



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA HIDRÁULICA



**GENERACIÓN NUMÉRICA DEL CAMPO DE
VELOCIDADES EN UNA OBRA DERIVADORA.**

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA**

PRESENTA

Ing. Marcos García Reyes

DIRECTOR

Dr. José Guadalupe Fabián Rivera Trejo

DIRECTOR EXTERNO

Dr. Gabriel Soto Cortés

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - LERMA

Cunduacán, Tabasco

Junio, 2017

 **UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

 **División
Académica
de Ingeniería
y Arquitectura**

DIRECCIÓN

OFICIO DAIA/1298/2017
FECHA: 8 de Junio 2017
ASUNTO: Autorización de impresión definitiva

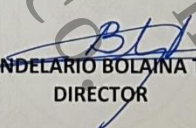
C. ING. MARCOS GARCIA REYES
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA HIDRÁULICA
PRESENTE.

En virtud de haber elaborado su trabajo de Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Hidráulica, el cual ha sido dirigido por el Dr. José Guadalupe Fabián Rivera Trejo y el Dr. Gabriel Soto Cortés, denominado:

"GENERACIÓN NUMÉRICA DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN UNA OBRA DERIVADORA",

Tengo a bien autorizarle la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen de obtención de grado.

Sin otro particular, le envío un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE

DR. CANDELARIO BOLAINA TORRES
DIRECTOR


**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**
DIVISIÓN ACADÉMICA DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN

C.c.p. Archivo
DR' CBT/Dr. JBF/apl***

 **Consorcio de
Universidades
Mexicanas**
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, Km. 1 Col. La Esmeralda, C.P. 86690
Cunduacán, Tabasco.
Tel. 3-58-15-00 ext. 6752
direccion.daia@ujat.mx



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ingeniería
y Arquitectura

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Cunduacán, Tabasco, a 31 de Mayo de 2017
MEM/MCI/012/2017

PARA: DR. CANDELARIO BOLAINA TORRES
DIRECTOR DE LA DAIA

DE: COMISIÓN SINODAL

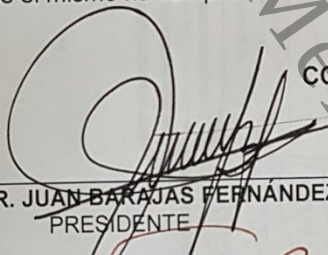
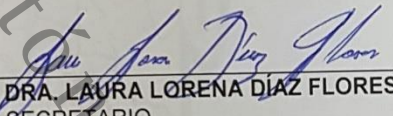
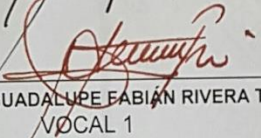
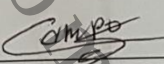
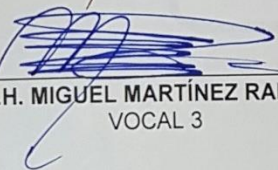
ASUNTO: APROBACIÓN DE IMPRESIÓN TESIS DE MAESTRIA

Una vez hecha la revisión detallada del Trabajo de Tesis denominado:

"GENERACIÓN NUMÉRICA DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN UNA OBRA DERIVADORA"

Desarrollado por el C. **ING. MARCOS GARCÍA REYES** de la **Maestría en Ingeniería Hidráulica**, le comunicamos que aceptamos la impresión del trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

COMISIÓN SINODAL

 DR. JUAN BARAJAS FERNÁNDEZ PRESIDENTE	 DRA. LAURA LORENA DÍAZ FLORES SECRETARIO
 DR. JOSÉ GUADALUPE FABIÁN RIVERA TREJO VOCAL 1	 M.I.H. ENRIQUE CAMPOS CAMPOS VOCAL 2
 M.I.H. MIGUEL MARTÍNEZ RAMOS VOCAL 3	

c.c.p. Archivo



Consorcio de
Universidades
Mexicanas
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, Km. 1 Col. La Esmeralda, C.P. 86690
Cunduacán, Tabasco.
Tel. 3-58-15-00 ext. 6752
direccion.daia@ujat.mx

CARTA DE AUTORIZACIÓN

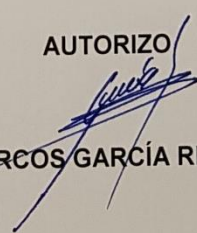
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado denominada "**GENERACIÓN NUMÉRICA DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN UNA OBRA DERIVADORA**", de la cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La finalidad del uso de la tesis antes mencionada por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación Institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Cunduacán Tabasco a los 08 días del mes de Junio del año 2017.

AUTORIZO


MARCOS GARCÍA REYES

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por su amor Infinito, por regalarme la vida todos los días para contemplar la belleza de su creación y por su bondad al permitirme concluir esta etapa de mi vida.

A mi esposa:

Patricia del Carmen Ramírez Ulín, por su amor, comprensión, apoyo en los proyectos de vida que emprendemos juntos y por compartir su vida a mi lado. Gracias Amor.

A mis padres:

Jesús García Silvan (+),

Adela Reyes Martínez

Por Haber formado una familia sólida y unida. Gracias por sus ejemplos de vida y por el amor que se profesaron y nos dieron.

A mis hermanos y sobrinos:

Motivos e Inspiración de mí superación personal y profesional

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco:

Por la formación que me brindó en los espacios. Gracias UJAT.

A mis Directores de Tesis:

Dr. José Guadalupe Fabián Rivera Trejo. Gracias por compartir su tiempo y conocimiento tanto en el aula de clases como en el desarrollo del presente trabajo, eternamente agradecido.

Dr. Gabriel Soto Cortes. Por sus comentarios y observaciones en el desarrollo del presente trabajo.

Al MCI Gastón Alejandro Priego Hernández.

Por el apoyo brindado, Gracias por siempre amigo Gastón.

A la Comisión Revisora:

Dr. Juan Barajas Fernández

Dra. Laura Lorena Díaz Flores

Dr. José Guadalupe Fabián Rivera Trejo

MIH. Enrique Campos Campos

- MIH Miguel Martínez Ramos.

Por los comentarios, observaciones y sugerencias realizadas.

A mis profesores de la Maestría en Ingeniería Hidráulica:

Por compartir sus experiencias y conocimientos en el aula. Gracias por la amistad brindada.

A mis compañeros de la Maestría:

Sandy, Fredy, Gloria y Emmanuel. Gracias por su amistad y por convivir juntos los tiempos de estudiante

Contenido

INDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE TABLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO I. CANALES DERIVADORES.....	9
1.1 Generalidades.....	10
1.2. Criterios de Diseño.....	12
CAPITULO II. MODELACIÓN NUMÉRICA	14
2.1 Modelación Numérica	14
2.2. Modelación Numérica con Iber.....	16
2.3. Ecuaciones Hidráulicas en Iber.....	17
2.4 Entorno de Trabajo en Iber	19
2.4.1 Creación de geometría a modelar.....	21
2.4.2 Condiciones de contorno, iniciales y rugosidad	22
2.4.3 Mallado de cálculo	25
CAPITULO III CASO DE APLICACIÓN: OBRA DERIVADORA EL CENSO.....	30
3.1 Localización	30
3.2 Generación de Topografía y Medición Hidrodinámica	32
3.2.1 Batimetría	34
3.2.2 Hidrodinámica del río La Sierra	35
3.3 Generación de Modelo Numérico y Simulación de Escenarios.....	37
3.4 Modelación de la hidrodinámica para las dos condiciones de gastos.....	39
CAPITULO IV. CONCLUSIONES	42
REFERENCIAS.....	43
ANEXO A	46

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1. a) Canal derivador en la margen derecha del río Misisipi con lecho natural, Nueva Orleans.
b) Canal derivador en la margen derecha del río La Sierra con lecho artificial, Tabasco.
- Figura 2.1. Módulo de cálculo en Iber.
- Figura 2.2. Resumen del proceso de calibración del modelo.
- Figura 2.3. Formatos de diseño de geometría generadas, prediseñadas y de los modelos digitales de elevación.
- Figura 2.4. Coeficiente de rugosidad de Manning predeterminados en el entorno Iber.
- Figura 2.5. Representación comparativa de mallas estructuradas y no estructuradas respecto al error cordal.
- Figura 2.6. Datos del problema en el entorno Iber.
- Figura 2.7. Ventana del software Iber que muestra la evolución del cálculo del modelo numérico.
- Figura 3.1. Localización del canal derivador El Censo.
- Figura 3.2. Canal derivador el Censo, en la margen derecha del río la Sierra.
- Figura 3.3. Sedimentos depositados en la margen derecha del canal derivador El Censo.
- Figura 3.4. Equipo Doppler RiverRay.
- Figura 3.5. Esquema de secciones transversales sobre canal derivador El Censo.
- Figura 3.6. Ventana de trabajo del software WinRiver II.
- Figura 3.7. Batimetría del río La Sierra y canal derivador el Censo.
- Figura 3.8. a) Vector de velocidad en planta del río La Sierra
b) Magnitud de velocidad en planta del río La Sierra.
- Figura 3.9. Mallado no estructurado (triangulación de volúmenes finitos) generado por programa Iber 2.4 del río La Sierra y canal derivador El Censo
- Figura 3.10. a) Modelo numérico del río La sierra en condición de gasto de $Q = 109.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
b) Modelo numérico del río La sierra – Canal derivador en condición de gasto de $Q = 501.36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Figura 3.11. Campo vectorial de velocidad generado por la modelación numérica.
- Figura 3.12. Línea de tendencia del flujo en el río La Sierra y el canal derivador El Censo.

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Softwares de simulación de flujo de ríos en 2D.

Tabla 2.2. Condiciones de contorno implementadas en los contornos abiertos.

Tabla 3.1. Datos procesados en hojas de trabajo de software Excel.

Tabla 3.2 Escenarios modelados.

INTRODUCCIÓN

Los canales derivadores son estructuras hidráulicas, que desvían parte del agua que circula sobre un río y la envían hacia una zona de almacenamiento o manejo. Su función es control de inundaciones, suministro de agua municipal, o con fines consuntivos -riego-. Sin embargo muchas de estas obras son grandes aportadoras de sedimentos, que en la mayoría de los casos no son tomados en cuenta durante su diseño. Este proceso de transporte de sedimentos va íntimamente ligado con la hidrodinámica del sistema, por lo que, para cuantificarlo es esencial conocer cómo se desarrollan los campos de velocidad dentro de la geometría del canal derivador.

En este trabajo y como parte de la estimación de la tasa de transporte de sedimentos en una obra derivadora, se presenta la modelación numérica realizada en una estructura derivadora que actualmente se encuentra en funcionamiento. El objetivo fue generar la hidrodinámica e identificar los campos de velocidades sobre el río y la estructura derivadora. A partir de esta información se identificaron las zonas en las que se tiene un mayor transporte de sedimentos, para su posterior cuantificación.

Este trabajo cuenta con cuatro capítulos. El primer capítulo hace una introducción a los canales derivadores; en el capítulo dos se describe el modelo numérico Iber y los principios básicos de la simulación numérica. En el capítulo tres se muestran el caso de aplicación y los resultados obtenidos, en el capítulo cuatro se generan las conclusiones del trabajo y finalmente en el anexo "A" se muestran los productos obtenidos de esta investigación.

CAPITULO I. CANALES DERIVADORES

Los canales derivadores, son obras estructurales fundamentales en el sistema de riego y en la regulación de caudales. Su diseño se basa en construir una derivación sobre el cauce principal y dirigir parte del caudal transportado hacia otra zona, que puede ser una zona de regulación o almacenamiento. La derivación funciona a partir de un nivel o cota del agua, que va ligado directamente con el caudal que se desea descargar. Este tipo de obras son de gran importancia en los sistemas de riego y como protecciones contra inundaciones. Su funcionalidad y eficiencia son fundamentales para la adecuada captación de caudales, y deben ser compatibles con las dimensiones de los respectivos canales de conducción y distribución del agua. Estas obras deben ser cuidadosamente diseñadas y su estructura debe ser suficientemente robusta como para soportar la fuerza de las crecidas de los ríos durante las lluvias más intensas. Una obra derivadora mal diseñada o mal construida puede ocasionar innumerables dificultades aguas abajo a los usuarios de los sistemas de riego o en los sistemas de captación.

Por otro lado, se han encontrado que las obras derivadoras en el caso de ríos de planicie son grandes aportadoras de sedimentos (Allison y Meselhe, 2010). Demas y Curwick (1987) y Dagg *et al.* (2005) demostraron que la concentración de sedimentos en suspensión varía con la descarga del flujo; también encontraron que para velocidades bajas, se encuentran sedimentos finos que son transportados hacia zonas de regulación, por lo que evaluar y cuantificar el impacto que puede ocasionar en las zonas de descarga es esencial.

Así, la interrogante es: ¿Cuánto es la cantidad de sedimentos que este tipo de obras derivan? Para intentar dar respuesta a esta incógnita se debe empezar diciendo que siempre que se construye una obra hidráulica sobre un río, ésta altera el escurrimiento natural del mismo, y cómo consecuencia modifica el transporte natural de sedimentos. Este proceso de transporte va íntimamente ligado con la hidrodinámica del sistema, por lo que es esencial conocer cómo se desarrolla dentro de la estructura.

El primer paso para el entendimiento del fenómeno consiste en discutir en forma básica como es el diseño y construcción de los canales derivadores.

1.1 Generalidades

Existen diferentes criterios sobre la ubicación de las obras de toma tipo presa derivadora, pero los más generalizados indican que se pueden construir en tramos rectos o curvos de los ríos, dependiendo de su pendiente. Estas estructuras consisten en escotaduras que se hacen en la pared o talud del canal para controlar el caudal, evitándose posibles desbordes que podrían causar serios daños. Su ubicación se recomienda en todos aquellos lugares donde exista este peligro. En la Figura 1.1 se muestran algunos diseños de canales derivadores con cauces naturales y artificiales.

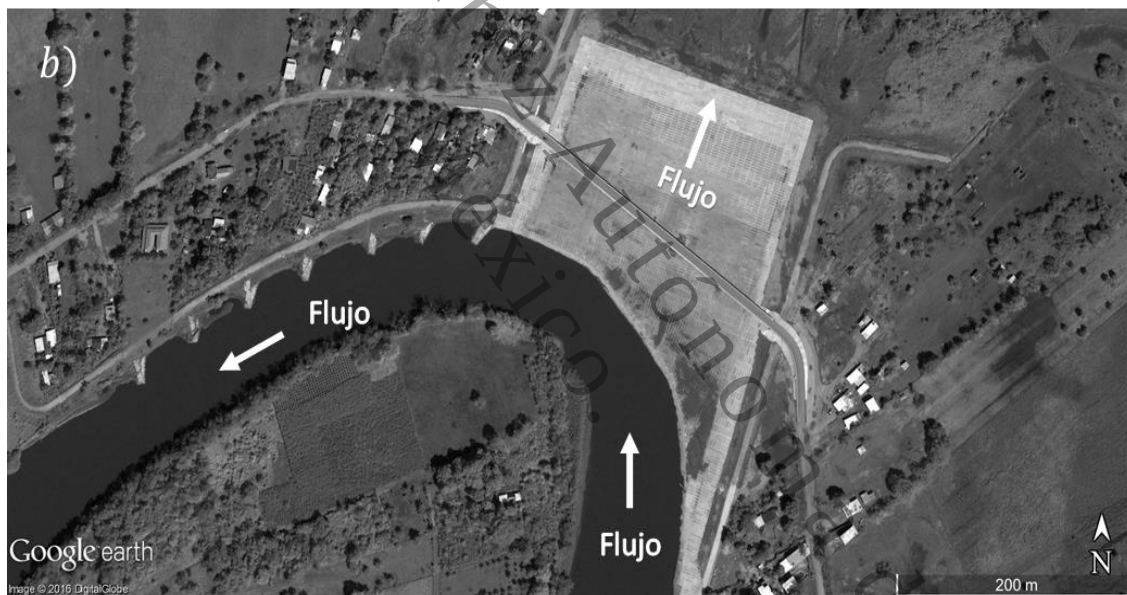


Figura 1.1. a) Canal derivador en la margen derecha del río Misisipi con lecho natural, Nueva Orleans. b) Canal derivador en la margen derecha del río La Sierra con lecho artificial, Tabasco.

1.2. Criterios de Diseño

Para el diseño del control de caudales y del sistema de riego en general, se necesita conocer el régimen de flujo del río. Es decir, cuales son: los caudales medios mensuales, el caudal mínimo que se presenta en el año y el caudal de crecidas, todo relacionado a un cierto periodo de retorno que dependerá de la magnitud e importancia del caudal a derivar y de la función que tendrá la obra.

Los canales derivadores naturales se desgastan de manera diferente en la anchura, la estructura y la resistencia, comparados contra los ríos originales. Los cambios se producen a partir del movimiento y evolución del sedimento transportado por el flujo agua. De igual forma, la estabilidad del canal derivador es extremadamente afectada por la curvatura del canal y la susceptibilidad a la erosión de los materiales del fondo (Brice, 1983; Chang, 1986).

En el caso de canales naturales, el ancho del canal está en función de los esfuerzos cortantes de sus márgenes (Firenzi *et al.*, 2000). Kim *et al.* (2004) demostraron que el comportamiento de las fuerzas de inercia dominante en la formación, la ampliación y el aumento de la pendiente en la morfología del canal derivador, están en función del gasto en avenidas extremas, por ejemplo en el caso de inundaciones. Por su parte Neary *et al.* (2004) señalaron que un canal debería mantener su pendiente hidráulica para eventos de inundación más frecuentes, con gastos iguales o menores que el gasto dominante. Manteniendo así el equilibrio longitudinal del sedimento y asegurar la mitigación de los daños por inundación o asegurar la navegabilidad. Sin embargo, Ramamurthy *et al.*

(2007) indicaron que los flujos secundarios en un canal derivador tienen efectos perjudiciales sobre la estabilidad de los márgenes.

