

**Micromodelos, una herramienta para el estudio de procesos
fluviales en Laboratorio. HC-1417.1**

INFORME FINAL

Coordinación de Hidráulica

Jefe del Proyecto:

Dra. María Joselina Espinoza Ayala

Participantes:

M.I. José Alfredo González Verdugo

Jiutepec, Morelos, Diciembre de 2014

Contenido

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos del Proyecto.....	2
2. LOS MICROMODELOS.....	2
2.1. Componentes de los Micro modelos	3
2.2. Equipos	6
2.3. Construcción del Micromodelo	8
2.4. Calibración del Micromodelo	10
2.5. Similitudes y Diferencias de los Micromodelos con los Modelos de Fondo Móvil de Escala Grande	13
3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE MICROMODELOS	21
3.1. Micro modelo de Nueva Madrid, en el Río Misisipi.....	21
3.2. Micromodelo de la Boca del río Blanco	22
4. VISITA TÉCNICA.....	31
4.1. Visita al Centro de Ingeniería de Ríos Aplicada (AREC)	31
4.2. Equipo	34
5. PROPUESTA DE UN MICROMODELO	36
6. CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	37
EQUIPOS	38

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1. Micromodelo y algunos equipos medidores de flujo y válvulas electrónicas. .	4
Figura 2. Micro modelo del Río Blanco, U.S. Army Engineer District, Memphis, Corps of Engineers.	5
Figura 3. Micromodelo y equipos.....	6
Figura 4. Equipos Utilizados en los Micromodelos. (a)Laser scanner, (b) Laser bathimetría, (c) Laser Doppler Velocimeter (LDV), and (d) Vector de velocidad de salida normalizado LDV.....	7
Figura 5. Visualización de flujo en un micromodelo	8
Figura 6. Micro modelo del Río Mississippi, U.S. Army Engineer District, Memphis, Corps of Engineers.	12
Figura 7. Sistema de rieles para un modelo de fondo móvil de escala grande (U.S. Army Engineer Waterways, Experiment 1937)	14
Figura 8. Modelo de fondo móvil de carbón, Curva en Dogtooth, escala 1:400 horizontal, 1:100 vertical, and (b) modelo HSR, Río Atchafalaya, escala 1:7200 Horizontal, 1:1200 Vertical	15
Figura 9. Materiales usados en los modelos HSR	16
Figura 10. Láminas de metal como diques en el modelo del Puerto de St. Louis.....	17
Figura 11. Diques de malla de alambre galvanizado en modelo HSR.	18
Figura 12. Análisis de errores medios cuadrados, en modelos de fondo móvil de gran escala frente a los micromodelos HSR, en la localización de la vaguada o thalweg.	20
Figura 13. Análisis de errores cuadrados, modelos de fondo móvil de carbón a gran escala frente a los modelos de HSR, en la representación de la sección transversal media.....	20
Figura 14. Representación esquemática de Nueva Madrid, en el Río Misisipi, el micro modelo con escalas=1:19,000 horizontal, 1:1,200 vertical.....	21
Figura 15. Secciones transversales de prototipo y del micromodelo en Nueva Madrid, Misisipi.....	22
Figura 16. Diagrama esquemático de la Boca del Río Blanco en su confluencia con el Río Misisipi. El micro modelo con escalas=1:12,000 horizontal, 1:1,200 vertical.	22
Figura 17. Tirante hidráulico en le Boca del Río Blanco en diferentes secciones.....	23
Figura 18. Sección transversal en la Boca del Río Blanco, En la sección 17.....	23
Figura 19. Funcionamiento Base del micro modelo. Comparación micro modelo con el comportamiento en prototipo.....	24
Figura 20. Micro modelo del Río Misisipi y su confluencia con el Río Blanco, Alternativa A.	24
Figura 21. Micro modelo del Río Misisipi y su confluencia con el Río Blanco, Alternativa B	25
Figura 22. Micro modelo del Río Misisipi y su confluencia con el río Blanco Alternativa J.....	25
Figura 23. Campos de velocidades medidas en prototipo con ADCP (Acoustic Doppler Current Profiles).....	26
Figura 24. Prueba con la Topografía Base	26
Figura 25. Visualización de Flujo en la prueba Base, Estudio en micro modelo del Río Atchafalaya. En la parte superior se muestran flujos bajos y en la parte inferior para flujos altos.....	27
Figura 26. Estudio en micro modelo de la Isla Carroll, Prueba Base	28

Figura 27. Estudio en micro modelo de la Isla Carroll, Alternativa 16	28
Figura 28. El Applied River Engineering Center	31
Figura 29. Presentación de los micromodelos en algunos tramos del Río Misisipi por el AREC	32
Figura 30. Micromodelos de tramos de ríos de EUA.....	32
Figura 31. Micromodelo del Río Misisipi, las obras de protección se observan en la margen derecha.....	33
Figura 32. Micromodelo del río Mississippi donde se observa una gran isla y las obras de protección.....	33
Figura 33. En el AREC explicando cómo se obtiene la batimetría del fondo	35
Figura 34. Lancha equipada con sonar y ecosonda	35
Tabla 1. Investigaciones en Micro modelos de USACE	29

La ingeniería de ríos depende de la intuición del ingeniero, experiencia, juicio y de su familiaridad con el prototipo.

