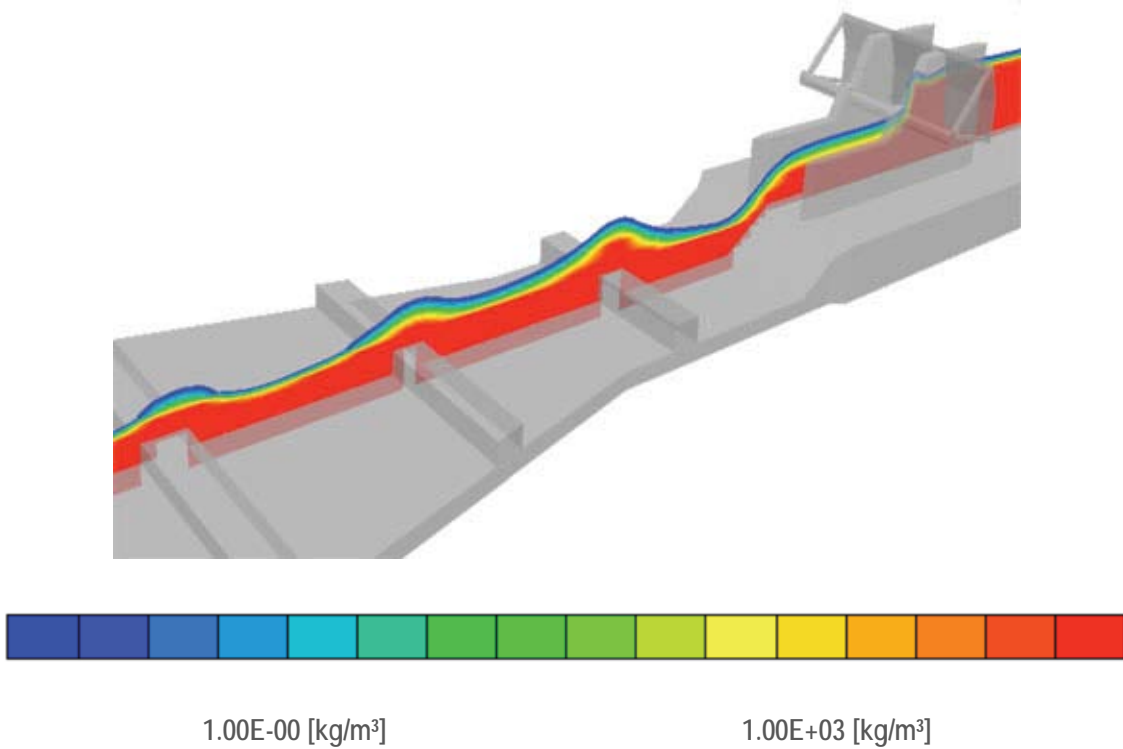


Figura 5. Contornos de densidad.

En la Figura 6, se tiene los contornos de velocidad, donde se observa el campo completo de velocidades, lo que permite conocer el comportamiento del flujo en las estructuras.

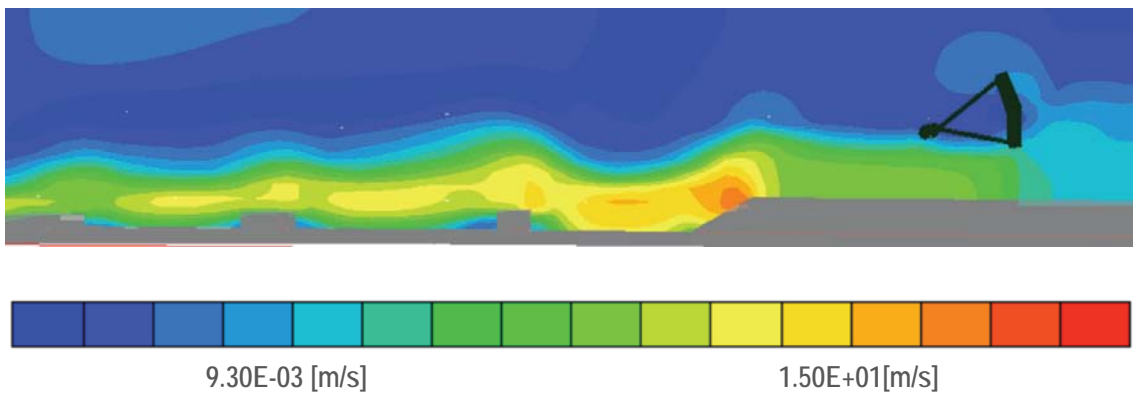


Figura 6. Contornos de velocidad.

Los trabajos realizados por la coordinación, han mostrado que el modelo numérico empleado permite un estudio detallado de la interacción entre dos fluidos inmiscibles, donde se observa una interface bien definida. La ventaja de este modelo radica en su versatilidad para usar diferentes geometrías aplicadas en mallas cartesianas, que repercutirá en tiempo de cálculo y facilidad de convergencia del método numérico.

Por otro lado, se realizó una comparación con datos experimentales de los modelos físicos, donde se obtienen errores menores al 10 por ciento.