Los canales derivadores alteran el escurrimiento natural de los ríos, y modifican el transporte natural de sedimentos. Como resultado de la deposición de sedimentos sobre el canal derivador, este puede modificar su descarga. Dicho proceso de transporte de sedimentos va íntimamente ligado con la hidrodinámica del sistema, por lo que es esencial conocer cómo se desarrolla el campo de velocidades dentro de la estructura derivadora. Aunque lo ideal sería obtener esta hidrodinámica a través de mediciones de campo, es difícil medir un rango amplio de descargas. Por este motivo se debe recurrir a la simulación numérica. En el siguiente capítulo se comenta en que consiste la modelación numérica y se describe a detalle el modelo numérico utilizado.

CAPÍTULO II. MODELACIÓN NUMÉRICA

2.1 Modelación Numérica

Los modelos numéricos son una herramienta muy útil para entender el comportamiento de los flujos en un canal derivador, (Struiksma *et al.*, 1985). Presentan la ventaja de estudiar las afectaciones e impacto que puede provocar una futura actuación ingenieril, permitiendo la evaluación de diferentes escenarios hipotéticos. Todo ello a un costo temporal y económico relativamente bajo. Existen modelos numéricos desarrollados para estudiar el comportamiento hidráulico de un cauce, en 1, 2 y 3 dimensiones (1D, 2D o 3D, respectivamente); sin embargo, cada uno de ellos se aproximan en mayor o menor detalle a los fenómenos físicos en estudio (Oertel, 2015). En la mayor parte de estudios en ríos, debido a su geometría se emplean las condiciones de flujo unidimensional y régimen permanente gradualmente variado (Helmiö, 2002; Hammersmark *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007). No obstante, cuando existen zonas de recirculación y efectos tridimensionales significativos estos modelos dejan de reproducir adecuadamente el comportamiento físico del sistema. Es aquí cuando los modelos bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) deben ser empleados.

Los modelos 2D, consideran las dos componentes de la velocidad horizontal promediada en profundidad, prediciendo con suficiente aproximación el campo de velocidades en planta. Este tipo de resultados son aplicables para zonas de inundación en planicies y en ríos donde la relación ancho contra tirante es grande. En el caso particular de las derivaciones debido a que el flujo derivado no va en la dirección principal del flujo, deben emplearse modelos 2D. Por lo tanto

en este trabajo se realizó una modelación numérica 2D, con el objetivo de generar el campo de velocidades de una estructura derivadora e identificar las zonas sobre las que se tendría un mayor transporte de sedimentos.

Por la escala de estudio -que involucra cientos de metros-, se utilizó un modelo de simulación numérica bidimensional (2D). La implementación de modelos 2D ha dado lugar a diferentes paquetes comerciales, algunos gratuitos para la simulación de flujos en ríos. En la Tabla 2.1. Se presentan algunos ejemplos de ellos.

Tabla 2.1. Softwares de simulación de flujo de ríos en 2D.

Software	Dimensiones	Fenómenos que modelan	Entorno que trabajan	Costo
HYDRO_AS	2D	Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos - Transporte de contaminantes	Windows	Licencia
MIKE21	2D	Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos - Transporte de contaminantes	Windows	Licencia
TELEMAC	1D, 2D y 3D	Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos	Windows y Linux	Libre
IBER	2D	Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos	Windows	Libre
RIVER 2D	2D	Flujo hidrodinámico Hábitat de peces Evaluación de hielo	Windows	Libre

Todos resuelven las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como 2D Shallow Water Equations (2D-SWE) o ecuaciones de Saint-Venant. Los esquemas numéricos que utilizan para la discretización de las ecuaciones son: métodos de diferencias finitas, métodos de volumen finito y métodos de elementos finitos. Los modelos numéricos basados en

las ecuaciones de aguas someras bidimensionales son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial (Ceá *et al.*, 2007; Constantinescu *et al.*, 2012; Ceá y Bladé, 2015). En esta investigación se eligió el software IBER, por ser un software gratuito y que ha demostrado resultados confiables (Ruiz-Villanueva *et al.*, 2014; Cea y Bladé, 2015; Álvarez *et al.*, 2015).

Modelar numéricamente sin comprobar antes que el modelo numérico reproduce adecuadamente las condiciones reales del cauce es inaceptable. Se debe tener la certeza que los patrones hidrodinámicos obtenidos por el modelo representan adecuadamente el fenómeno físico del sistema. Por ello se requiere hacer una calibración que puede ser contra datos de campo o de laboratorio. En el caso de estudio, se recolectaron datos de campo (velocidades y tirantes) para hacer la calibración del modelo.

2.2. Modelación Numérica con Iber

Iber es un modelo numérico en 2D, que simula flujo turbulento a superficie libre, tanto en régimen permanente como no permanente. Permite el estudio de procesos medioambientales e hidráulica fluvial. El rango de aplicación incluye: la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de mareas en estuarios.

Consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos (Figura 2.1). Todos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

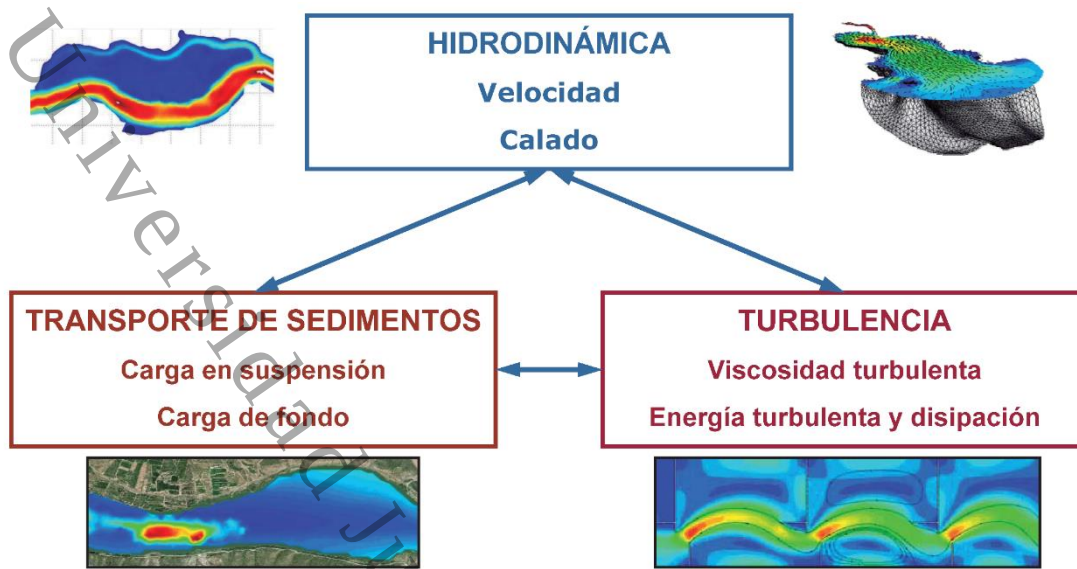


Figura 2.1. Módulo de cálculo en Iber.

En este trabajo se empleó únicamente el módulo hidrodinámico. Este módulo requiere de condiciones iniciales a: los caudales en cada uno de los ríos tributarios de la confluencia en estudio, de la rugosidad, y el nivel de la superficie libre del agua.

2.3. Ecuaciones Hidráulicas en Iber

A diferencia de los modelos unidimensionales (1D) que trabajan con la velocidad media en la sección, y suponen que la dirección del flujo es perpendicular a esta. El módulo hidrodinámico de Iber, trabaja con las dos componentes de la velocidad horizontal promediada en profundidad. Estas componentes se definen como (Ceá y Bladé, 2015):

$$V_x = \frac{1}{h} \int_{z_b}^{z_s} v_x dz \quad V_y = \frac{1}{h} \int_{z_b}^{z_s} v_y dz \quad h = z_s - z_b \quad (2.1)$$

Donde h es el tirante en cada punto del dominio $[m]$, v_x y v_y son las componentes del vector velocidad del flujo $[ms^{-1}]$, V_x y V_y son las componentes promediadas en la profundidad del vector de velocidad del flujo $[ms^{-1}]$, z_s es la elevación de la superficie libre del agua $[m]$ y z_b es la cota del fondo $[m]$.

El modulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad. Dichas ecuaciones se expresan como (Ceá y Bladé, 2015):

Ec. De continuidad

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = 0 \quad (2.2)$$

Ec. De cantidad de movimiento

$$\begin{aligned} \frac{\partial h V_x}{\partial t} + \frac{\partial h V_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h V_x V_y}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + 2\Omega h \sin(\lambda) V_y + \frac{\partial h}{\partial x} \tau_{xx}^e + \frac{\partial h}{\partial y} \tau_{xy}^e \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h V_y}{\partial t} + \frac{\partial h V_y^2}{\partial y} + \frac{\partial h V_x V_y}{\partial x} \\ = -gh \frac{\partial h}{\partial y} - gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + 2\Omega h \sin(\lambda) V_x + \frac{\partial h}{\partial x} \tau_{xy}^e + \frac{\partial h}{\partial y} \tau_{yy}^e \end{aligned} \quad (2.4)$$

en donde g es la aceleración de la gravedad $[ms^{-2}]$, τ_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debido al rozamiento del fondo, ρ es la densidad del agua $[kgm^{-3}]$, Ω es la velocidad angular de rotación de la tierra $[rads^{-1}]$, λ es la latitud del punto considerado, y τ_{xx}^e , τ_{xy}^e y τ_{yy}^e son las tensiones tangenciales efectivas horizontales.

1 Dichas ecuaciones suponen una distribución de presión hidrostática y una distribución relativamente uniforme de la velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios. Asimismo, la hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple habitualmente en ríos y estuarios, aunque pueden existir zonas en las que dicha hipótesis no se cumpla debido a flujos locales tridimensionales o a cuñas salinas. Las ecuaciones pueden además tener en cuenta el efecto de variaciones en la presión atmosférica, así como aportaciones puntuales o distribuidas de caudal.

En la actualidad, los modelos numéricos basados en las ecuaciones de aguas someras bidimensionales son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial y litoral, evaluación de zonas inundables, y cálculo de transporte de sedimentos y contaminantes.

2.4 Entorno de Trabajo en Iber

Para realizar la simulación hidráulica en dos dimensiones se necesita tener una base sólida en: hidráulica, dinámica fluvial y modelización numérica unidimensional. En el caso particular de Iber, este fue creado con fondos públicos del gobierno de España y es de licencia libre. Es un software visual e intuitivo, que tiene tres etapas: a) Preproceso; b) proceso y c) posproceso, a continuación se enlista las características de cada una.

a) PREPROCESO, consiste en:

- Crear o importar una geometría
- Condiciones de contorno, iniciales y rugosidad.
- Mallado de cálculo

b) PROCESO, consiste en:

- Lanzar el cálculo
- Evolución de la simulación

c) POSTPROCESO, consiste en:

- Visualización de resultados

En la Figura 2.2 se muestra el resumen que se debe seguir para la modelación numérica bidimensional utilizando el software Iber 2.4.

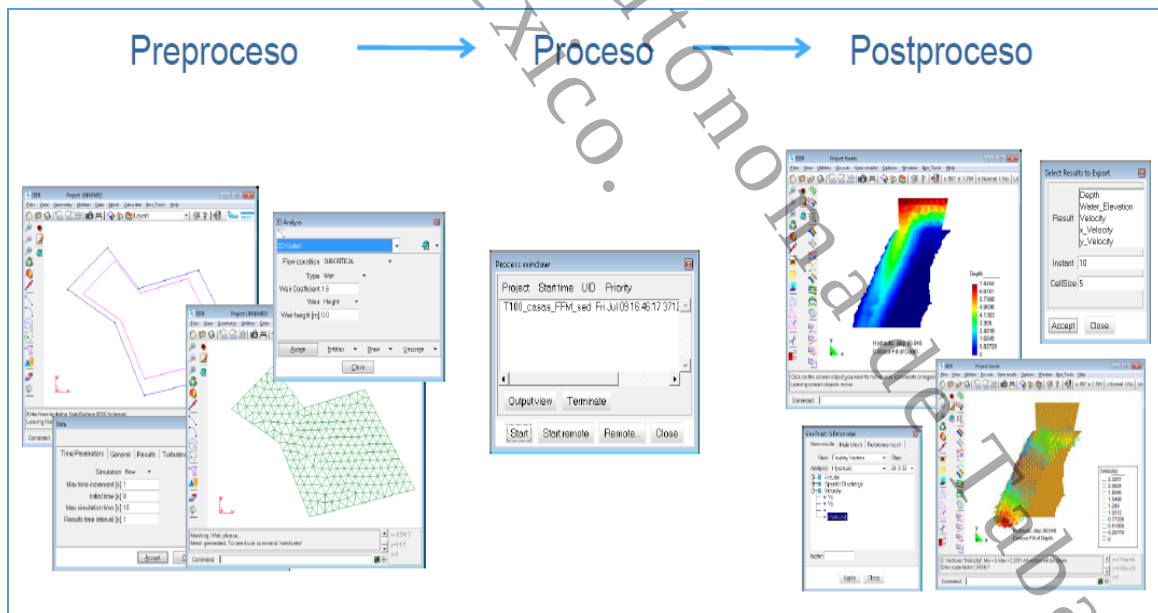


Figura 2.2. Resumen del proceso del modelo numérico.

A continuación, se describen detalladamente el desarrollo de cada etapa.

PREPROCESO

2.4.1 Creación de geometría a modelar

Iber maneja dos conceptos de geometrías para la modelación numérica. La primera son geometrías generadas en el mismo entorno de Iber o prediseñadas con softwares de diseño estructural (autocad). La segunda son geometrías de modelos digitales de elevaciones (MDE) que son diseñadas con softwares de sistemas de información geográficas (arcgis). En ambos casos los datos pueden ser propuestos u obtenidos en campo. En este trabajo se utilizó un modelo digital de elevación para la generación de la geometría a partir de datos obtenidos en campo. En la Figura 2.3 se muestra los formatos que utiliza Iber para la modelación numérica.

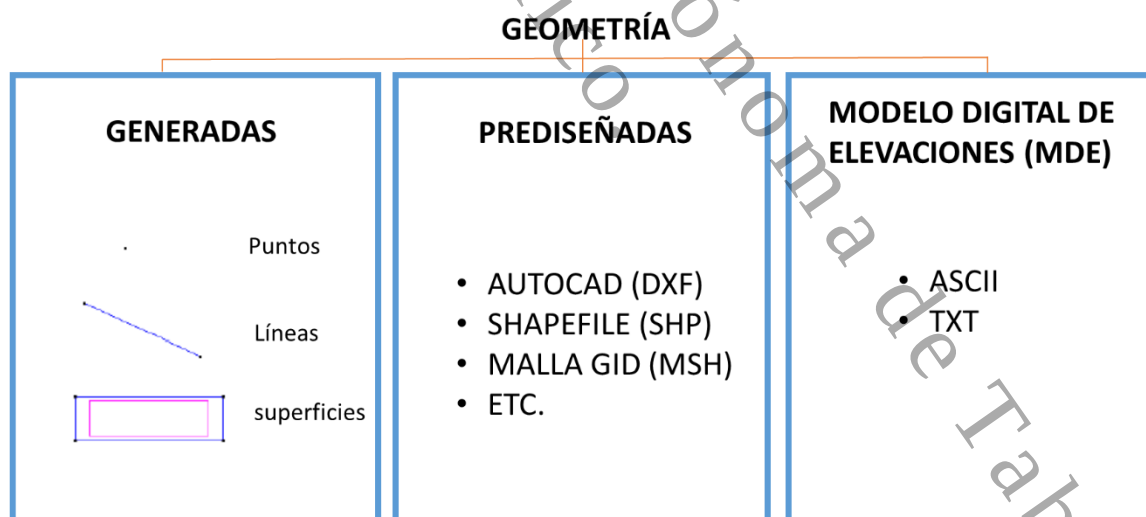


Figura 2.3. Formatos de diseño de geometría generadas, prediseñadas y de los modelos digitales de elevación.

2.4.2 Condiciones de contorno, iniciales y rugosidad

Condiciones de contorno

En un problema bidimensional es necesario distinguir entre dos tipos de contornos: abiertos y cerrados. Los contornos cerrados, también llamados contornos de tipo pared, son impermeables, no permitiendo el paso del fluido a través de ellos. En los contornos abiertos se pueden imponer diferentes tipos de condiciones de contorno y es utilizado en ríos. En este trabajo solo nos enfocaremos en las condiciones de contorno abiertos.

Para que las ecuaciones de aguas someras bidimensionales estén bien planteadas desde el punto de vista matemático, el número de condiciones a imponer en los contornos abiertos depende de si se trata de un contorno de entrada o de salida de flujo, así como del tipo de régimen en el contorno (rápido/lento).

Para condiciones de contorno de entrada si el régimen es supercrítico se necesitan o imponer tres condiciones (una para cada una de las tres ecuaciones de St.Venant). Para el caso de ríos con régimen subcrítico es suficiente con imponer dos condiciones. Para la condiciones de salida para ríos con régimen subcrítico es suficiente con imponer una sola condición, mientras que no es necesario imponer ninguna condición si el régimen es supercrítico. En este trabajo se utilizaron las condiciones de contorno de entrada caudal total para ríos con régimen subcríticos y las condiciones de salida con régimen subcrítico con curva de gasto elevación. En la Tabla 2.2 se muestran las condiciones de entrada y salida para los contornos abiertos que acepta Iber.

Tabla 2.2. Condiciones de contorno implementadas en los contornos abiertos

Contorno	Régimen	Condición
Entrada	Subcrítico / crítico	Caudal total en dirección normal al contorno
	Supercrítico	Caudal total en dirección normal al contorno y velocidad media
	Subcrítico / crítico	Caudal específico en dirección normal al contorno
	Supercrítico	a) Caudal específico en dirección normal al contorno y calado b) Caudal específico en dirección normal al contorno y cota de agua
Salida	Subcrítico	a) Calado b) Cota de agua c) Vertedero (cota y coeficiente de descarga) d) Curva de gasto
	Subcrítico / crítico	No es necesario imponer ninguna condición

Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales del problema en el entorno Iber son aplicable a todo el dominio del modelo numérico. Estas se pueden aplicar en dos formas. La primera se refiere a la cota del agua, esto implica que al momento de modelar existe ya un nivel de agua asignado y es útil para contornos cerrados. La opción dos hace referencia al calado del agua, aquí el nivel del agua inicia desde cauce del canal hasta una lámina de agua asignada en las condiciones de contorno, lo que permite la evolución del flujo del agua en el modelo numérico y es más aplicable a contornos abiertos.