LOS MICROMODELOS HIDRAULICOS

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Históricamente se emplean modelos de fondo móvil para el análisis y diseño de estructuras en ríos y en sistemas de navegación. Estos modelos se hicieron principalmente para mejorar algunos problemas de navegación y en el caso de colocar estructuras hidráulicas como diques, puentes etc. para mejorar su funcionamiento. Estos modelos son bastante grandes y generalmente distorsionados. Debido al tamaño de los modelos de fondo móvil se requiere de muchos recursos para construir, operar y mantener los modelos en funcionamiento. Adicionalmente para llevar a cabo estudios en un modelo de este tipo toma muchos años para realizarlo.

Por las restricciones impuestas al Cuerpo de Ingenieros Civiles en EUA en St Luis District (MVS) a principios de los 90's por el costo prohibitivo, como una alternativa más económica para estudiar los ríos se desarrolló una nueva tecnología que usa modelos más pequeños para analizar la respuesta de los ríos, a esta nueva tecnología se le llamó micro modelos. Sin embargo, los micro modelos tiene reciente aplicación y el estado de conocimiento acerca de varios aspectos como (las pequeñas escalas y el alto grado de distorsión) que afectan la reproducción de los procesos físicos observados en el prototipo. Debido a que el conocimiento de estos efectos es limitado, por lo que su uso tiene limitaciones. Por lo tanto el modelador debe tener un grado mayor de precaución al usar este tipo de modelos.

De aquí que el modelador debe tener una comprensión de la ingeniería de ríos que incluye hidráulica básica, conceptos de morfología, sedimentación y una comprensión de la dinámica en el prototipo. *Los resultados del modelo son tan buenos como el conocimiento de la gente que los interpreta Ettema R.*

Las diferencias más significativas entre el micro modelo y los modelos de fondo móvil son la gran distorsión de la escala vertical, gran distorsión del Número de Froude/la pendiente, la no correspondencia de régimen de flujo, y el enorme número de condiciones de flujo que pueden evaluarse en un periodo pequeño de tiempo

1.2. Objetivos del Proyecto

Los objetivos de esta investigación son:

- Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de los micro modelos y equipos necesarios para su operación.
- Definición del proyecto ejecutivo de un micro modelo

2. LOS MICROMODELOS

Los micro modelos hidráulicos se usan generalmente para estudiar fenómenos en extensiones muy grandes como por ejemplo tramos de río, en estudios de erosión y sedimentación en tramos de ríos en donde interesa conocer como cambiará de forma el río tanto en su desarrollo en planta así como en cuanto a los procesos de erosión y sedimentación que se tienen lo cual es muy importante en el caso de los ríos, sobre todo para aquellos en los que se tiene navegación y es necesario que se tengan profundidades mínimas, para probar diseños que mejoren la navegación. También se usan para el estudio de evolución de deltas, costas, o evolución de procesos de transporte de sedimentos en costas.

Los micro modelos se empezaron a usar más frecuentemente en la década de los 90's debido a la restricción de fondos para estudios que anteriormente se hacían en modelos de fondo móvil. Otros de los factores que influenciaron a que esto sucediera fueron las presiones en tiempo y el costo.

Los micro modelos se desarrollaron en 1994 en St. Louis District (Davinroy 1994) del US Army Corps of Engineers (USACE). Micro modelos anteriores típicos del Río Misisipi reproducían alrededor de 20 km de río en una mesa de 1.9 m de largo.

Este tipo de modelos sirve como una herramienta para guiar las tendencias generales que podría esperarse que ocurrieran en un río para una variedad de alternativas de funcionamiento hidráulico. Los micro modelos ofrecen al ingeniero la oportunidad de obtener información adicional que no es fácilmente disponible del prototipo. Lo que se busca en este tipo de modelos es una respuesta cualitativa del transporte de sedimentos y de la hidrodinámica patrones de flujo en el tramo en estudio. En el diseño final se pueden hacer modificaciones de acuerdo con el conocimiento y la experiencia.

El micro modelo se construye de acuerdo con una fotografía aérea de alta resolución. La calibración y verificación del micro modelo tiene que ver con el ajuste de la descarga de agua, sedimento, la escala de tiempo del hidrograma, la pendiente del modelo, las condiciones de frontera. Estos parámetros se deben refinar hasta que la respuesta del modelo sea semejante a la del prototipo para una condición conocida.

Los patrones de flujo se pueden obtener usando trazadores como tinta o confeti y tomando fotografías de largo tiempo de exposición, o película, también se pueden deducir las velocidades en modelo.

En el micro modelo se busca una forma de similitud morfológica. Las variables consideradas son la localización del thalweg y en general en la tendencia en las elevaciones del fondo del río.

Algunos casos de aplicación de los micro modelos son los siguientes:

- Determinar la localización de diques, su longitud, altura, ángulo, número.
- Estimar la cantidad de dragado
- Proporcionar la topografía para otro modelo físico o numérico
- Los modelos son demostrativos y educacionales. Para demostrar los principios de la mecánica de ríos, explicar y demostrar los procesos de transporte de sedimentos en cauces, el realineamiento de ríos.
- En estudios de estuarios y problemas en bahías-transporte costero.
- Visualización de patrones de flujo en grandes estuarios, en entradas, o donde la separación de flujo y estructuras de flujo en tres dimensiones pueda ocurrir
- Obtener mediciones de velocidad cerca de estructuras y en regiones de flujo turbulento asociadas con la separación de cuerpos sólidos.
 - Cuantificar las condiciones de flujo en casos idealizados para uso en la validación de técnicas de modelación numérica.
- Cuantificar y examinar impactos de proyecto debido a modificación de estructuras, adición, remoción o relocalización.
- Observar la extensión de flujo tridimensional en orden de determinar la correcta aproximación en la modelación numérica.