Rugosidades

La rugosidad cumple un papel fundamental en el modelo, y es necesario fijarla antes de poder lanzar el cálculo. En Iber, incluso, sin un valor de rugosidad

de referencia asignado en la malla, este no podría realizar algún tipo de simulación. Inicialmente debe tenerse en cuenta que la rugosidad en canales naturales y zonas de aportación tiene dos componentes importantes, la rugosidad de grano (irregularidades de las paredes o tamaño del sedimento de fondo como tal), y la rugosidad de la vegetación, que en términos de parámetros morfométricos se traduce en la fuerza de arrastre y la viscosidad.

En Iber la rugosidad se asigna a través de un coeficiente de rugosidad de Manning para un tipo determinado de superficie, que se puede obtener, por ejemplo, de las tablas existentes en la literatura o con datos obtenidos en campo. La asignación de la rugosidad se puede dar de dos formas: a) una sola rugosidad para toda la geometría, con el inconveniente que considerar una rugosidad constante en el tiempo, puede derivar en inconsistencias en la distribución de flujo (Chow, 1959). b) asignar diferentes rugosidades a la geometría en función del material encontrado en el área de estudio, esta opción sería la adecuada para el modelo numérico, sin embargo el costo en recurso y tiempo es considerable. En este trabajo se consideró solo una rugosidad para toda la geometría del modelo numérico. En la Figura 2.4 se muestra las rugosidades de Manning predeterminados en el programa Iber.

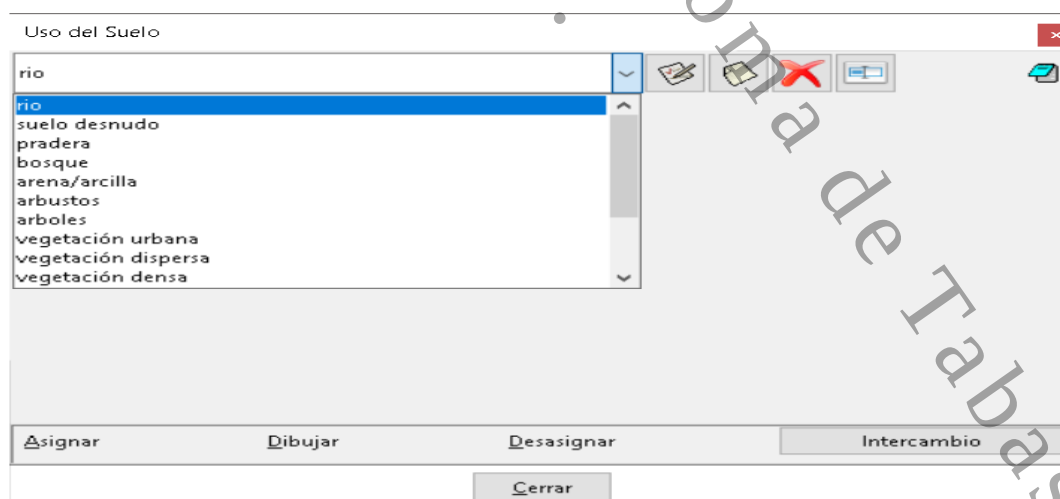


Figura 2.4. Coeficiente de rugosidad de Manning predeterminados en el entorno Iber.

2.4.3 Mallado de cálculo

En los modelos numéricos, los cálculos de transporte de flujos superficiales y subterráneos se realizan a nivel de celdas, aplicando la resolución de las ecuaciones de Saint Venant a través de esquemas de volúmenes finitos. De esta manera es muy importante la concepción y tratamiento de cada una de las celdas a través del mallado del terreno en estudio, sin embargo no todos los conceptos hidráulicos mantienen la misma importancia en el mallado, es decir las zonas del cauce de río que no presenten topografías irregulares por ende el curso del agua no generaran aumentos representativos de calado, por tal motivo el efecto de transporte y tránsito de crecientes es poco representativo en los resultados del modelo hidrodinámico. Por el contrario, las zonas donde la topografía acoge toda la importancia en el transporte del flujo es necesaria la aplicación a detalle de las ecuaciones de Saint Venant, para lograr su adecuada caracterización.

1 Iber implementa dos tipos de malla: estructurada o no estructurada. En cualquiera de los dos casos se necesita aplicar un valor al error cordal. El concepto de error cordal es importante ya que determina el distanciamiento medio entre la curva topográfica y el límite del elemento finito. En mallas estructuradas los errores cordales son representativos debido a que el tamaño de las celdas es mayor pero generan un menor número de elementos de malla y mayor rapidez en los rendimientos del modelo. Para mallas no estructuradas el error cordal menor obteniendo una mayor precisión y adaptación al terreno, pero seguramente se generarán tamaños de celda menores aumentando los tiempos de simulación. En la Figura 2.5 se muestra una comparativa entre las mallas estructuradas y no

estructuradas respecto al error cordal. En este trabajo se implementó el mallado no estructurado para el terreno en estudio.

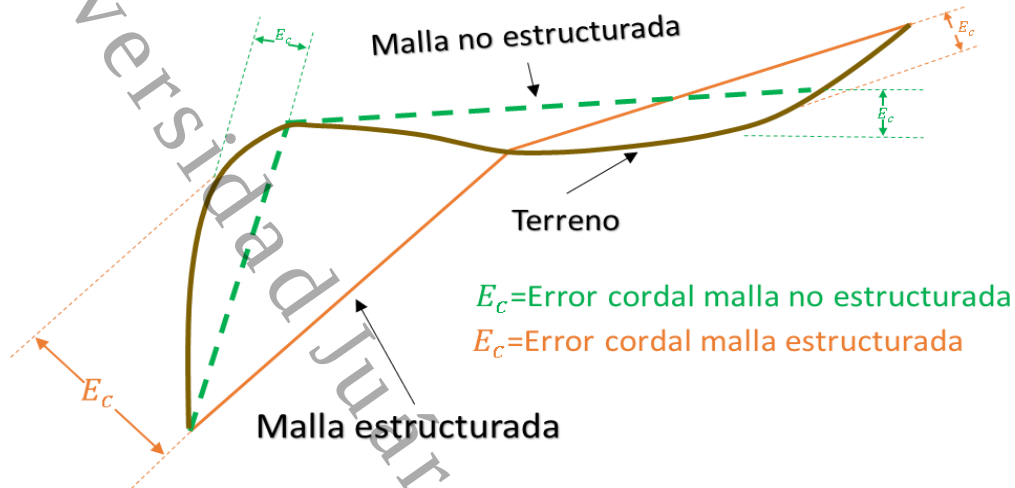


Figura 2.5. Representación comparativa de mallas estructuradas y no estructuradas respecto al error cordal.

PROCESO

Para lanzar un cálculo del modelo numérico en Iber, se deben fijar los parámetros de cálculo, o datos del problema, mediante las distintas pestañas del menú “*Datos > Datos del problema*” (Figura 2.6). En datos de problema solo se toma en cuenta el tiempo máximo de procesamiento del modelo numérico, los intervalos de tiempo de resultados, el número de procesadores, el esquema numérico de primer orden (procesamiento más rápido) y la selección de resultados como: calado, velocidad, caudal específico, cota del agua y número de Froude.

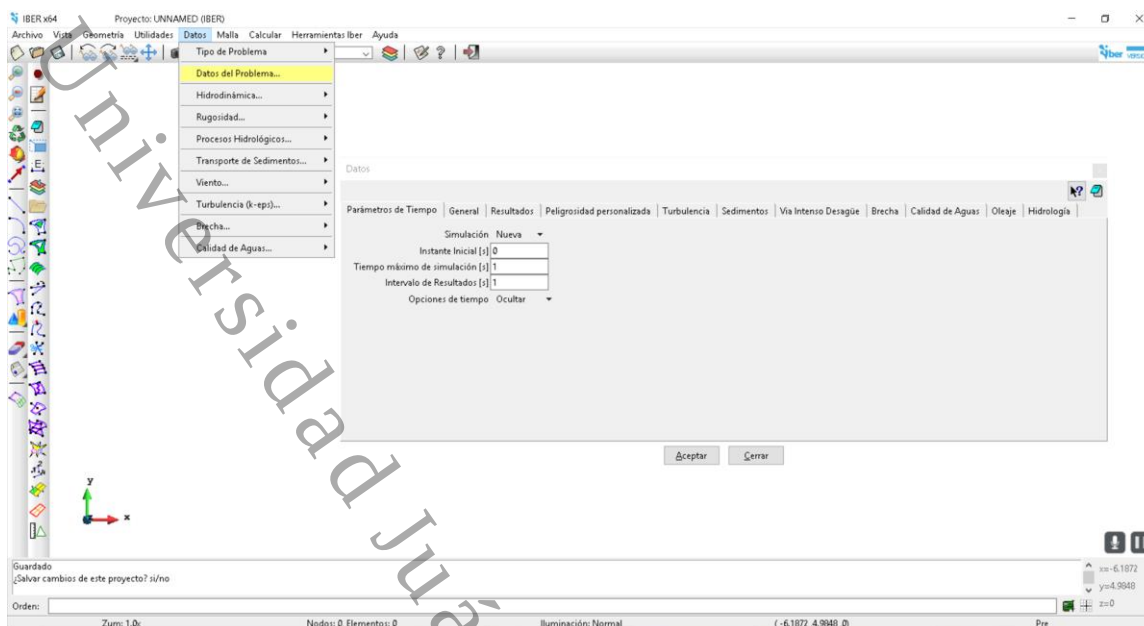


Figura 2.6. Datos del problema en el entorno Iber.

El cálculo se lanza con el menú *Calcular*. A través de este menú es posible lanzar directamente el cálculo ("*Calcular > Calcular*") o acceder a la ventana de cálculo ("*Calcular > Ventana de cálculo*"). Esta segunda opción permite tener un mejor control del proceso de cálculo, o acceder al archivo que muestra el estado del proceso (*Botón Ver salida*), mientras el cálculo se está ejecutando.

La ventana de información del proceso también se abre, durante el proceso o cuando éste ha finalizado, con el menú "*Calcular > Ver información del proceso*". Es conveniente consultar dicha información para detectar posibles avisos de errores. En la Figura 2.7 se muestra las ventanas de la evolución del modelo numérico, así como, los resultados a medida que se van calculando, sin esperar a que termine el cálculo.

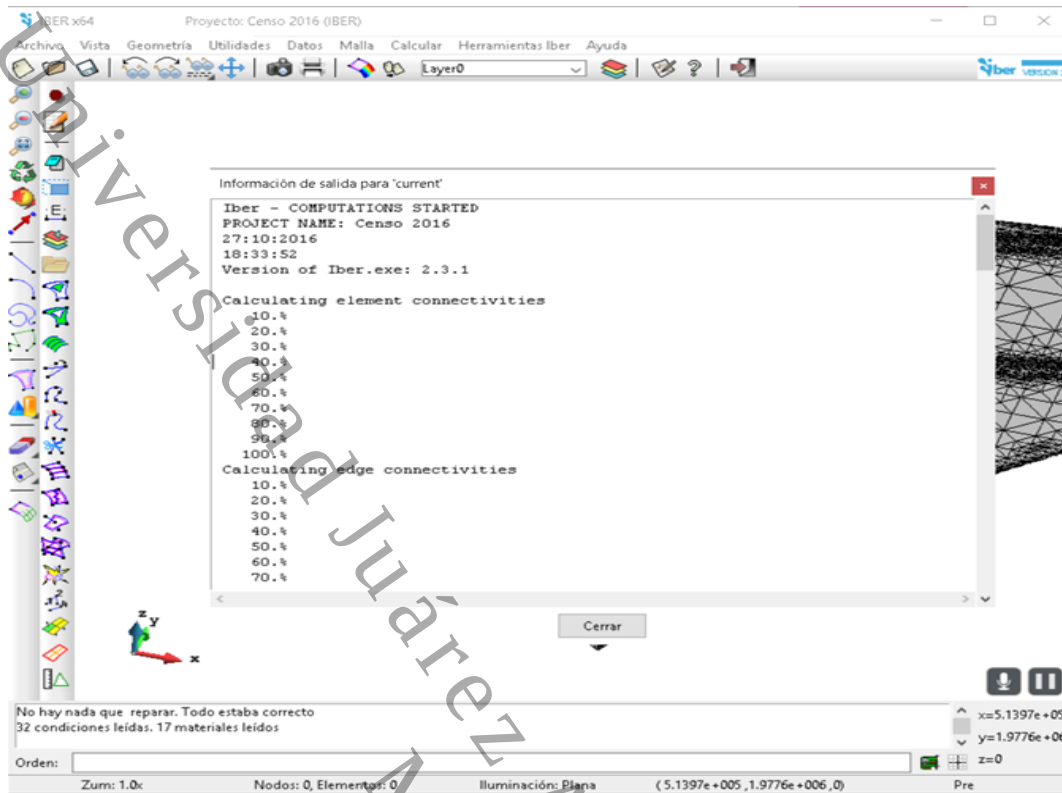


Figura 2.7. Ventana del software Iber que muestra la evolución del cálculo del modelo numérico.

POSTPROCESO

Iber dispone de diferentes opciones para visualizar y analizar los resultados, personalizar los colores, asignar leyendas, mostrar etiquetas de valores, entre otras. Una opción para visualizar resultados es mediante el menú “Ventana > ver resultados”. La ventana que se abre permite acceder a los distintos grupos de resultados (o Análisis) que se pueden visualizar en cada instante de tiempo, como áreas coloreadas, áreas coloreadas suavizadas, o vectores (Figura 2.8). Iber permite exportar los resultados obtenido por el modelo numérico formato raster para un análisis más detallado con software de sistema de información geográfica.

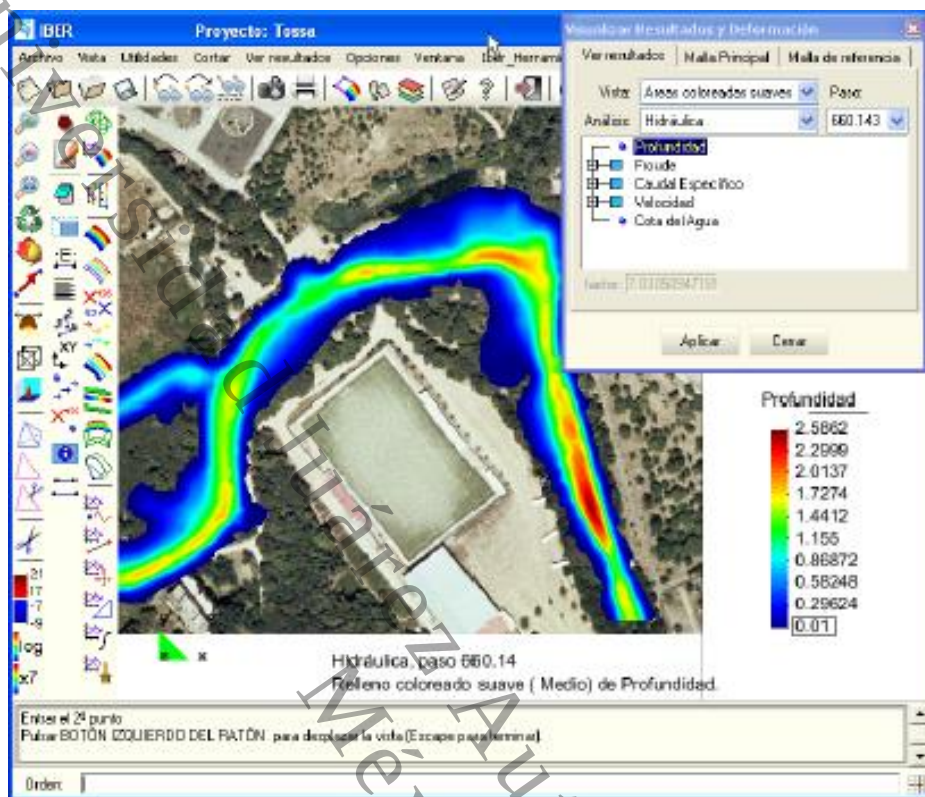


Figura 2.8. Ventana de resultados del modelo numérico Iber.

Finalmente la calibración de los modelos numéricos se debe realizar con datos obtenidos en campo, para tener la certeza de los resultados del modelo. Es a partir de la validación del modelo numérico que se realizan diferentes corridas de condiciones de gastos para obtener los campos de velocidades.

Este estudio tiene por objeto analizar el campo de velocidades generado por una estructura derivadora que estuviera en función y tuviera las características idóneas para su simulación. Por este motivo se seleccionó como sitio de estudio, la estructura derivadora El Censo, en el estado de Tabasco, México. En el capítulo III se describe a detalle la estructura y sus características.

CAPITULO III CASO DE APLICACIÓN: OBRA DERIVADORA EL CENSO.

3.1 Localización

Se analizó el comportamiento hidrodinámico de la obra derivadora “El Censo”, ubicada en el Municipio de Centro, Tabasco (Figura 3.1). Esta obra se encuentra ubicada en la margen derecha del río La Sierra, en las coordenadas 17.8653° LN y -92.8689° LW y tiene un fácil acceso por carretera. Su función es derivar parte del caudal transportado por el río La Sierra y que se dirige a la ciudad de Villahermosa, Tabasco que es susceptible a sufrir inundaciones. La estructura tiene un gasto de diseño de $441.00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, la cota de agua en la que inicia a derivar el canal es la 5.5 msnm y su cota máxima es de 7.3 msnm. Tiene una longitud de 200 m (Figura 3.2) y ha mostrado evidencia de ser una gran aportadora de sedimentos (Figura 3.3).

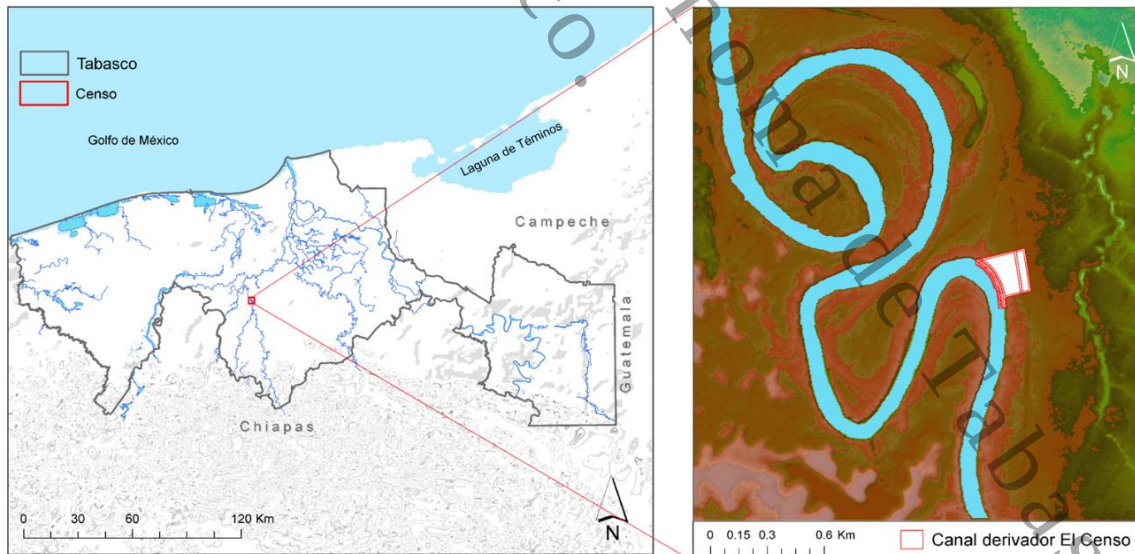


Figura 3.1. Localización del canal derivador El Censo.



Figura 3.2. Canal derivador el Censo, en la margen derecha del río la Sierra.



Figura 3.3 Sedimentos depositados en la margen derecha del canal derivador El Censo

3.2 Generación de Topografía y Medición Hidrodinámica

Los datos topográficos se obtuvieron de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en formato de curvas de nivel a cada 5 m. La generación de la batimetría del río La Sierra, fue parte de este trabajo y para ello se empleó un perfilador acústico Doppler (ADCP), marca RiverRay de la marca Teledyne, que trabaja a una frecuencia de 600 kHz, conectado a un sistema diferencial de posicionamiento global (DGPS) y montado en una embarcación (Figura 3.4). Se levantaron 16 secciones transversales sobre el río La Sierra, con una separación aproximada de 50 m entre cada una como se muestra en la Figura 3.5.



Especificaciones	RiverRay
Frecuencia	600 kHz
Ángulo de haz	30°
Rango de operación	0.40 – 60 m
Tamaño de celda	Selección automática*
Blanking	0.25

* 0.10 m mínimo

Figura 3.4. Equipo Doppler RiverRay.

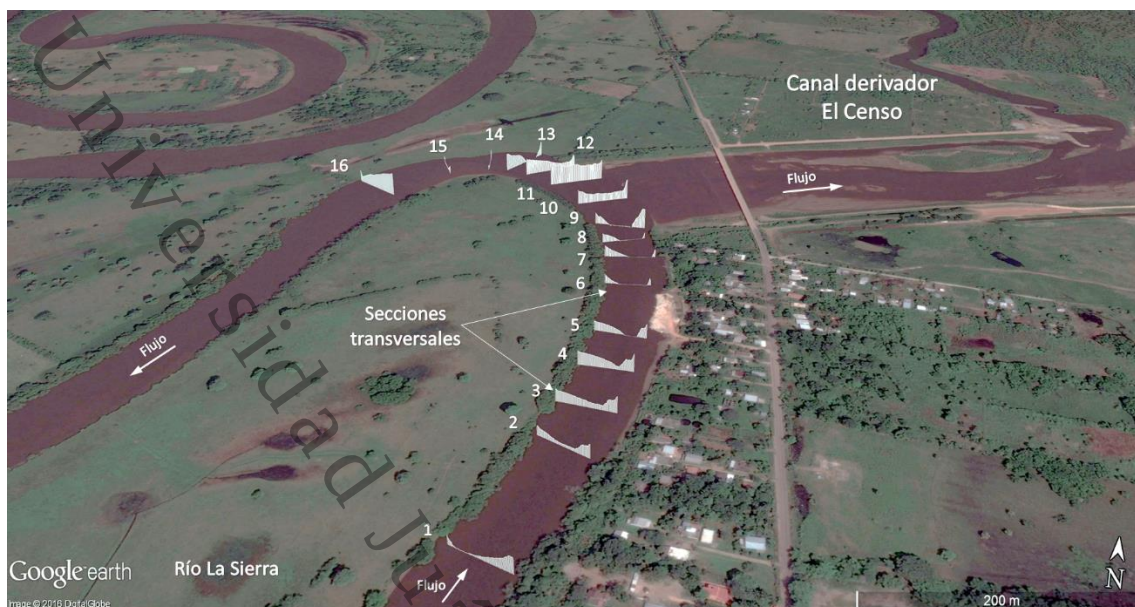


Figura 3.5. Esquema de secciones transversales sobre canal derivador El Censo.

El procesamiento de los datos batimétricos e hidrodinámicos medidos por el ADCP se hizo con el software Winriver II®, que es el de operación del equipo (Figura 3.6). Adicionalmente a partir de los datos crudos, se creó un archivo de Excel®, donde se clasificaron los datos de la siguiente manera: a) la posición geográfica de cada vector velocidad, b) profundidad en la cual se midió cada vector, c) la distancia transversal medida entre cada vector y d) las componentes de velocidad del flujo (Tabla 3.1). A partir de esta información clasificada, se desarrolló un algoritmo en una hoja de Excel® donde se realizó el proceso de filtrado de la hidrodinámica, secciones transversales y batimetría. En el procesamiento y la visualización del campo de velocidades se emplearon los softwares Excel® con Visual Basic® y Tecplot®.

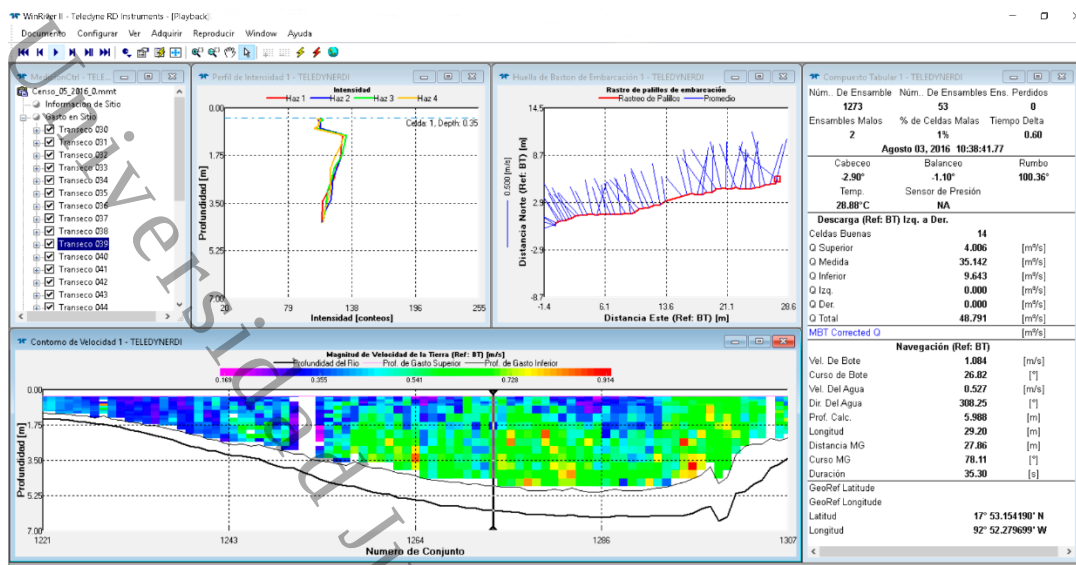


Figura 3.6. Ventana de trabajo del software WinRiver II.

Tabla 3.1. Datos procesados en hojas de trabajo de software Excel.

Posición geográfica		Sección transversal		Componentes del vector velocidad	
UTM X (m)	UTM Y (m)	Distancia X (m)	Elevación de fondo (m)	Velocidad X (m)	Velocidad Y (m)
513851.817	1976837.16	0	-2.763581742	0.129730164	0.146115816
513892.953	1976966.09	0	-3.092429463	0.164688337	0.209291097
513910.291	1977029.59	0	-2.718324257	0.222127211	0.210405632
513850.996	1976837.53	0.9	-2.746070809	0.098409218	0.27532219
513892.169	1976966.53	0.9	-3.209040704	-0.263463657	0.077011557
513909.416	1977029.8	0.9	-2.931533894	0.161708409	0.104354447
513920.057	1977094.68	0.9	-2.940687227	0.01891881	0.393358145
513929.015	1977154.44	0.9	-2.591894809	0.040263199	0.258488734
513927.967	1977263.31	0.9	-3.467326617	-0.086641667	0.18495
513930.211	1977331.05	0.9	-3.475478643	-0.00804351	-0.035119254
513850.174	1976837.89	1.8	-2.769383417	0.112657647	0.253219704
513891.386	1976966.97	1.8	-3.440604649	0.116086531	0.338114527
513908.541	1977030.01	1.8	-3.27084943	0.02611307	0.281750875
513919.168	1977094.82	1.8	-3.256285081	0.250220931	0.336195322
513928.135	1977154.63	1.8	-2.867320034	0.115863728	0.315295852
513849.353	1976838.26	2.7	-2.730496146	-0.050793222	0.38256408
513890.603	1976967.42	2.7	-3.49482018	-0.034793896	0.251398147
513851.817	1976837.16	2.7	-2.763581742	0.129730164	0.146115816
513892.953	1976966.09	2.7	-3.092429463	0.164688337	0.209291097
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

3.2.1 Batimetría

Con las curvas de nivel del canal derivador proporcionada por la CONAGUA y los datos de profundidad del río La Sierra obtenidos por el ADCP, se generó la batimetría de la zona. Los datos de elevación de las curvas de nivel del canal y

los datos de profundidad medidos en el río, se transformaron a metros sobre el nivel del mar (msnm), garantizando así la misma referencia y una correcta escala geográfica de la zona de estudio. En la Figura 3.7 se muestra el modelo digital de elevaciones (MDE) del relieve del fondo del cauce de un río y del canal derivador.

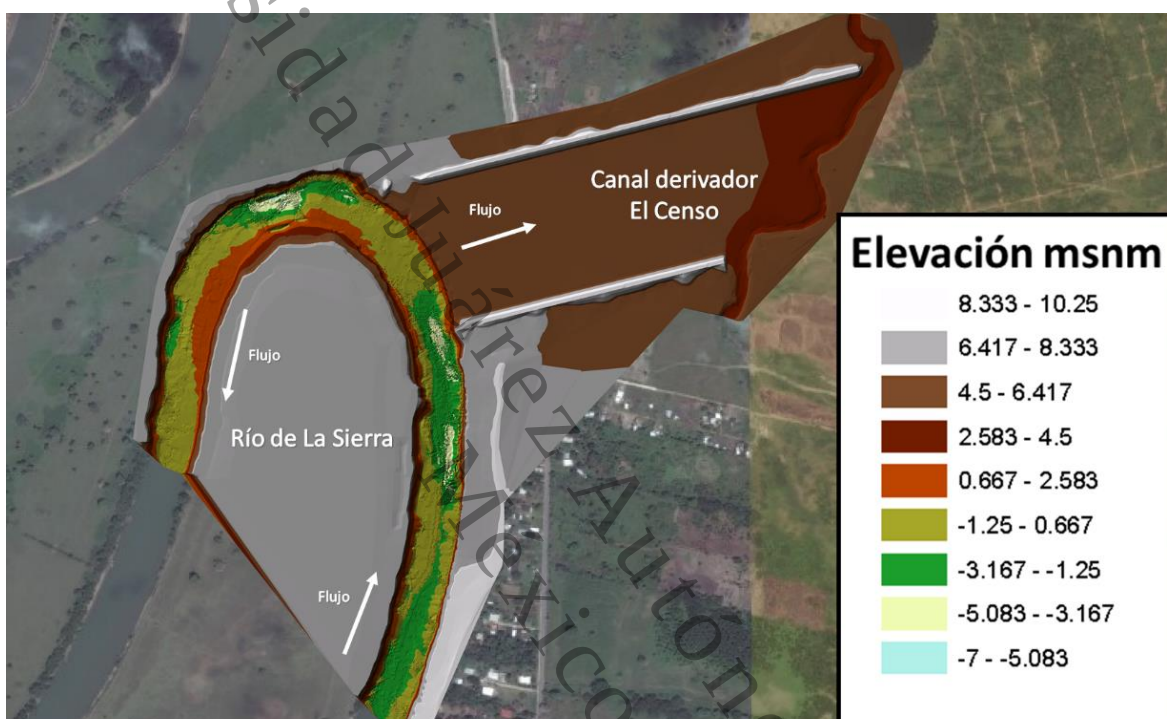


Figura 3.7. Batimetría del río La Sierra y canal derivador el Censo.

3.2.2 Hidrodinámica del río La Sierra

Con la finalidad de entender el funcionamiento hidrodinámico en el río La Sierra y el canal derivador, es importante construir una representación del campo de velocidades en la dirección principal del flujo. En este sentido, el ADCP permite generar de forma casi directa estos vectores de velocidad. En particular las velocidades en planta son las que permiten visualizar la trayectoria de las líneas de flujo. La graficación de la magnitud de estas velocidades será útil para calibrar y validar el modelo numérico. En la Figura 3.8a se muestran los vectores de la

velocidad en planta y en la Figura 3.8b las magnitudes de las velocidades en planta para las condiciones de caudal medidas por el ADCP.

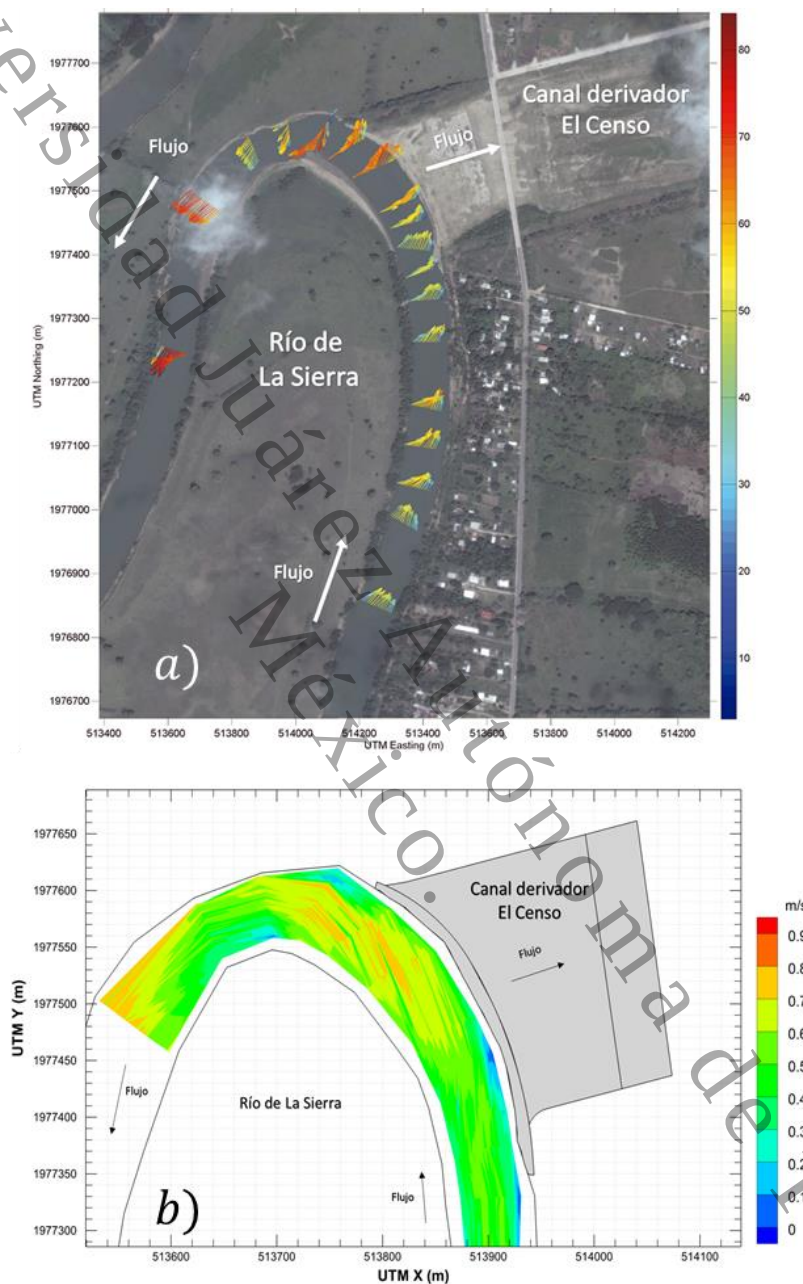


Figura 3.8. a) Vector de velocidad en planta del río La Sierra b) Magnitud de velocidad en planta del río La Sierra.

Si bien el ADCP permite medir las velocidades tridimensionales en ríos, en este trabajo sólo consideramos las velocidades promediadas en la vertical, ya que estas permiten visualizar las trayectorias del flujo sobre el cauce. La graficación de la magnitud de estas trayectorias y velocidades medidas, se emplearon en la calibración y validación del modelo numérico.

3.3 Generación de Modelo Numérico y Simulación de Escenarios

El software Iber, consta de tres módulos de cálculo: a) un módulo hidrodinámico, b) un módulo de turbulencia y c) un módulo de transporte de sedimentos (Iberaula.es, 2015). Trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares. En el caso particular del módulo hidrodinámico empleado, este requirió como datos de frontera a la batimetría; y como condiciones iniciales, al caudal, la rugosidad y la superficie libre del agua. Fue a partir de la batimetría obtenida que se creó la malla donde se genera la triangulación de volúmenes finitos (Figura 3.9)

Se modelaron dos condiciones de gasto en la zona. En el primero, se simuló la condición de gasto medida por el ADCP en el río La Sierra; la segunda, fue con el gasto obtenido en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo, que se ubica sobre el río La Sierra, 2.25 km aguas arriba de la estructura derivadora. En la Tabla 3.2, se resumen estas condiciones.



Figura 3.9. Mallado no estructurado (triangulación de volúmenes finitos) generado por programa Iber 2.4 del río La Sierra y canal derivador El Censo.