2.1. Componentes de los Micro modelos

Los micro modelos consisten de los siguientes componentes:

- 1) Una placa o mesa donde se modela el tramo de río, esta se inserta en una base
- 2) Una base que sostiene la placa o mesa y que consta de los tanques de alimentación y salida del agua y sedimento, una bomba sumergible.
- 3) Un controlador computarizado proporciona la comunicación entre la computadora y la válvula que controla el flujo de agua en el modelo.
- 4) Las orillas del río se cortan verticalmente y el canal se llena con partículas granulares en un rango de tamaño de 0.25 a 1.2 mm con una gravedad específica de 1.48. Aguas abajo, al final del canal se tiene una caída libre. Las islas son simuladas con límites sólidos y paredes verticales en el modelo.

En la figura 1 se muestra una fotografía de un micro modelo, donde se muestran las tuberías y válvulas de control electrónicos, bombas, la red de tuberías es de carga constante, y medidores de flujo, todo interconectado con un sistema de control por computadora.



Figura 1. Micromodelo y algunos equipos medidores de flujo y válvulas electrónicas.

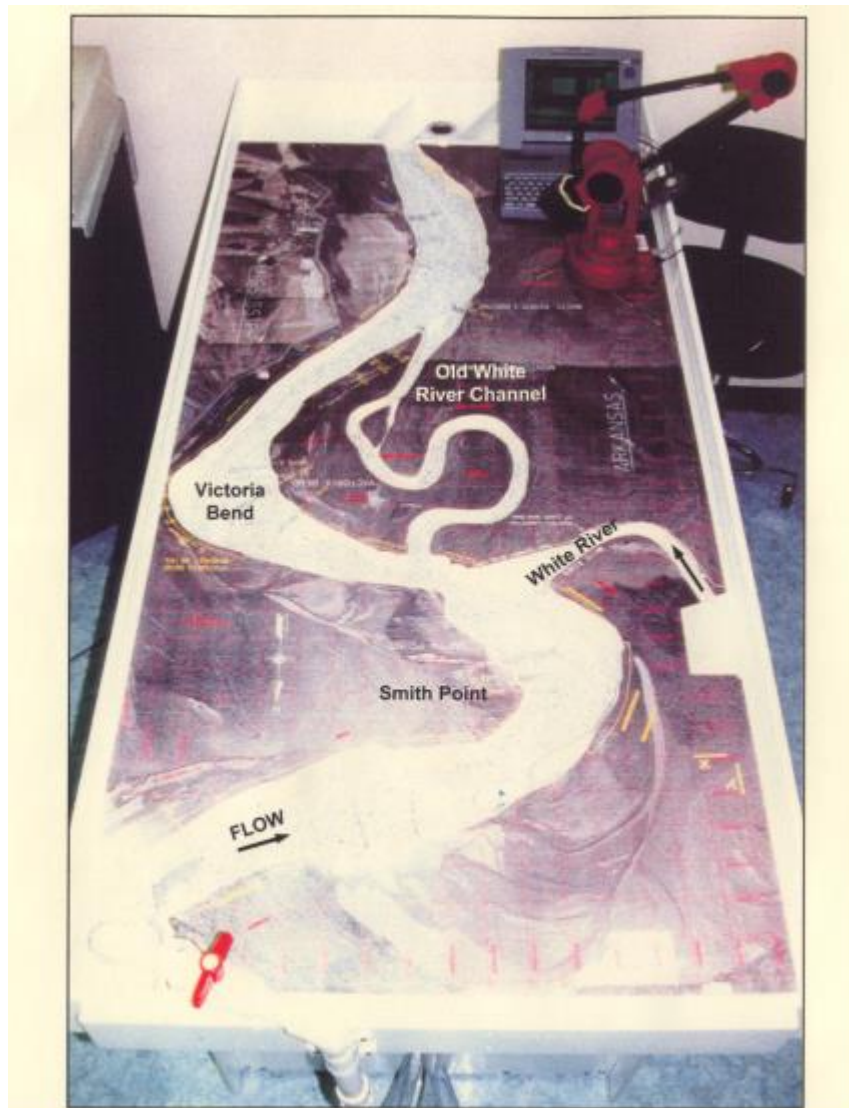


Figura 2. Micro modelo del Río Blanco, U.S. Army Engineer District, Memphis, Corps of Engineers.

MODELANDO CON MICROMODELOS (HYDRAULIC SEDIMENT RESPONSE)

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América (USACE) ha empleado Hydraulic Sediment Response (HSR) modelos, inicialmente llamados Micro Modelos (Davinroy, 1994, Gaines 2002) desde 1994 para tratar una variedad de problemas relacionados con los bancos de arena y la socavación en las vías navegables internas en los Estados Unidos (Davinroy 1999). Las vías fluviales modeladas incluyen el Misisipi, Atchafalaya, Blanco, Misouri, Ohio, Brazos, y Kaskaskia Rivers. Los modelos físicos a pequeña escala utilizan material de fondo sintético para simular la respuesta del fondo, usan varios materiales para representar los límites fijos para representar características de los límites fijos tales como las orillas o bordes del río, las

islas, las estructuras de los diques, las formaciones rocosas y de arcillas consolidadas.