Para las condiciones iniciales del modelo numérico se tomó la opción de calado cero, esto permitió observar la evolución de la lámina de agua hasta las cotas mostrada en la Tabla 3.2. Se asignó una rugosidad conocida para ríos de planicie, esta se fue modificando hasta que las velocidades fueran aproximadas a las velocidades medidas en campo. La rugosidad estimada fue de 0.031.

Tabla 3.2. Escenarios modelados

Contorno	Régimen	Condición	
Entrada	1er. escenario Caudal total	Subcrítico / crítico	Caudal total
			Tiempo (s)
			$Q(m^3s^{-1})$
	2do. escenario Caudal total	Subcrítico / crítico	0
			109.00
			8000
Salida	1er. escenario Río La Sierra	Subcrítico	Caudal total
			Tiempo (s)
			$Q(m^3s^{-1})$
	2do. escenario Río La Sierra	Subcrítico	0
			501.36
			8000
	2do. escenario Canal derivador EL Censo	Subcrítico	Caudal total
			Tiempo (s)
			$Q(m^3s^{-1})$
			0
			501.36
			8000

3.4 Modelación de la hidrodinámica para las dos condiciones de gastos.

Las magnitudes de las velocidades obtenidas por la modelación numérica para los dos escenarios establecidos se muestran en las Figuras 3.10 a) y b). El campo vectorial generado por el modelo numérico y las tendencias de las líneas de corriente para la condición donde el canal derivador está vertiendo se muestra en la Figura 3.11 y 3.12.

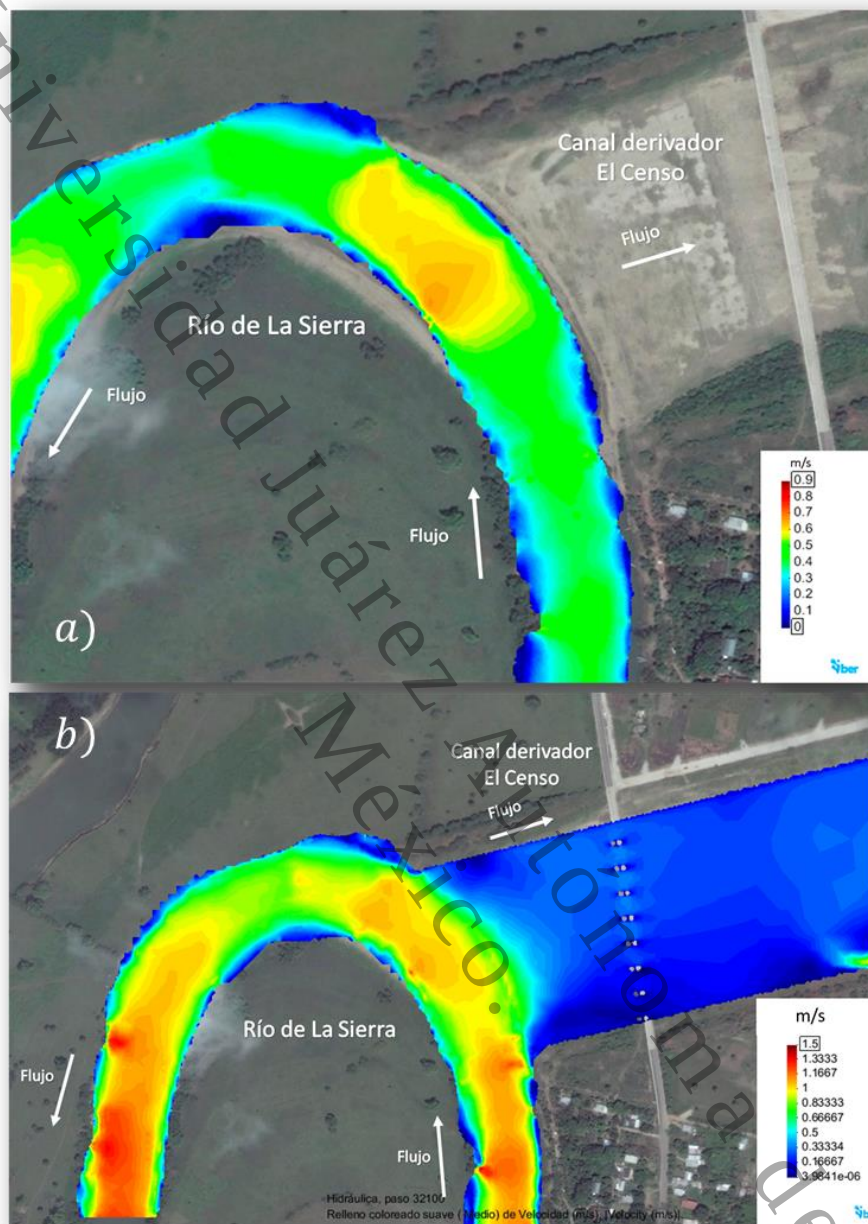


Figura 3.10. a) Modelo numérico del río La sierra en condición de gasto de $Q = 109.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ b) Modelo numérico del río La sierra – Canal derivador en condición de gasto de $Q = 501.36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

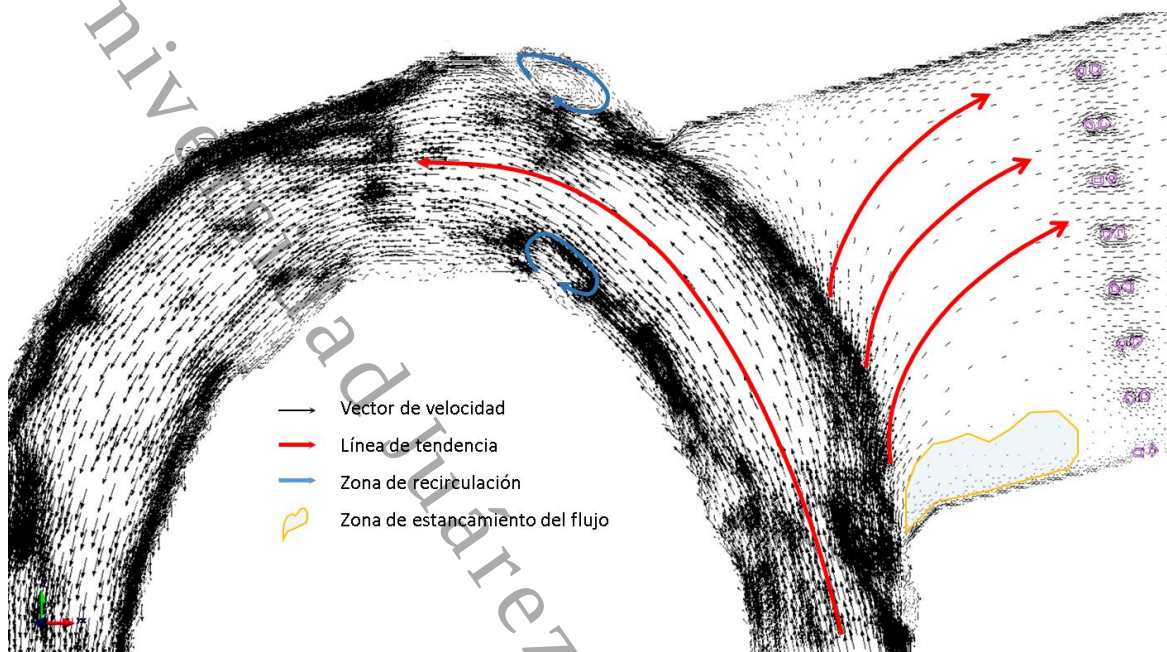


Figura 3.11. Campo vectorial de velocidad generado por la modelación numérica.

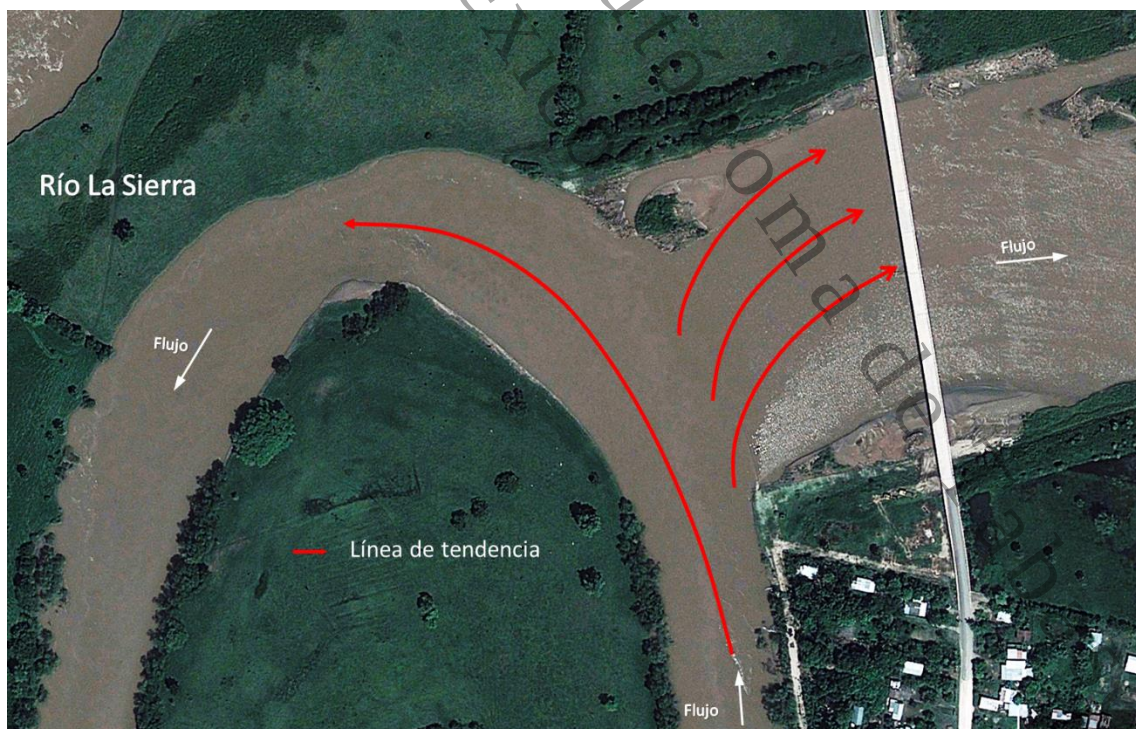


Figura 3.12. Línea de tendencia del flujo en el río La Sierra y el canal derivador El Censo.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

Se encontró que las velocidades medidas en planta con el ADCP y las generadas con el modelo numérico fueron similares (Figuras 3.8b y 3.10a). Las máximas velocidades obtenidas por el equipo acústico oscilan entre 0.7 ms^{-1} y 0.8 ms^{-1} y las del modelo numéricos muestran velocidades máxima de 0.6 ms^{-1} a 0.7 ms^{-1} teniendo una diferencia de 0.1 ms^{-1} . En el caso de la modelación sobre el canal derivador, se encontró una elevación de 6.30 msnm , que comparada con la medición en campo tiene una diferencia de 0.12 m ; es decir, el modelo numérico reproduce con exactitud del 90% la condición medida. Dada la bidimensionalidad y tridimensionalidad de los efectos que se generan en la estructura derivadora, concluimos que el modelo numérico representa adecuadamente el funcionamiento de la estructura. Las líneas de tendencia, marcan los ejes de acarreo de sedimentos. Se observa en las Figuras 3.11 y 3.12, una entrada franca al canal derivador por la margen izquierda, con bajas velocidades y zonas de depósito en la margen derecha. Contrastando contra la Figura 3.3, donde se aprecia una gran cantidad de sedimento depositado sobre la margen derecha, el siguiente paso es medir el transporte de sedimentos y relacionarlo contra las descargas del canal y generar un sedimentograma. Será a partir de éste que puede emplearse el módulo de transporte de sedimentos de Iber y calibrarlo contra datos medidos en campo. Una vez logrado esto se estará en condiciones de evaluar la tasa de depósito de sedimentos hacia la zona de descarga.

REFERENCIAS

- Álvarez A., Bermúdez J., Cea M., Suárez L., Ures J., & Puertas J., (2015). Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). Ingeniería del agua, 19(2), 105-116. doi:http://dx.doi.org/10.4995/ia.2015.3648.
- Allison, M. A. & Meselhe, E. A. (2010). The use of large water and sediment diversions in the lower Mississippi River (Louisiana) for coastal restoration. Journal of Hydrology, 387(3), 346-360.
- Brice, J. C. (1983). Factors in stability of relocated channels. Journal of Hydraulic Engineering, 109(10), 1298-1313.
- Cea, L., Puertas, J. and Vázquez-Cendón, M.E. (2007) "Depth averaged modelling of turbulent shallow water flow with wet-dry fronts". Archives of Computational Methods in Engineering, State of the art reviews, Vol.14 (3).
- Cea, L. & Bladé, E. (2015); A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications, Water Resour. Res., 51, 1944-7973, 10.1002/2014WR016547
- Chang, H. H. (1986). River Channel Changes: Adjustments of Equilibrium. Journal of Hydraulic Engineering, 112(1), 43-55.
- Chow, V. (1959). Open channel hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Inc; New York.
- Constantinescu, G., S. Miyawaki, B. Rhoads, & A. Sukhodolov (2012), Numerical analysis of the effect of momentum ratio on the dynamics and sediment-entrainment capacity of coherent flow structures at a stream confluence, J. Geophys. Res., 117, F04028, doi:10.1029/2012JF002452.
- Dagg, M., Bianchi, T., Breed, G., Cai, W.-J., Duan, S., Liu, H., McKee, B., Powell, R. & Stewart, C., (2005). Biogeochemical characteristics of the lower Mississippi River, USA during June 2003. Estuaries 28, 664–674.

- Demas, C.R. & Curwick, P.B., (1987). Suspended-sediment, bottom-material, and associated chemical data from the lower Mississippi River, Louisiana. Basic Records Report #14. USGS, Louisiana Department of Transportation and Development, Baton Rouge, Louisiana, 117 pp.
- Firenzi A. L., Watson C. C., & Bledsoe B. P. (2004). Stable Channel Design for Mobile Gravel Bed Rivers. Building Partnerships, 1-9.
- Hammersmark C.T., Fleenor W.E. & Schladow S.G. (2005) Simulation of flood impact and habitat extent for a tidal freshwater marsh restoration. Ecol Eng 25:137–152. doi:10.1016/j.ecoleng. 2005.02.008.
- Helmiö, T., (2002). Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains. Journal of Hydrology 269 (1e2), 89e99.
- Kim C. W., Woo H., Kim, W., Lee D. H., & Yoon K. S. (2004). Re-channelization of Stream Channels Affected by an Extreme Flood due to the 2002 Typhoon Rusa in Korea. Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management, 1-10.
- Neary V. S., Williams P., & Goodwin P. (2004). A geomorphic channel design for Napa River. Engineering Approaches to Ecosystem Restoration, 995-1000.
- Oerted M. (2015), Numerical Modeling of free-surface flows in practical applications. Springer, P. Rowinski & A. Radeck-Pawlik, (eds.), Rivers-physical, fluvial and environmental processes, GeoPlanet. DOI 10.1007/978-3-319-17719-9_8.
- Ramamurthy A. S., Qu J.Y. & Vo D. (2007). Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows. Journal of Hydraulic Engineering, 133(10), 1135-1144.
- Ruiz-Villanueva V., Bladé E., Sánchez-Juny M., Martí-Cardona B., Díez-Herrero E. & Bodoque J., (2014). Two-dimensional numerical modeling of wood transport, Journal of Hydroinformatics Sep 2014, 16 (5) 1077-1096; DOI: 10.2166/hydro.2014.026.

Struiksmá N., Olesen W., Flokstra C. & Dr. H. J. De Vriend (1985) Bed deformation in curved alluvial channels, *Journal of Hydraulic Research*, 23:1, 57-79, DOI:10.1080/00221688509499377.

Yuill, B. T., Khadka, A. K., Pereira, J., Allison, M. A., & Meselhe, E. A. (2016). Morphodynamics of the erosional phase of crevasse-splay evolution and implications for river sediment diversion function. *Geomorphology*, 259, 12-29.

Xu, M., Chen, L., Wu, Q., & Li, D. (2016). Morph-and hydro-dynamic effects toward flood conveyance and navigation of diversion channel. *International Journal of Sediment Research*, 31(3), 264-270.

Wang GT, Yao C, Okoren C. & Chen S. (2006) 4-Point FDF of Muskingum method based on the complete St Venant equations. *J Hydrol (Amst)* 324(1-4):339-349. doi:10.1016/j.jhydrol. 2005.10.010.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TABASCO.

ANEXO A



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
ACADEMIA DE INGENIERÍA CIVIL

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco a través de la
División Académica de Ingeniería y Arquitectura

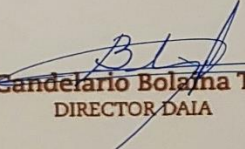
Otorgan la presente:

CONSTANCIA

AL: ING. MARCOS GARCÍA REYES

Por su participación como Ponente
con el tema: "Simulación numérica de la
hidrodinámica en la obra de derivación
El Censo del municipio de Centro"
dentro del marco de actividades del
**Foro Nacional de Ingeniería:
Civil-Mecánica-Química-Eléctrica**
del 15 al 17 de Marzo del 2017

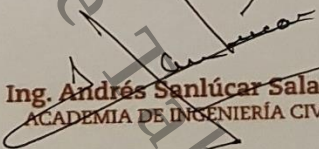
Cunduacán, Tabasco a 17 de Marzo de 2017



Dr. Candelario Bolama Torres
DIRECTOR DAIA



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**
DIVISIÓN ACADÉMICA DE
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN



Ing. Andrés Sanlúcar Salazar
ACADEMIA DE INGENIERÍA CIVIL

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

Respuesta - Congreso Nacional de Hidráulica

amh ponencia<ponenciascongreso2017@gmail.com>

AP



Responder |

jue 19/01, 05:22 p.m.

Usted

Reenviaste este mensaje el 02/02/2017 12:59 a.m.

García Reyes Marcos

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA HIDRODINAMICA EN LA OBRA DE DERIVACIÓN, EL CENSO, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO

¡Felicitaciones! Tras una cuidadosa revisión por el Comité Técnico, le informamos que su resumen ha sido aceptado y seleccionado para su presentación oral en el XXIV Congreso Nacional de Hidráulica.

Esperamos su pronta inscripción al Congreso y que aproveche las facilidades del hotel sede. Para inscribirse y consultar la información relacionada con la fecha y hora de su presentación, visite el sitio web del Congreso. El programa estará disponible una semana antes.

La fecha límite para presentar los documentos completos es el 31 de enero de 2017, con el fin de incluirlos en el libro electrónico. Los documentos deben ser enviados a la misma dirección de correo electrónico: ponenciascongreso2017@gmail.com.

¡Nos vemos en Acapulco!

Saludos Cordiales.

Atte.

El Comité Técnico

XXIV Congreso Nacional de Hidráulica



AMH

XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA
Acapulco, Guerrero, MÉXICO, MARZO 2017

AMH

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA HIDRODINAMICA EN LA OBRA DE DERIVACIÓN, EL CENSO, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO

García Reyes Marcos¹, León Jiménez Enrique¹, Rivera Trejo Fabián¹ y Priego Hernández Gastón²

¹División de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km. 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México. C.P. 86690

²División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km. 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México. C.P. 86690

gastonph@hotmail.com

1 Introducción

Los canales derivadores, son obras estructurales fundamentales en los sistemas de riego y en la regulación de caudales. Su diseño consiste en construir una derivación sobre el cauce o canal principal y dirigir parte del caudal transportado hacia otra zona. La derivación empieza a partir de un cierto nivel o cota del agua, que va directamente ligado con el caudal descargado.

Las obras derivadoras en ríos de planicie son grandes aportadoras de sedimentos (Allison y Meselhe, 2010). Demas y Curwick (1987) y Dagg *et al.*, (2005) demostraron que la concentración de sedimentos en suspensión está en función de la descarga del flujo, por lo que su cuantificación es esencial para evaluar el impacto que puede ocasionar en las zonas de descarga. El proceso de transporte de sedimentos va ligado con la hidrodinámica del sistema, por lo que si se desea conocer la evolución y distribución de los sedimentos, se necesita conocer cómo se desarrollan los campos de velocidades dentro de la estructura derivadora. Lo ideal para obtener la hidrodinámica es realizar mediciones de campo; sin embargo, debido a la dificultad de medir en un rango amplio de condiciones de descarga, se debe recurrir a alternativas, y es aquí donde la simulación numérica entra en juego.

En este trabajo y como parte de la estimación de la tasa de transporte de sedimentos en una obra derivadora, se presenta la modelación numérica realizada en una estructura derivadora real. El objetivo fue generar la hidrodinámica e identificar los campos de velocidades sobre el río y la obra derivadora. A partir de esta información se determinarán las zonas o ejes de acarreo en los que se espera se tenga un mayor transporte de sedimentos.

2 Modelación Numérica

Los modelos numéricos son una herramienta muy útil para el estudio y predicción del funcionamiento de obras hidráulicas (Struiksmá *et al.*, 1985). Permite la evaluación de diferentes escenarios hipotéticos, todo ello a un costo temporal y económico relativamente bajo. Existen modelos numéricos en 1, 2 y 3 dimensiones (1D, 2D o 3D, respectivamente); sin embargo, cada uno de ellos se aproximan en mayor o menor detalle a los fenómenos físicos en estudio (Oerted, 2015). En la mayor parte de estudios en ríos, debido a la escala longitudinal, se emplean generalmente modelos 1D y régimen permanente. (Helmiö, 2002; Hammersmark *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007). No obstante, cuando existen zonas de recirculación y efectos tridimensionales significativos, estos modelos dejan de reproducir adecuadamente el comportamiento físico del sistema. Es aquí cuando los modelos bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) deben ser empleados. Los modelos 2D, consideran los componentes de la velocidad en la dirección del flujo y transversal, promediadas en la profundidad. Con esto es posible generar con suficiente aproximación el campo de velocidades en planta. Estos resultados se aplican en zonas de inundación en planicies y en ríos donde la relación ancho vs tirante es grande.

Por la forma en que se distribuye el flujo en la obra derivadora, se decidió emplear un modelo 2D. La implementación de modelos 2D ha dado lugar a diferentes softwares comerciales, muchos de ellos gratuitos (Tabla 1).

Tabla 1. Softwares de simulación de flujo de ríos

Software	Dimensiones	Fenómenos que modelan	Entorno que trabajan	Costo
HYDRO	2D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos - Transporte de contaminantes	Windows	Licencia
MIKE21	2D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos - Transporte de contaminantes	Windows	Licencia
TELEMAC	1D, 2D y 3D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos	Windows y Linux	Libre
IBER	2D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos	Windows	Libre
RIVER 2D	2D	- Flujo hidrodinámico - Hábitat de peces - Evaluación de hielo	Windows	Libre

La mayoría de los softwares se fundamentan en la solución de las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como ecuaciones de Saint-Venant o Shallow Water Equations (SWE), y son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial (Cea *et al.*, 2007; Constantinescu *et al.*, 2012; Cea y Bladé, 2015).

Nosotros elegimos el programa IBER 2.4 (Iberaula.es, 2015), por ser un software gratuito y que ha demostrado un buen desempeño (Ruiz-Villanueva *et al.*, 2014; Cea y Bladé, 2015; Álvarez *et al.*, 2015). El modelo numérico generado, se calibró contra mediciones de campo realizadas con un equipo acústico Doppler (ADCP).

3 Localización.

Se simuló el comportamiento hidrodinámico de la obra derivadora "El Censo", ubicada en el Municipio de Centro, Tabasco. Esta obra se encuentra ubicada en la margen derecha del río La Sierra, en las coordenadas 17.8653° LN y -92.8689° LW y tiene un fácil acceso por carretera. Su función es derivar parte del caudal transportado por el río de la Sierra y que se dirige a la ciudad de Villahermosa, Tabasco que es susceptible a sufrir inundaciones. La estructura tiene un gasto de diseño de 441.00 m³/s, la cota de agua en la que inicia a derivar es la 5.5 msnm y su cota máxima es de 7.3 msnm. Tiene una longitud de 200m (Figura 1).

AMH

XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA
Acapulco, Guerrero, MÉXICO, MARZO 2017

AMH



Figura 1. Canal derivador el Censo, en la margen derecha del río de la Sierra.

4 Metodología.

Se dividió en dos etapas: I, Generación de topografía y medición hidrodinámica; II, Desarrollo de modelo numérico (2D) y simulación de escenarios de escurrimiento.

4.1 Generación de topografía y medición hidrodinámica.

Se recopilaron y depuraron los datos topográficos del terreno. Estos se generaron empleando un perfilador acústico Doppler, marca RiverRay de la marca Teledyne, que trabaja a una frecuencia de 600 kHz, conectado a un sistema diferencial de posicionamiento global (DGPS) y montado en una embarcación (Figura 2). Se levantaron 15 secciones transversales sobre el río de La Sierra, con una separación aproximada de 50 m entre cada una como se muestra en la Figura 3.



Figura 2. Equipo Doppler RiverRay de 600 kHz.

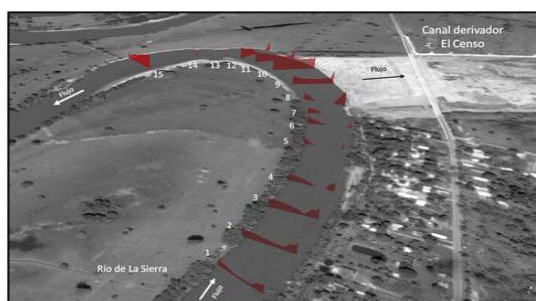


Figura 3. Esquema de aforo sobre canal derivador el Censo.

El procesamiento de los datos batimétricos e hidrodinámicos medidos por el ADCP se hizo con el software Winriver II®, que es el de operación del equipo. Adicionalmente se creó un archivo de Excel®, donde se clasificaron los datos de la siguiente manera: a) componentes de velocidad del flujo, b) profundidad en la cual se midió cada vector, c) la distancia transversal medida entre cada vector, d) distancia total de la sección transversal y f) posición geográfica de cada vector velocidad. Se desarrolló un algoritmo en una hoja de Excel® donde se realizó el proceso de filtrado de la hidrodinámica, secciones transversales y batimetría. Para el procesamiento y la visualización del campo de velocidades se emplearon los softwares Excel® con Visual Basic® y Tecplot®. Si bien los perfiladores acústicos permiten medir las velocidades tridimensionales en ríos, para este trabajo sólo consideramos las velocidades más representativas sobre una columna de agua de una sección transversal ya que estas permiten visualizar la trayectoria del flujo en el río La Sierra. La graficación de la magnitud de estas velocidades se empleó para calibrar y validar el modelo numérico.

4.2 Generación de modelo numérico y simulación de escenarios

El software Iber, consta de tres módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos (Iberaule.es, 2015). Todos ellos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares. En el caso particular del módulo hidrodinámico, este requiere como datos de frontera la batimetría, y como condiciones iniciales al caudal, la rugosidad y la superficie libre del agua. La batimetría se utilizó para crear la malla donde se genera la triangulación de volúmenes finitos (Figura 4).

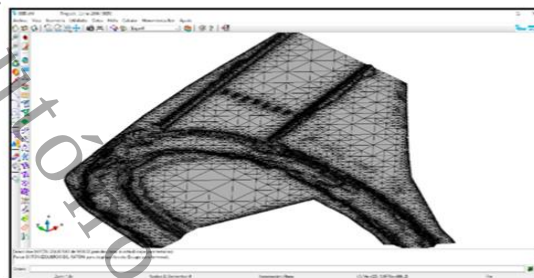


Figura 4. Mallado (triangulación de volúmenes finitos) generado por programa Iber 2.4 del río de La Sierra y canal derivador el Censo.

En la simulación de escenarios, se modelaron dos condiciones de gasto en la zona. En el primero, se simuló la condición de gasto medida por el ADCP en el río de La Sierra; la segunda, fue con el gasto obtenido en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo, que se ubica sobre el río de la Sierra, 2,25 km aguas arriba de la estructura derivadora. En la tabla 2, se resumen estas condiciones.

Tabla 2. Escenarios modelados

Escenario	Caudal (m ³ /s)	Cota del agua (msnm)
1	109.00	3.09
2	501.36	6.17

AMH

XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA
Acapulco, Guerrero, MÉXICO, MARZO 2017

AMH

5 Resultados.

5.1 Batimetría.

Se construyó un modelo digital de elevaciones (MDE) del relieve del fondo del cauce de un río (Figura 5).

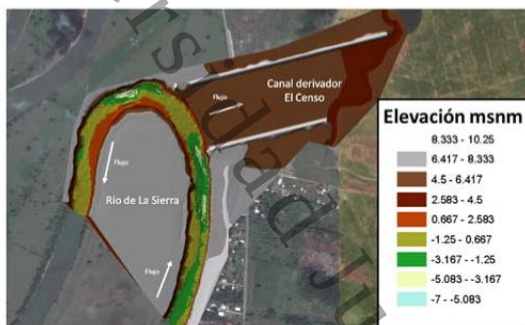


Figura 5. Batimetría del río de La Sierra y canal derivador El Censo.

5.2 Hidrodinámica del río de La Sierra

En la Figura 6a se muestran los vectores de la velocidad en planta y en la Figura 6b las magnitudes de las velocidades en planta para las condiciones de caudal medidas por el ADCP.

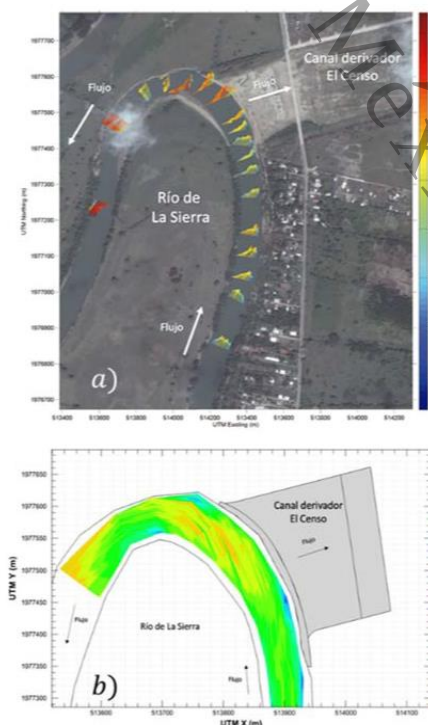


Figura 6. a) Vector de velocidad en planta del río de La Sierra b) Magnitud de velocidad en planta del río de La Sierra.

5.3 Modelación de la hidrodinámica para las dos condiciones de gastos.

Las magnitudes de las velocidades obtenidas por la modelación numérica para los dos escenarios establecidos se muestran en las Figuras 7a y b.

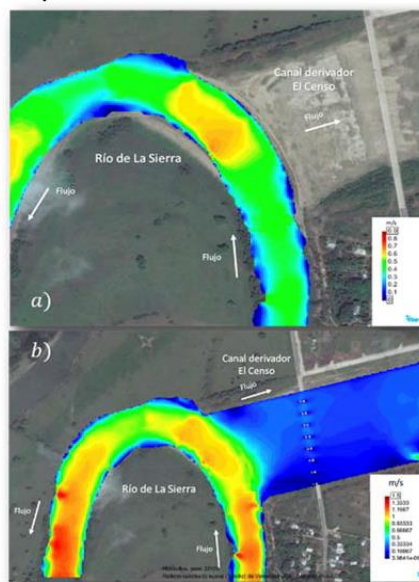


Figura 7. a) Modelo numérico del río La Sierra en condición de gasto de $Q = 109.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ b) Modelo numérico del río La Sierra - Canal derivador en condición de gasto de $Q = 501.36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

6 Conclusiones.

Se encontró que las velocidades medidas en planta con el ADCP y las generadas con el modelo numérico fueron similares (Figuras 6b y 7a). Las máximas velocidades obtenidas por el equipo acústico oscilan entre 0.7 m/s y 0.8 m/s y las del modelo numérico muestran velocidades máxima de 0.6 m/s a 0.7 m/s teniendo una diferencia de 0.1 m/s. En el caso de la modelación sobre el canal derivador, se encontró una elevación de 6.30 msnm, que comparada con la medición en campo tiene una diferencia de 0.12 m; es decir, el modelo numérico reproduce con exactitud del 90% la condición medida. Dada la bidimensionalidad y tridimensionalidad de los efectos que se generan en la estructura derivadora, concluimos que el modelo numérico representa adecuadamente el funcionamiento de la estructura. Por lo que el siguiente paso será generar escenarios en un rango amplio de funcionamiento del río y la estructura, agregar el módulo de transporte de sedimentos y comparar contra datos medidos en campo. Una vez logrado esto se estará en condiciones de evaluar la tasa de depósito de sedimentos hacia la zona derivadora.

AMH

XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA
Acapulco, Guerrero, MÉXICO, MARZO 2017

AMH

Referencias

- 1.- Allison, M. A. and Meselhe, E. A. (2010). The use of large water and sediment diversions in the lower Mississippi River (Louisiana) for coastal restoration. *Journal of Hydrology*, 387(3), 346-360.
- 2.- Álvarez A., Bermúdez J., Cea M., Suárez L., Ures J., and Puertas J. (2015). Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). *Ingeniería del agua*, 19(2), 105-116. doi:http://dx.doi.org/10.4995/ia.2015.3648.
- 3.- Cea, L. and Bladé, E. (2015). A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. *Water Resour. Res.*, 51, 1944-7973. 10.1002/2014WR016547
- 4.- Cea, L., Puertas, J. and Vázquez-Cendón, M.E. (2007). "Depth averaged modelling of turbulent shallow water flow with wet-dry fronts". *Archives of Computational Methods in Engineering. State of the art reviews*, Vol.14 (3).
- 5.- Constantinescu, G., S. Miyawaki, B. Rhoads, and A. Sukhodolov (2012). Numerical analysis of the effect of momentum ratio on the dynamics and sediment-entrainment capacity of coherent flow structures at a stream confluence. *J. Geophys. Res.*, 117. F04028, doi:10.1029/2012JF002452.
- 6.- Dagg, M., Bianchi, T., Breed, G., Cai, W.-J., Duan, S., Liu, H., McKee, B., Powell, R. and Stewart, C., (2005). Biogeochemical characteristics of the lower Mississippi River, USA during June 2003. *Estuaries* 28, 664-674.
- 7.- Demas, C.R. and Curwick, P.B., (1987). Suspended-sediment, bottom-material, and associated chemical data from the lower Mississippi River, Louisiana. Basic Records Report #14. USGS, Louisiana Department of Transportation and Development. Baton Rouge, Louisiana. 117 pp.
- 8.- Hammersmark C.T., Fleenor W.E. and Schladow S.G. (2005) Simulation of flood impact and habitat extent for a tidal freshwater marsh restoration. *Ecol Eng* 25:137-152. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.02.008.
- 9.- Helmiö, T., (2002). Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains. *Journal of Hydrology* 269 (1e2), 89e99.
- 11.- Iberaula.es, (2015). Presentación. [online] Disponible en: <http://iberaula.es/aula-iber/presentacion> [Accesado 3 Sep. 2016].
- 12.- Oerted M. (2015). Numerical Modeling of free-surface flows in practical applications. Springer, P. Rowinski and A. Radeck-Pawlik, (eds.), *Rivers-physical, fluvial and environmental processes*, GeoPlanet. DOI 10.1007/978-3-319-17719-9_8.
- 13.- Ruiz-Villanueva V., Bladé E., Sánchez-Juny M., Martí-Cardona B., Díez-Herrero E. and Bodoque J., (2014). Two-dimensional numerical modeling of wood transport, *Journal of Hydroinformatics* Sep 2014, 16 (5) 1077-1096; DOI: 10.2166/hydro.2014.026.
- 14.- Struiksma N., Olesen W., Flokstra C. and Dr. H. J. De Vriend (1985) Bed deformation in curved alluvial channels, *Journal of Hydraulic Research*, 23:1, 57-79, DOI:10.1080/0021688509499377.
- 15.- Wang GT, Yao C, Okoren C. and Chen S. (2006) 4-Point FDF of Muskingum method based on the complete St Venant equations. *J Hydrol (Amst)* 324(1-4):339-349. oi:10.1016/j.jhydrol.2005.10.010.