Las alternativas de diseño se desarrollaron a partir de los resultados del modelo para resolver problemas tales como el dragado repetitivo de mantenimiento, la restauración de canal lateral, y otros problemas relacionados con la navegación. Los Modelos micro modelos (HSR) reemplazan el uso de modelos de fondo móvil de carbón u otro material como arena, de gran escala. En los modelos se puede examinar la respuesta de los sedimentos en el río localizando las áreas de erosión y depósito.

El Centro de Ingeniería de Ríos Aplicada en el Distrito de St. Louis utiliza "micro-modelos" para desarrollar soluciones innovadoras a distintos problemas de sedimentación. Muchas veces, estas soluciones se encuentran en lo que llamamos "obras de regulación". Por necesidad, los ingenieros fluviales del centro buscan implementar diseños estructurales que funcionen en armonía con las leyes naturales del río para resolver problemas relacionados con la sedimentación, la erosión y la diversidad biológica, a la vez que proporcionan un canal de navegación seguro y confiable, ver figura 3.



Figura 3. Micromodelo y equipos

2.2. Equipos

Lasers

La información de los datos de la batimetría del modelo HSR se tomaron con un Laser scanner tridimensional (3D) y las velocidades con un láser Doppler velocimeter (LDV).

3D Laser Scan

En orden de documentar los resultados del modelo HRS, se necesitó coleccionar datos aproximados y compararlos con los datos del río. En el fondo del río en el modelo se obtuvieron batimetrías con un láser escáner de alta definición 3-D que tomó miles de datos en coordenadas x y z. Las coordenadas (x,y,z) se introdujeron en ARCGIS y se convirtieron en forma de batimetría que se pudo comparar fácilmente con las curvas batimétricas del río. La comparación entre

el modelo y el río fue una manera eficaz para determinar si las tendencias generales en la batimetría del modelo se ajustan con las tendencias generales de la batimetría en prototipo.

Laser Doppler Velocimeter en Miniatura (Miniature Laser Doppler Velocimeter)

Otro instrumento que se usa es el Mini Laser Doppler Velocimeter. Esta nueva pieza de la tecnología mide la magnitud y dirección de la velocidad del agua en el modelo. Las velocidades se introducen en ARGIS y los vectores de velocidad resultante se comparan con los vectores de velocidad medidos en el río. Estos resultados ayudan a determinar donde se tienen altas velocidades en el modelo, bajas velocidades, alineación y posibilidad de vórtices, los cuales son localizados y se observa si son similares a los del flujo del río.

Estos dos métodos de medición permiten a los ingenieros modelar aproximadamente y efectivamente porciones de río y encontrar soluciones exitosas para el medio ambiente y para resolver problemas de navegación.

Cámaras de alta resolución

Se usan para la visualización del flujo y para grabar las observaciones generales del modelo. En la figura 4 se muestran los equipos utilizados en los micromodelos

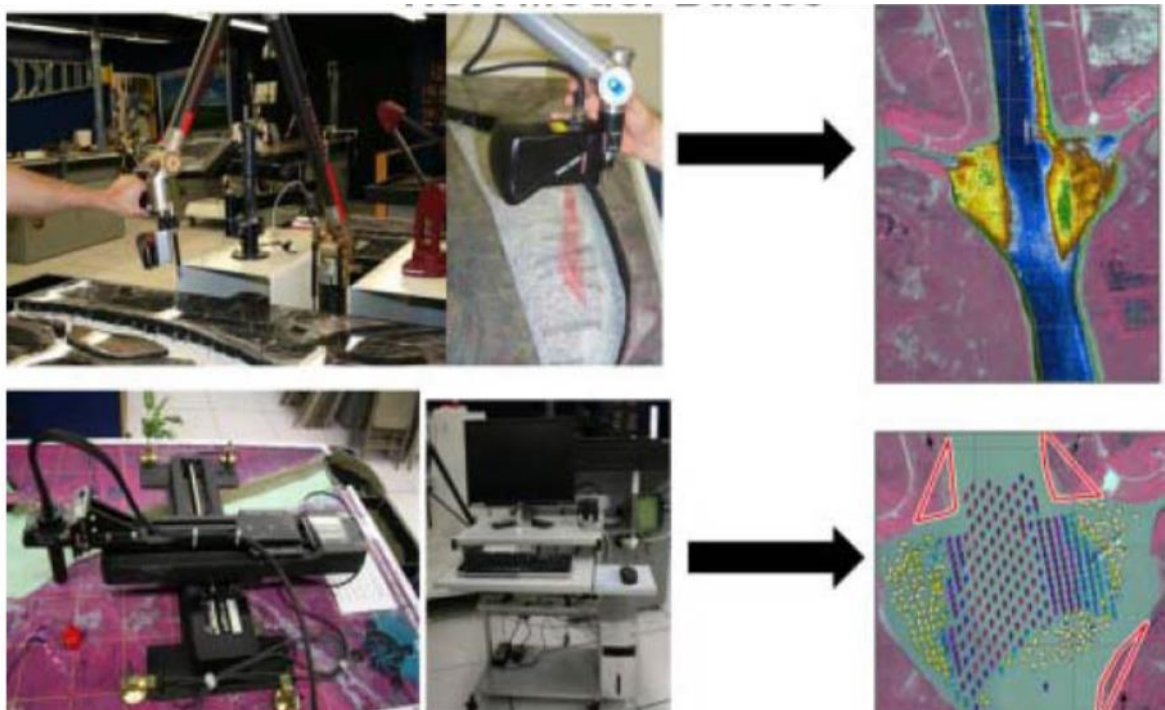


Figura 4. Equipos Utilizados en los Micromodelos. (a) Laser scanner, (b) Laser bathimetría, (c) Laser Doppler Velocimeter (LDV), and (d) Vector de velocidad de salida normalizado LDV