Asunto: Carta de Aceptación de artículo

REF JEEOS 02/03

Cunduacán Tabasco 27 de Marzo de 2017

Dr. Fabián Rivera Trejo
PRESENTE:

De conformidad con el trabajo titulado "ANÁLISIS HIDRODINAMICO EN UN CANAL DE DERIVACIÓN: CASO EL CENSO, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO"

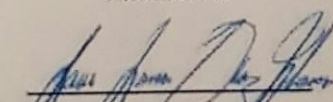
De los autores:

García-Reyes M., Priego-Hernández G., Soto-Cortes G., y Rivera-Trejo F.

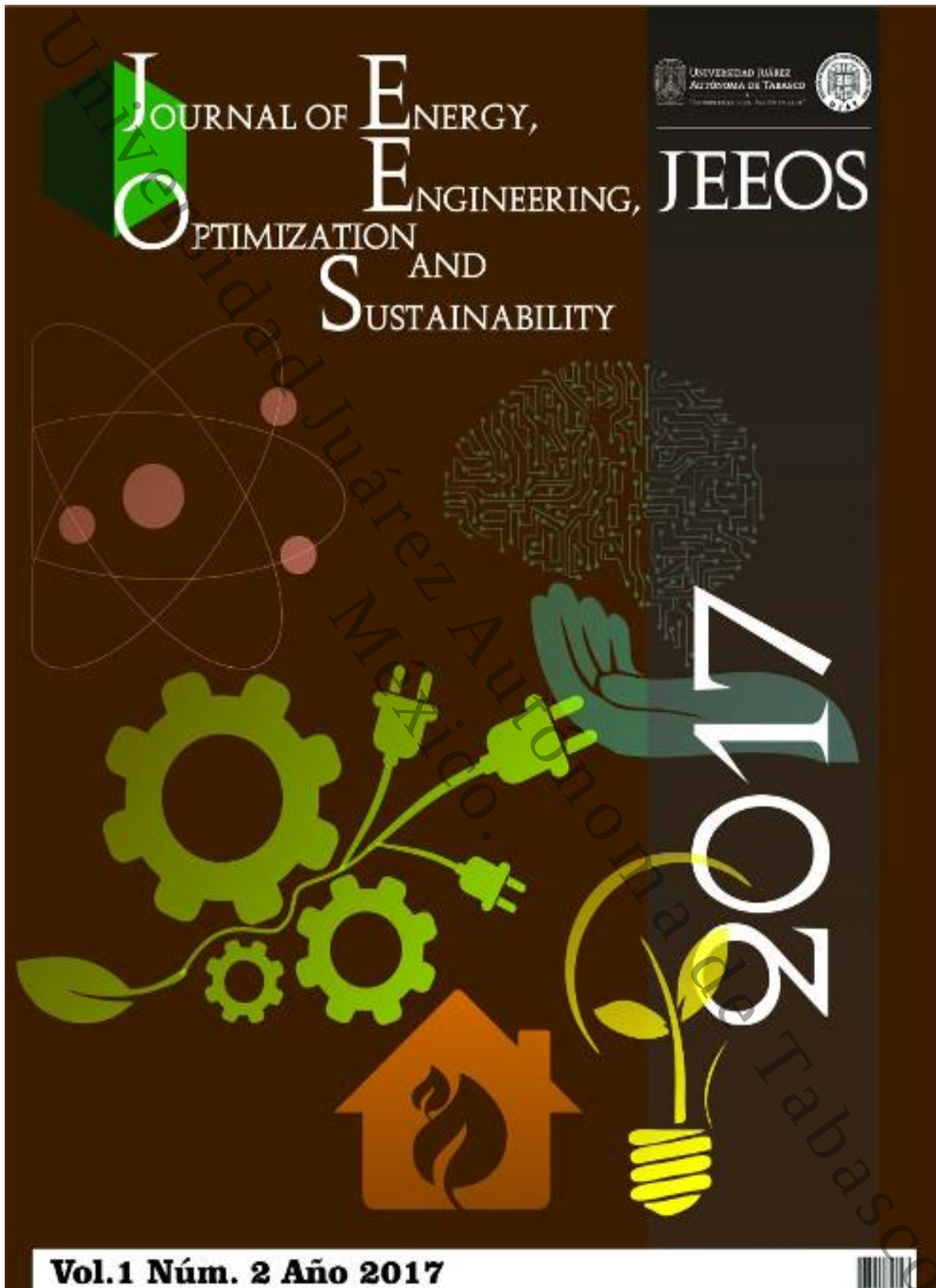
Tengo el agrado de notificarle que **ha sido aceptado** para su publicación en el Volumen 2 (Mayo-Agosto) número 1 2017, de la *Revista Arbitrada* Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability con ISSN 2448-8186.

Sin más por el momento, le agradezco su participación

Atentamente

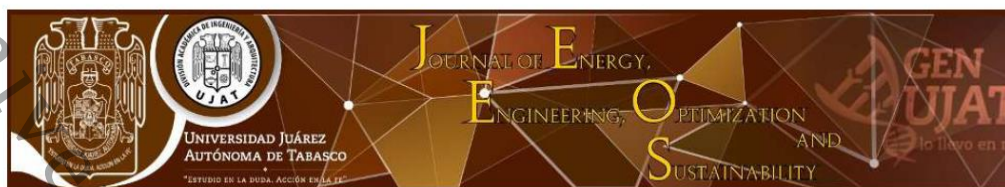

Dra. Laura Lorena Díaz Flores
Editora en Jefe
Revista JEEOS

Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-División Académica de Ingeniería y Arquitectura



2017-6-20

Vol. 1, Núm. 2 (2017)



OPEN JOURNAL SYSTEMS

INICIO ACERCA DE INICIAR SESIÓN REGISTRARSE CATEGORÍAS
BUSCAR ACTUAL ARCHIVOS AVISOS

Inicio > Archivos > Vol. 1, Núm. 2 (2017)

Vol. 1, Núm. 2 (2017)

Número completo

Ver o descargar el número completo

[PDF](#) [PDF](#) [PDF](#) [PDF](#) [PDF](#) [PDF](#)

Tabla de contenidos

ARTÍCULO CIENTÍFICO

[CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL DE DIVERSOS TIPOS DE ZEOLITA POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO](#) [PDF](#)
J. Torres-Díaz, J. C. Solís-Cortazar, M. L. Ruiz-Peraza, E. Ramírez-Morales, G. Pérez-Hernández, L. Rojas-Blanco 1-10

[CO-ELECTRODEPÓSITO GALVANOSTÁTICO DE PELÍCULAS DE CU2S Y ZNS PARA APLICACIONES FOTOVOLTAICAS](#) [PDF](#)
R. Torres-Ricárdez, G. Pérez-Hernández, M. F. García-Mendoza, E. Ramírez-Morales 11-22

[ANÁLISIS HIDRODINAMICO EN UN CANAL DE DERIVACIÓN: CASO EL CENSO, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO](#) [PDF](#)
M. García-Reyes, F. Rivera-Trejo, G. Priego-Hernández, G. Soto-Cortés 23-42

[DISTRIBUCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CURVAS CON ESPIGONES, ESTIMADOS CON ADCP](#) [PDF](#)
R. García-García, I. Quintan-Ortega, J. E. León-Jiménez, R. S. Flowers-Cano, M. A. Balladares-Sánchez, J. A. Nungaray-Núñez 43-58

[REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE SEDIMENTOS E HIDRODINÁMICA EN PUENTES, MEDIANTE ADCP DEL RÍO GRIJALVA ALTO](#) [PDF](#)
A. M. Fuentes-Aguilar, J. E. León-Jiménez, R. S. Flowers-Cano, M. A. Balladares-Sánchez, J. A. Nungaray-Núñez 59-72

[CORRIENTES SECUNDARIAS EN CURVAS DE RÍOS CON ESPIGONES, USANDO TÉCNICAS ACÚSTICAS](#) [PDF](#)
F. A. Guzmán-Montejo, R. S. Flowers-Cano, J. E. León-Jiménez, M. A. Balladares-Sánchez, J. A. Nungaray-Núñez 73-90

[DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS E HIDRODINÁMICA EN CURVAS NATURALES DE RÍOS MEANDRÍCOS, ESTIMADOS MEDIANTE TÉCNICAS ACÚSTICAS](#) [PDF](#)
J. C. Rodríguez-Gómez, J. E. León-Jiménez, R. S. Flowers-Cano, M. A. Balladares-Sánchez, J. A. Nungaray-Núñez 91-104

Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability, Año 1, No. 1, Enero-Abril 2017, es una Publicación cuatrimestral Arbitrada y editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Villahermosa, Centro, Tabasco, CP. 86040, Tel (993) 358 15 00, <http://revistas.ujat.mx/index.php/JEEO/S/index>, correo: jeeos@gmail.com. Editor responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2016-050908471400-203, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Asistente Editorial de la Revista Pauly González Mayo, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Vhsa, Centro, Tabasco, Mex. C.P. 86040, fecha de última modificación, 22 de febrero de 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin la previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

[Servicio de ayuda de la revista](#)

USUARIO/A

Nombre de usuario/a
Contraseña

☐ No cerrar sesión

NOTIFICACIONES

- [Vista](#)
- [Suscribirse](#)

IDIOMA

Escoge idioma
Español (España) ▼

CONTENIDO DE LA REVISTA

Buscar

Ámbito de la búsqueda

Todo ▼

Examinar

- [Por número](#)
- [Por autor/a](#)
- [Por título](#)
- [Otras revistas](#)
- [Categorías](#)

TAMAÑO DE FUENTE

file:///F:/ESCRITORIO/Vol.%201,%20N%C3%BAm.%202%20(2017).html

1/1

ANÁLISIS HIDRODINAMICO EN UN CANAL DE DERIVACIÓN: CASO EL CENSO, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO

HYDRODYNAMIC ANALYSIS IN A DERIVATION CHANNEL: CASE CENSO, CENTRO MUNICIPALITY, TABASCO

¹ García-Reyes M., ² Priego-Hernández G., ³ Soto-Cortés G. y ^{1*} Rivera-Trejo F.

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.

²División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.

³División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: jgfabianrivera@gmail.com

RESUMEN

Los canales derivadores son estructuras hidráulicas, que desvían parte del agua que circula sobre un río y la envían hacia una zona de almacenamiento o descarga. Cumple funciones variadas por ejemplo: control de inundaciones, suministro de agua municipal, o con fines consuntivos. Sin embargo, muchas de estas obras son grandes aportadoras de sedimentos, los cuales en la mayoría de los casos no son tomados en cuenta durante su diseño y afectan desde la geometría del canal, hasta las zonas de descarga. Este proceso de transporte de sedimentos va íntimamente ligado con la hidrodinámica del sistema, por lo que, si se quiere cuantificarlo es esencial conocer cómo se desarrollan los campos de velocidad dentro de la geometría del canal derivador.

En este trabajo y como parte de la estimación de la tasa de transporte de sedimentos en una obra derivadora, se presentan: las mediciones de campo y la modelación numérica realizada en una estructura derivadora que actualmente se encuentra en

<http://revistas.ujta.mx/index.php/JEEOS/index>

Registro: ISSN 2448-8196
DOI:10.19136/jeeos.v1n2.1896

23

funcionamiento. El objetivo fue generar la hidrodinámica e identificar los campos de velocidad sobre el río y la estructura derivadora. La importancia radica en la bidimensionalidad del fenómeno y la calibración realizada al modelo numérico.

PALABRAS CLAVES: derivaciones; mediciones de campo; equipo Doppler; campos hidrodinámicos.

ABSTRACT

Diversion channels are hydraulic structures which divert part of the water circulating on a river and send it toward a storage or discharge zone. It meets several functions; e.g. control of floods, supply of municipal water or landscape purposes. Nevertheless, many of these works are major generators of sediment which, in most cases, is not considered during the design and affect the channel geometry and even the discharge zones. This sediment transportation process is closely linked to the system hydrodynamics. This is why, if quantification is needed, it is essential to know the development of speed fields within the diversion channel geometry.

As part of the estimation of sediment of the sediment transportation rate in a diversion work, this work presents: field meterings and numeric modeling performed in a diversion structure which is actually in operation. The objective was to generate hydrodynamics and identify speed fields on the river and diversion structure. The importance lies in bidimensionality of the phenomenon and calibration performed on the numeric model.

Keywords: derivations, field meterings, Doppler equipment, hydrodynamic fields.

INTRODUCCIÓN

Los canales derivadores, son obras estructurales fundamentales en los sistemas de riego y en la regulación de caudales. Su diseño consiste en construir una derivación sobre el cauce de un río o canal principal y dirigir parte del caudal transportado hacia otra zona. La derivación empieza a funcionar a partir de un cierto nivel o cota del agua, que va directamente ligado con el caudal descargado.

Las obras derivadoras en ríos de planicie son grandes aportadoras de sedimentos estudios previos [1, 2 y 3] demostraron que la concentración de sedimentos en suspensión está en función de la descarga del flujo, por lo que su cuantificación es esencial para evaluar el impacto que puede ocasionar en las zonas de descarga. El proceso de transporte de sedimentos va ligado con la hidrodinámica del sistema, por lo que si se desea conocer la evolución y distribución de los sedimentos, se necesita conocer cómo se desarrollan los campos de velocidad dentro de la estructura derivadora. Lo ideal para obtener la hidrodinámica es realizar mediciones de campo; sin embargo, debido a la dificultad de medir en un rango amplio de condiciones de descarga, se debe recurrir a alternativas, y es aquí donde la simulación numérica entra en juego.

En este trabajo y como parte de la estimación de la tasa de transporte de sedimentos en una obra derivadora, se presenta la modelación numérica realizada en una

estructura derivadora real. El objetivo fue generar la hidrodinámica e identificar los campos de velocidades sobre el río y la obra derivadora. A partir de esta información se determinaran las zonas o ejes de acarreo de sedimentos en los que se espera se tenga un mayor transporte.

MODELACIÓN NUMÉRICA

Los modelos numéricos son una herramienta muy útil para el estudio y predicción del funcionamiento de obras hidráulicas [4]. Permiten la evaluación de diferentes escenarios hipotéticos, todo a un costo temporal y económico relativamente bajo. Existen modelos numéricos en una, dos y tres dimensiones (1D, 2D o 3D, respectivamente); sin embargo, cada uno de ellos se aproximan en mayor o menor detalle a los fenómenos físicos en estudio [5]. En la mayor parte de estudios en ríos, debido a la escala espacial, se emplean generalmente modelos 1D en régimen permanente [6, 7 y 8]. No obstante, cuando existen zonas de recirculación y efectos tridimensionales significativos, estos modelos dejan de reproducir adecuadamente el comportamiento físico del sistema. Es aquí cuando los modelos bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) deben ser empleados. Los modelos 2D, consideran a las componentes de la velocidad en la dirección del flujo y transversal, promediadas en la profundidad. Con esto es posible generar con suficiente aproximación el campo de velocidades en planta. Estos resultados se aplican en zonas de inundación en planicies y en ríos donde la relación ancho contra tirante es grande.

Por la forma (bidimensional) en que se distribuye el flujo en una obra derivadora, se eligió simular con un modelo 2D. La implementación de modelos 2D ha dado lugar a diferentes softwares comerciales, algunos de ellos gratuitos (Tabla 1).

Tabla 1. Softwares 2D de simulación de flujo de ríos.

Nombre	Dimensiones	Fenómenos que modelan	Entorno que trabajan	Costo
HYDRO_AS	2D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos - Transporte de contaminantes	Windows	Licencia
MIKE21	2D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos - Transporte de contaminantes	Windows	Licencia
TELEMAC	1D, 2D y 3D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos	Windows y Linux	Libre
IBER	2D	- Flujo hidrodinámico - Transporte de sedimentos	Windows	Libre
RIVER 2D	2D	Flujo hidrodinámico Hábitat de peces Evaluación de hielo	Windows	Libre

La mayoría de los softwares se fundamentan en la solución de las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como ecuaciones de Saint-

Venant o Shallow Water Equations (SWE), y son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial [9, 10 y 11].

En este trabajo se eligió el programa IBER 2.4 [12] por ser un software gratuito y que ha demostrado un buen desempeño [9,13 y 14] en problemas bidimensionales. El modelo numérico generado, se calibró contra mediciones de velocidad obtenidas en campo y realizadas con un equipo acústico Doppler (ADCP).

LOCALIZACIÓN

Se analizó el comportamiento hidrodinámico de la obra derivadora "El Censo", ubicada en el Municipio de Centro, Tabasco (Figura 1). Esta obra se encuentra ubicada en la margen derecha del río La Sierra, en las coordenadas 17.8853° LN y -92.8688° LW y tiene un fácil acceso por carretera. Su función es derivar parte del caudal transportado por el río La Sierra y que se dirige a la ciudad de Villahermosa, Tabasco que es susceptible a sufrir inundaciones. La estructura tiene un gasto de diseño de 441.00 m³s⁻¹, la cota de agua en la que inicia a derivar el canal es la 5.5 msnm y su cota máxima es de 7.3 msnm. Tiene una longitud de 200 m (Figura 2) y ha mostrado evidencia de ser una gran aportadora de sedimentos (Figura 3).



Figura 1. Localización del canal derivador, El Censo.

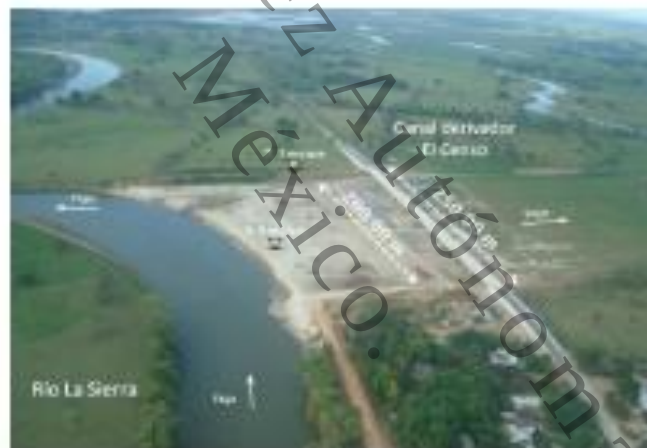


Figura 2. Canal derivador El Censo, en la margen derecha del río La Sierra.