Visualización de Flujo

La visualización de flujo es una herramienta que sirve para monitorear los patrones de flujo en los micromodelos. El método preferido es pintar el agua de negro y sembrar el agua con tinta blanca (poli-urea-de grano-poly-Urea-grit) en la entrada del modelo. El sedimento seco flota sobre la superficie del agua y proporciona una representación de los patrones de flujo superficiales en el modelo. Se usó una cámara de alta definición para grabar aproximadamente 30 segundos del sedimento flotando a través del área en estudio. La grabación se procesa con un software que reduce la velocidad a aproximadamente 20% la velocidad original. La reducción en la velocidad del video permite ver más fácilmente y seguir las trayectorias de los patrones de flujo, ver figura 5.

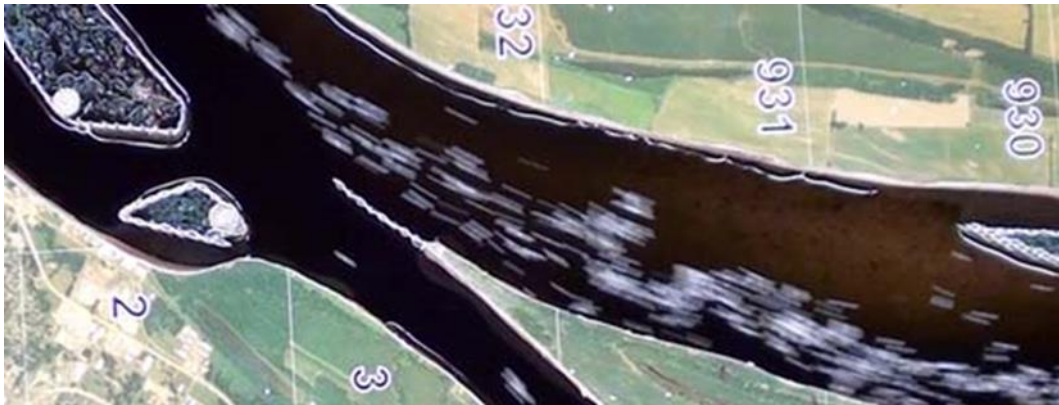


Figura 5. Visualización de flujo en un micromodelo

2.3. Construcción del Micromodelo

El modelo HSR consta de un inserto de forma plana construida a partir de espuma de poliuretano fabricada para geo-referenciar una fotografía aérea. El inserto se coloca dentro de un canal hidráulico que contiene un depósito, válvulas de control electrónicas, bombas, una red de tuberías de carga constante, y medidores de flujo, todo interconectado con un sistema de control computarizado.

El agua y el sedimento (plástico granular, urea de gravedad específica 1.4) se introducen para la simulación a través del inserto en el canal. Se establece un sistema de coordenadas para coleccionar los datos. Un Laser scanner se usa para coleccionar la batimetría y un mini laser para obtener los vectores de velocidad del modelo. Con esta información se puede hacer la comparación con mediciones hidrográficas y con las velocidades obtenidas con medidores Acoustic Doppler Current Profiles (ADCP) del río. **Placa Base**

Para la placa base del modelo se necesitan dos hojas de lámina de espuma se deben pedir antes de construir los insertos del modelo, una de 3"x4'x8' o 10' 18

NC PCF un tablero a prueba de luz y una de 1" x4'x8' o 10' 30 NC PCF tabla ligera a prueba de luz.

1. Imágen Georeferenciada

El Cuerpo de Ingenieros proporciona una imagen georeferenciada. La imagen y la lámina de PVC se fijan a la parte superior del tablero a prueba de luz. La imagen del área se obtiene usando fotografías aéreas georeferenciadas en formato tif y luego adicionando como referencia varias características como las coordenadas del plano, las flechas del norte y los diques y vertedores se marcan en la imagen. Otras características pueden colocarse como los nombres de las ciudades, islas y estructuras.

2. Laminado

Una vez que se terminó el diseño a satisfacción de los ingenieros el archivo se convierte a formato PDF y se copia a una unidad de disco flash drive y se imprime a una escala elegida. La impresión es laminada y pegada a una tabla de ¼ " de PVC de 4'x8' o 10'. El siguiente paso es recortar el PVC en la misma dimensión que la imagen. El PVC que se usa es de tipo blando, y puede cortarse con una navaja o cutter.

3. Rompecabezas Simple

Ahora la placa de espuma de 1 pulgada y la plancha de espuma de 3 pulgadas se cortan a la dimensión especificada de la imagen general. Se arma como un simple rompecabezas.

4. Preparación de la Placa Base

El siguiente paso es unir la placa base de 1 pulgada con el tablero de espuma utilizando un enlace epóxico 101. Se necesitan dos botella de éste esparcidas de manera uniforme en la placa base de 1 pulgada. A continuación, un tablero de espuma de 3 pulgadas se coloca en la parte superior de este y se lastra con 25 libras de pesos que se distribuyen de manera uniforme sobre toda la superficie a fin de eliminar asentamientos irregular de las capas de inserción y pegamento. Al realizar esta tarea debe tenerse cuidado de que al insertar las capas permanezcan alineadas. Durante este proceso puede ser necesario hacer correcciones. Una vez lastrado y corregido, las capas deben dejarse curar por más de 48 horas.

5. Corte

Cuando todas los epóxicos y el material de calafateo han curado por completo, el canal principal del río que se está modelando se cortan los canales laterales con una sierra caladora. Los cortes se hacen a lo largo de las líneas de vegetación de ribera. Comenzando en el extremo de aguas abajo, utilizando una cuchilla de diente fino cortando a no más de 3 pulgadas de largo,

los canales de los ríos. El corte debe terminar aproximadamente a 1/2 pulgada del extremo de aguas arriba del inserto. Esta pequeña sección en el extremo aguas arriba del cauce del río se debe dejar para contener el agua en el inserto al inicio del canal. Un cincel (o varios cincelos de diferente tamaño) se utilizan para cortar el canal hasta la profundidad de la placa de base de 1 pulgada, dejando de nuevo aproximadamente 1/2 pulgada en el final de la entrada como una pared.

6. Retocar

A continuación, las ranuras para los diques se cortan con el Dremel. Estas ranuras tienen que cortarse alineados con el ángulo del dique, y también se cortan a través de la capa de espuma de 3 pulgadas pero no de la capa de PVC de 1/4 pulgada. El disco de corte de metal es adecuado para esta tarea. Se cortan ranuras más grandes que 1/4 de pulgada de ancho en cada orilla del río desde la parte inferior del canal a través de la parte superior de la capa de PVC, aproximadamente 1/2 pulgada del extremo de aguas abajo del inserto. Esta ranura más grande se usará para colocar una compuerta que se subirá o bajará durante la operación del modelo. El paso final es colocar silicón en las juntas donde la pared del canal se encuentra con el piso del canal de espuma, junto con cualquier otra imperfección en la espuma. Después el silicón se ha secado, a continuación, todo el canal se va a pintar con pintura negra de alberca como un sello final de la espuma.

7. Acabado

Sedimento blanco grisáceo de urea (gravedad específica ~ 1,4) y el agua se añaden al modelo acabado, que representa el cuerpo natural de agua que fluye.

2.4. Calibración del Micromodelo

La calibración del micro modelo se inicia con un ajuste de la pendiente y del volumen de sedimento para producir un estado de movilidad de sedimento dada una descarga constante.

Para calibrar y validar el modelo se requiere:

- Realizar corridas en el modelo hasta reproducir una condición conocida del prototipo
- Probar el modelo para diferentes condiciones del prototipo conocidas para ver si este reproduce los cambios que ocurren (validación)

Davinroy y Gordon establecieron que una calibración adecuada existe cuando ocurren las siguientes características:

- 1) Las tendencias batimétricas, resultantes son semejantes a las observaciones actuales del río en estudio. Esto incluye tendencias batimétricas observadas en canales principales, y laterales.
- 2) En el transporte de fondo, la entrada y salida de agua sedimento, se tiene un equilibrio relativo en el movimiento continuo del sedimento sin formarse tramos de agradación y degradación.
- 3) El modelo tiene una simulación adecuada en la forma del río en planta, que se basa en la alineación del thalweg.

En el micro modelo se usan diques porosos para resolver el problema de socavación exagerada alrededor de diques que ocurren en otros modelos distorsionados.

En el micro modelo se pueden evaluar una gran cantidad de condiciones debido a la corta duración de los hidrogramas, a que no es necesario moldear la batimetría, y a las mediciones automatizadas de la batimetría.

Si en la calibración las tendencias no corresponden con las características de funcionamiento del prototipo se pueden realizar ajustes a una o más de las siguientes opciones:

- 1) La pendiente del tablero, S
- 2) La cantidad de sedimento en el modelo, Q_s
- 3) El tamaño forma y elevación de la caída libre al final del río, H
- 4) Las condiciones de entrada de flujo, H
- 5) El hidrograma, Q
- 6) La escala vertical y el fondo



Figura 6. Micro modelo del Río Mississippi, U.S. Army Engineer District, Memphis, Corps of Engineers.

2.5. Similitudes y Diferencias de los Micromodelos con los Modelos de Fondo Móvil de Escala Grande

El desarrollo inicial de los micromodelos (HSR) resultó después de años de experiencia y observación en los modelos de fondo móvil que se usaron en los Estados Unidos en la antigua Estación Experimental (Waterways Experiment Station WES). Estos modelos se consideraron la norma de los modelos de fondo móvil para la USACE. Por lo tanto se estudió cuidadosamente su operación y su exactitud en la verificación de la respuesta del fondo en el modelo, en comparación con el río. Ambos tipos de modelos de pequeña y de gran escala de fondo móvil no siguen rígidamente las relaciones de similitud establecidas por Froude y Reynolds.

En los modelos de fondo móvil se usaron frecuentemente tres técnicas para incrementar la movilidad del sedimento en orden de alcanzar e igualar el parámetro de Shields en modelo y prototipo. En el parámetro de Shields; la densidad del agua ρ ; la densidad del sedimento del prototipo ρ_s ; es relativamente constante; el diámetro de las partículas D , no puede escalarse debido a problemas con la cohesión de las partículas y a que sería en forma gruesa la misma para el caso de arena de ríos aluviales. Por lo tanto para incrementar el parámetro de Shields o hacerlo igual en modelo y prototipo los únicos parámetros que se pueden variar son: ρ_s , R , y la pendiente i . Los ajustes de estos tres parámetros llevan a tres técnicas usadas en modelos de fondo móvil.