Figura 3. Sedimentos depositados en la margen derecha del canal derivador, El Censo.

METODOLOGÍA

Se dividió en dos etapas: I, Generación de topografía y medición hidrodinámica; II, Desarrollo de modelo numérico (2D) y simulación de escenarios de escurrimiento.

Generación de topografía y medición hidrodinámica.

Se recopilaron y depuraron datos topográficos del terreno. Estos se generaron empleando un perfilador acústico Doppler, Modelo RiverRay de la marca Teledyne, que trabaja a una frecuencia de 600 kHz, conectado a un sistema diferencial de posicionamiento global (DGPS) y montado en una embarcación (Figura 4). Se levantaron 16 secciones transversales sobre el río La Sierra, con una separación aproximada de 50 m entre cada una como se muestra en la Figura 5.



Especificaciones	RiverRay
Frecuencia	800 kHz
Ángulo de haz	30°
Rango de operación	0.40 – 60 m
Tamaño de celda	Selección automática*
Blanking	0.25

* 0.10 m mínimo

Figura 4. Equipo Doppler RiverRay.



Figura 5. Esquema de secciones transversales sobre canal derivador El Censo.

El procesamiento de los datos batimétricos e hidrodinámicos medidos por el ADCP se hizo con el software WinRiver II®, que es el de operación del equipo. Adicionalmente se

creó un archivo de Excel®, donde se clasificaron los datos de la siguiente manera: a) componentes de velocidad del flujo, b) profundidad en la cual se midió cada vector, c) la distancia transversal medida entre cada vector, d) distancia total de la sección transversal y f) posición geográfica de cada vector velocidad. Se desarrolló un algoritmo en una hoja de Excel® donde se realizó el proceso de filtrado de la hidrodinámica, secciones transversales y batimetría. Para el procesamiento y la visualización del campo de velocidades se emplearon los softwares Excel® con Visual Basic® y Tecplot®.

Si bien los perfiladores acústicos permiten medir las velocidades tridimensionales en ríos, para este trabajo sólo se consideraron las velocidades promediadas sobre la vertical, ya que estas permiten visualizar la trayectoria del flujo sobre el río y el canal derivador. Se empleó la gráfica de la magnitud de estas velocidades para calibrar y validar el modelo numérico.

Generación de modelo numérico y simulación de escenarios.

El software Iber, consta de tres módulos de cálculo: a) un módulo hidrodinámico, b) un módulo de turbulencia y c) un módulo de transporte de sedimentos (Iberaula.es, 2015). Trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares. En el caso particular del módulo hidrodinámico empleado, este requirió como datos de frontera a la batimetría; y como condiciones iniciales, al caudal, la rugosidad y la superficie libre del agua. Fue a partir de la batimetría obtenida que se creó la malla donde se genera la triangulación de volúmenes finitos (Figura 6).



Figura 6. Mallado no estructurado (triangulación de volúmenes finitos) generado por programa Iber 2.4 del río La Sierra y canal derivador El Censo.

Se simularon dos escenarios: en el primero, se simuló la condición de gasto medida por el ADCP en el río La Sierra; la segunda, fue con el gasto obtenido en la estación hidrométrica Pueblo Nuevo, que se ubica sobre el río La Sierra, 2.25 km aguas arriba de la estructura derivadora. En la Tabla 2, se resumen estas condiciones.

Tabla 2 Escenarios modelados

Escenario	Caudal m^3s^{-1}	Cota del agua (msnm)	n Manning
1	109.00	3.09	0.031
2	501.36	6.17	0.031

RESULTADOS

Batimetría.

Se construyó un modelo digital de elevaciones (MDE) del relieve del fondo del cauce del río La Sierra y del canal derivador El Censo (Figura 7).

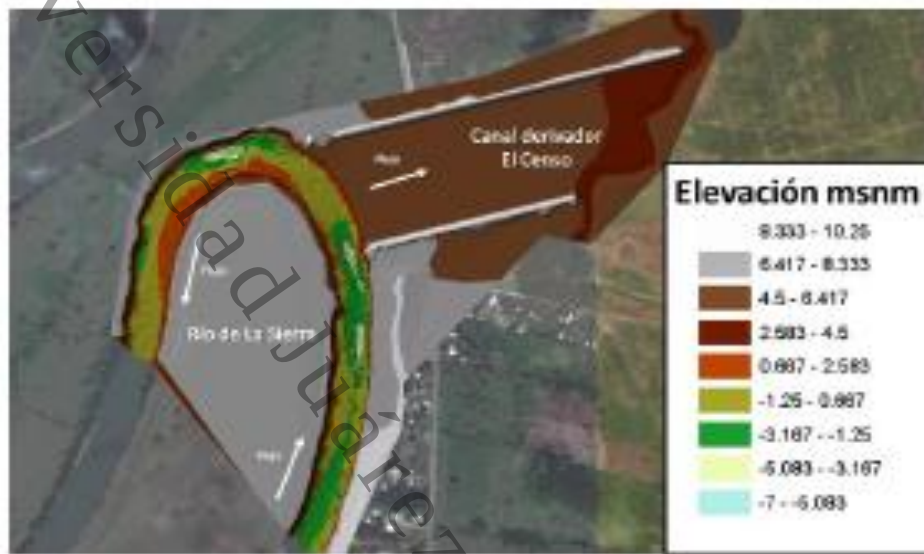


Figura 7. Batimetría del río La Sierra y canal derivador, El Censo.

Hidrodinámica del río La Sierra.

En la Figura 8a se muestran los vectores de la velocidad en planta y en la Figura 8b las magnitudes de las velocidades en planta para las condiciones de caudal medidas por el ADCP. Estos datos se utilizaron para calibrar el modelo numérico generado por el software Iber.

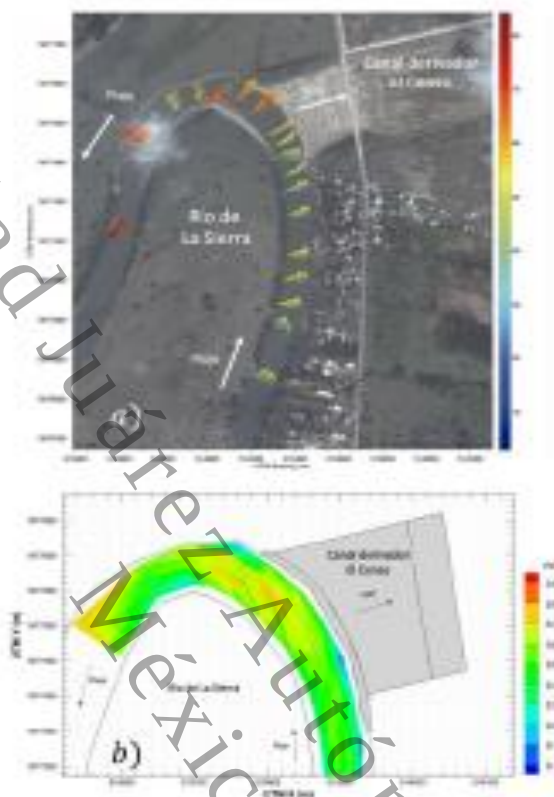


Figura 8. a) Vector de velocidad en planta del río La Sierra b) Magnitud de velocidad en planta del río La Sierra.

Modelación de la hidrodinámica para dos condiciones de gastos

Las magnitudes de las velocidades obtenidas por la modelación numérica para los dos escenarios establecidos se muestran en las Figuras 9a y b. El campo vectorial

generado por el modelo numérico y las tendencias de las líneas de corriente para la condición donde el canal derivador está vertiendo se muestra en la Figura 10.

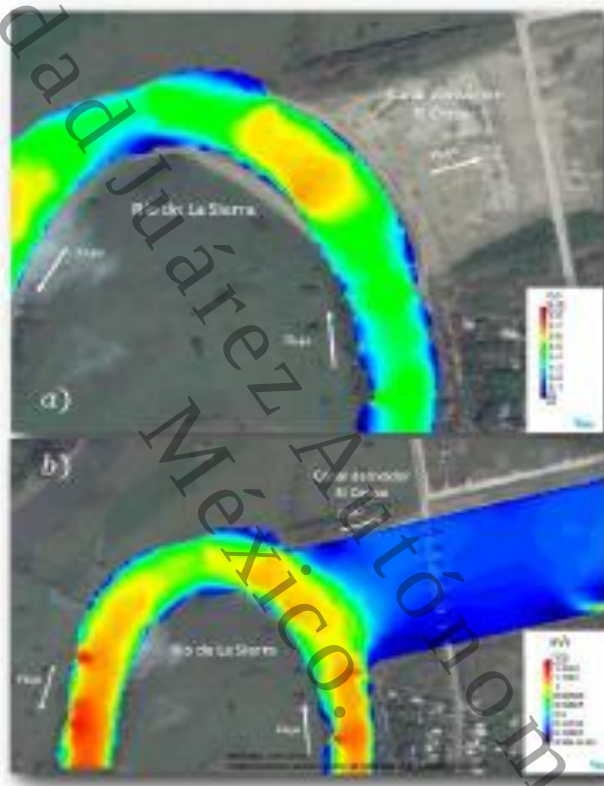


Figura 9. a) Modelo numérico del río La sierra en condición de gasto de $Q = 109.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

b) Modelo numérico del río La sierra – Canal derivador en condición de gasto de $Q = 501.36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

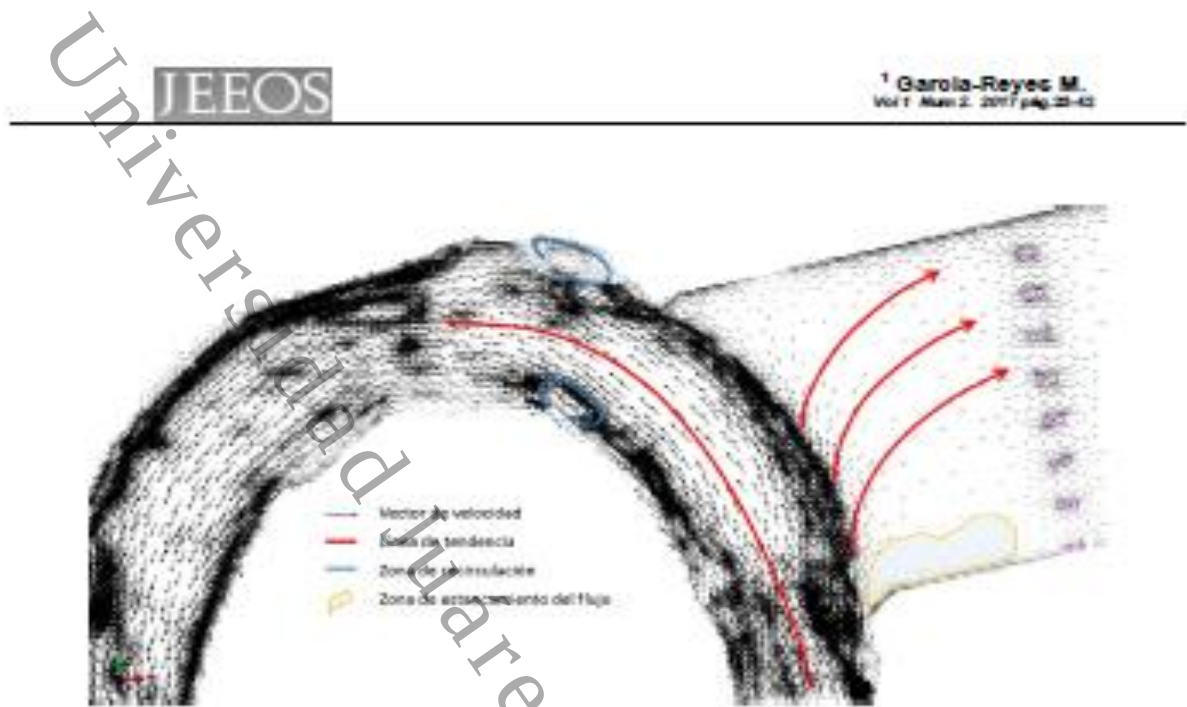


Figura 10. Campo vectorial de velocidad generado por la modelación numérica.



<http://revistas.ujat.mx/index.php/JEEOS/index>

Registro ISSN 2448-8195
DOI:10.19136/jeeos.v1n2.1096

33

Figura 11. Línea de tendencia del flujo en el río La Sierra y el canal derivador El Censo.

CONCLUSIONES

Se encontró que las velocidades medidas en planta con el ADCP y las generadas con el modelo numérico fueron similares (Figuras 8b y 9a). Las máximas velocidades obtenidas por el equipo acústico oscilan entre 0.7 ms^{-1} y 0.8 ms^{-1} y las del modelo numérico muestran velocidades máxima de 0.6 ms^{-1} a 0.7 ms^{-1} teniendo una diferencia de 0.1 ms^{-1} . En el caso de la modelación sobre el canal derivador, se encontró una elevación de 6.30 msnm, que comparada con la medición en campo tiene una diferencia de 0.12 m; es decir, el modelo numérico reproduce con exactitud del 90% la condición medida. Dada la bidimensionalidad y tridimensionalidad de los efectos que se generan en la estructura derivadora, concluimos que el modelo numérico representa adecuadamente el funcionamiento de la estructura. Las líneas de tendencia, marcan los ejes de acarreo de sedimentos. Se observa en las Figuras 10 y 11, una entrada franca al canal derivador por la margen izquierda, con bajas velocidades y zonas de depósito en la margen derecha. Contrastando contra la Figura 2, donde se aprecia una gran cantidad de sedimento depositado sobre la margen derecha, el siguiente paso es medir el transporte de sedimentos y relacionarlo contra las descargas del canal y generar un sedimentograma. Será a partir de este que puede emplearse el módulo de transporte de sedimentos de Iber y calibrarlo contra datos medidos en campo. Una vez logrado esto se estará en condiciones de evaluar la tasa de depósito de sedimentos hacia la zona de descarga.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido apoyado por el Programa de Fomento a Investigación-2015, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco No. UJAT-2015-IA-13.

REFERENCIAS

- [1] Allison, M. A. & Meselhe, E. A. (2010). The use of large water and sediment diversions in the lower Mississippi River (Louisiana) for coastal restoration. *Journal of Hydrology*, 387(3), 346-360.
- [2] Dagg, M., Bianchi, T., Breed, G., Cai, W.-J., Duan, S., Liu, H., McKee, B., Powell, R. & Stewart, C. (2005). Biogeochemical characteristics of the lower Mississippi River, USA during June 2003. *Estuaries* 28, 664-674.
- [3] Demas, C.R. & Curwick, P.B. (1987). Suspended-sediment, bottom-material, and associated chemical data from the lower Mississippi River, Louisiana. Basic Records Report #14. USGS, Louisiana Department of Transportation and Development, Baton Rouge, Louisiana, 117 pp.
- [4] Struiksma N., Olesen W., Flokstra C. & Dr. H. J. De Vriend. (1985). Bed deformation in curved alluvial channels. *Journal of Hydraulic Research*, 23:1, 57-79, DOI:10.1080/00221688509499377.
- [5] Oertel M. (2015). Numerical Modeling of free-surface flows in practical applications. Springer, P. Rowinski and A. Radeck-Pawlik, (eds.) *Rivers-physical, fluvial and environmental processes*, GeoPlanet. DOI 10.1007/978-3-319-17719-9_8.
- [6] Hammersmark C.T., Fleenor W.E. & Schladow S.G. (2005). Simulation of flood impact and habitat extent for a tidal freshwater marsh restoration. *Ecol Eng* 25:137-152. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.02.008.

- [7] Helmiö T. (2002). Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains. *Journal of Hydrology* 269 (1e2), 89-99.
- [8] Wang GT, Yao C, Okoren C. & Chen S. (2006). 4-Point FDF of Muskingum method based on the complete St Venant equations. *J Hydrol (Amst)* 324(1-4):339-349. [doi:10.1016/j.jhydrol.2005.10.010](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.010).
- [9] Cea, L. & Bladé, E. (2015). A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. *Water Resour. Res.*, 51, 1944-1973, [10.1002/2014WR016547](https://doi.org/10.1002/2014WR016547).
- [10] Cea, L., Puertas, J. & Vázquez-Cendón, M.E. (2007). Depth averaged modelling of turbulent shallow water flow with wet-dry fronts. *Archives of Computational Methods in Engineering, State of the art reviews*, Vol.14 (3).
- [11] Constantinescu, G., S. Miyawaki, B. Rhoads, & A. Sukhodolov. (2012). Numerical analysis of the effect of momentum ratio on the dynamics and sediment-entrainment capacity of coherent flow structures at a stream confluence. *J. Geophys. Res.*, 117, F04028, [doi:10.1029/2012JF002452](https://doi.org/10.1029/2012JF002452).
- [12] Iberaula.es, (2015). Presentación. [online] Disponible en: <http://iberaula.es/aula-iber/presentacion> [Accesado 3 Sep. 2016].
- [13] Ruiz-Villanueva V., Bladé E., Sánchez-Juny M., Martí-Cardona B., Díez-Herrero E. & Bodoque J. (2014). Two-dimensional numerical modeling of wood transport. *Journal of Hydroinformatics* Sep 2014, 16 (5) 1077-1096; DOI: 10.2166/hydro.2014.026.
- [14] Álvarez A., Bermúdez J., Cea M., Suárez L., Ures J., & Puertas J. (2015). Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). *Ingeniería del agua*, 19(2), 105-116. [doi:http://dx.doi.org/10.4995/ia.2015.3648](https://doi.org/10.4995/ia.2015.3648).

Marcos García Reyes.pdf

 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:614186424

Fecha de entrega

13 ago 2026, 6:24 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

18 ago 2026, 1:53 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Marcos García Reyes.pdf

Tamaño del archivo

6.8 MB

75 páginas

7477 palabras

47.351 caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 40 palabras)
- Abstract

Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
67 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

19%	 Fuentes de Internet
1%	 Publicaciones
0%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
ri.ujat.mx		10%
2	Internet	
core.ac.uk		5%
3	Internet	
idoc.pub		2%
4	Internet	
repositorio.unc.edu.pe		1%
5	Internet	
repositorio.unsch.edu.pe		<1%