1) *Aligerar el sedimento.* La mínima gravedad específica del sedimento con gravedad específica entre 1.05. Pero el sedimento ligero tiene que manejarse cuidadosamente y es difícil echar a andar el modelo. En la práctica se ha usado cáscara de nuez con una gravedad específica de 1.3, carbón con una gravedad específica de 1.3 ha sido muy común en los estudios en modelos de fondo móvil.

2. *Distorsión vertical.* La distorsión de la escala vertical resulta al intentar modelar un canal de prototipo con un modelo que tiene una relación de aspecto (ancho/tirante) que es menor que el prototipo. Los primeros estudios en modelos de fondo móvil realizados por Reynolds tenían una distorsión de la escala vertical superior a 60. La ASCE (2000) sugiere una distorsión máxima de seis.

3. *Exagerar la pendiente del modelo.* Esto lleva a números de Froude mayores en el modelo que los del prototipo, F_m/F_p de 1.67 se clasifica como aceptable. Vollmers (1986) usó una exageración de 1.4 en el modelo de fondo móvil del estuario Elba que tenía una distorsión en la escala vertical de 8.

En los micromodelos o HSR, más bien, estos modelos se centran en la similitud de la respuesta del fondo en tres dimensiones del modelo con respecto a los levantamientos hidrográficos del río. Esta similitud se logra a través de un proceso de calibración empírica diseñada para producir en última instancia " la réplica" en el caso del modelo HSR y " la verificación" en el caso del modelo de fondo móvil de carbón a gran escala.

El proceso de calibración en los modelos HSR involucra ajustes en el gasto, la pendiente del modelo y las condiciones de entrada, la escala vertical, volumen de sedimento y condiciones de frontera fijas. Los modelos son distorsionados linealmente (escala horizontal a vertical) para generar suficiente fuerza necesaria para el movimiento del fondo. La distorsión varía de pequeña como 6 a grande como 22. Reynolds usó una distorsión de 33 en su modelo de fondo móvil del estuario del Río Mersey, Reynolds (1887).

Dos diferencias operacionales y una similitud entre los modelos de gran escala y los HSR.

Primera, El empleo de rieles de referencia segmentados sobre el modelo con pendientes variables (Foster et al. 1978)



Figura 7. Sistema de rieles para un modelo de fondo móvil de escala grande (U.S. Army Engineer Waterways, Experiment 1937)

Los rieles se usaron para apoyar las plantillas del fondo chapa o una configuración de barra para la creación de contornos del fondo interpolados o "moldeados" entre secciones transversales relacionados a escala, o de una estación hidrográfica del río. Durante las pruebas, si una área particular localizada del fondo no se desarrollaba adecuadamente a la elevación correcta, se aplicaba una pendiente complementaria (Franco, 1978) mediante el ajuste de estos rieles.

Los modelos HSR no usan rieles, ni molduras del fondo, ni hacen ajustes localizados en las pendientes. Los ingenieros experimentaron con estos procedimientos que cualquier modelado artificial del fondo o cambio localizado con los rieles fue limitado temporalmente y limitó el fondo del modelo a buscar su propia forma. De aquí que los modelos HSR se basan en la hidrodinámica y

el transporte de sedimentos para desarrollar su propio equilibrio del fondo y la resultante configuración tridimensional dentro del cauce. Los parámetros de calibración descritos aseguran que la superficie de agua y el plano de referencia usados para la colección de datos del fondo sean paralelos, ver figura 8.



Figura 8. Modelo de fondo móvil de carbón, Curva en Dogtooth, escala 1:400 horizontal, 1:100 vertical, and (b) modelo HSR, Río Atchafalaya, escala 1:7200 Horizontal, 1:1200 Vertical

Segundo, los modelos de fondo móvil usaban una curva con una relación exponencial de la descarga entre modelo y prototipo (Franco 1978) cuando corrían los hidrogramas del flujo. Fue requerido controlar los escenarios del modelo. La aplicación estricta de las relaciones teóricas entre modelo y prototipo resultó insuficiente para el movimiento del material en el modelo para gastos bajos y en movimientos violentos para gastos altos (WES Resp, 1953). Se usó una compuerta a la entrada del flujo, subiéndola y bajándola, para producir el escenario del hidrograma a escala. El sedimento fue introducido a la entrada del modelo y medido a la salida del modelo antes y después del ajuste del hidrograma y después de checar la estabilidad del fondo.

La compuerta a la salida se mantiene fija y los modelos se corren en un equilibrio dinámico utilizando un sistema de recirculación de sedimento mientras se aplica un gasto dominante permanente. El gasto y los tirantes son

directamente escalables. Ellos representan una respuesta controlada de energía usada para fluidizar realísticamente el fondo y producir similar depositación y erosión como la observada en el río. Las avenidas no se simulan. De la operación del modelo se simula la respuesta del cauce al gasto formativo que mejor desarrolla la respuesta observada en el río. Se han realizado refinamientos en las válvulas de control, bombas, para mantener una carga constante, para mejorar la respuesta del modelo.

Últimamente los modelos de fondo móvil y los modelos HSR ambos emplean varios materiales para simular los efectos de la rugosidad y de las fronteras. En modelos de fondo móvil, se han usado una variedad de diferentes materiales para representar las estructuras de protección y las características de las orillas no erosionables dentro del cauce.

Los materiales de uso más común son el concreto, varios tamaños de piedras y grava, haydite, rejillas de metal, y láminas de metal. En los modelos HSR, se han usado mallas galvanizadas, para simular las estructuras de protección, arcilla y polymesh para las orillas, y oxido de aluminio fino y grava para las fronteras no erosionables como roca y arcilla consolidada arcilla que se tienen dentro del cauce.



Figura 9. Materiales usados en los modelos HSR

Uno de los aspectos más importantes de los modelos HSR es su capacidad para reproducir la respuesta tridimensional del fondo a los efectos de estructuras de protección. En el Distrito de St. Louis USACE la experiencia con los modelos de fondo móvil usados para estudios en ingeniería de ríos entre 1980 y 1990, diferentes tipos de material que no se habían usado previamente fueron usados para representar diques, incluyendo láminas de metal y conglomerados piedra-cemento (Davinroy, 1986).



Figura 10. Láminas de metal como diques en el modelo del Puerto de St. Louis

En muchos casos, la respuesta del fondo observado alrededor de estas estructuras no era representativa de lo que se observó en el río. La socavación observada en varios estudios de fondo móvil de carbón fue excesiva alrededor de las estructuras de hoja de metal y de roca. En ambos casos, la socavación era tan grande alrededor de las estructuras que la parte inferior de la canaleta de hormigón quedó expuesta. En los primeros años del desarrollo de modelos HSR, se representaron los diques de roca en el modelo mediante el uso de finas láminas de metal y plástico impermeable. Se observó la misma respuesta a la socavación en los primeros estudios de micromodelos. Al igual que en los grandes modelos de fondo móvil de carbón, la socavación fue exagerada alrededor de las estructuras, esto se aceptó como una limitación del modelo. La filosofía que subyace a los grandes modelos de fondo móvil de carbón era que mientras las tendencias generales del río global fueran observadas, se podían hacer conclusiones de la tendencia general sobre la eficacia de los diques en el modelo. La misma filosofía se utilizó para los primeros micromodelos.

Sin embargo, a través de la investigación continua en los HSR, se encontró que si la estructura o dique no se simula correctamente la respuesta, o la capacidad de replicar la respuesta del lecho del río se vuelve extremadamente difícil. A través de la experimentación, las estructuras de malla de acero galvanizado (Figura 10) han demostrado ser muy eficaces en la reproducción de las respuestas del fondo de las estructuras de diques sólidos observados en el río y ahora son ampliamente utilizados en el modelo HSR. La porosidad de estas estructuras de malla permite una relativa disminución de la rugosidad y por lo tanto una reducción de la turbulencia, y en la fuerza y en los esfuerzos cortantes aplicados al fondo móvil del modelo. Se han realizado otras mejoras en la reducción de la rugosidad del modelo en las orillas de los ríos y de las islas incluyendo Polymesh y otros materiales permeables.



Figura 11. Diques de malla de alambre galvanizado en modelo HSR.

En el micro modelo se usan diques porosos para resolver el problema de socavación exagerada alrededor de diques que ocurren en otros modelos de fondo móvil distorsionados.

En el micro modelo se pueden evaluar una enorme cantidad de condiciones debido a la corta duración de los hidrogramas, a que no es necesario moldear la batimetría, y a las mediciones automatizadas de la batimetría.

La Principal diferencia en las condiciones iniciales de fondo móvil.

Mayor Diferencia en Loose Boundary condiciones de partida

El modelo HSR se basa en la hidrodinámica de replicar las condiciones de partida de "fondo móvil" del río, a diferencia de los modelos numéricos de sedimentos o modelos físicos de fondo móvil a gran escala. Para estos últimos, la batimetría existente del río se fija como condición de partida una condición de "fondo móvil o suelto" (Raudkivi 1990). La metodología de modelado HSR emplea un proceso de calibración diseñado para reproducir la condición de frontera del fondo móvil del río en el momento del estudio del modelo. La replicación se define como la capacidad del modelo para reproducir la respuesta del fondo móvil del río. Esto se logra durante la calibración del modelo e implica un proceso de tres pasos.

En primer lugar, se establecen las condiciones de contorno forma en planta fijas el tramo de estudio, es decir, las orillas del río, las islas, los canales secundarios, los afluentes, y otras características de acuerdo con las fotografías de alta resolución y la topografía de fotografías aéreas disponibles más recientes. Se definen también otras fronteras fijas que existen en el río incluyendo las estructuras del río; formación de roca sumergida, arcilla consolidada, y otras fronteras fijas. En segundo lugar, se desarrollan las condiciones de frontera móvil o suelta del modelo. El material del lecho del canal es sintético y se introduce en todo el modelo en una cantidad arbitraria hasta alcanzar un nivel plano. Se simulan la descarga dominante en estado

estacionario y el transporte de sedimentos a través del canal de modelo. Durante la simulación se realizan, los ajustes de la descarga de agua, del volumen de sedimentos, de la escala vertical modelo, de la pendiente de la base del modelo, y las condiciones de entrada se afinan. Utilizando la física natural de la hidrodinámica y del transporte de sedimentos, el objetivo del modelo es el desarrollo del fondo plano estático inicial, a un fondo completamente formado, dinámico, con respuesta tridimensional de fondo móvil, reproduciendo la respuesta observada en el fondo del río. Después de numerosas simulaciones de descarga, la configuración del fondo resultante en el modelo se mide a cada momento con un láser durante la fase de calibración y se compara con los levantamientos hidrográficos del río. Múltiples corridas se simulan para la garantía de la estabilidad del modelo y la repetibilidad. Cuando las tendencias generales de la batimetría del fondo del modelo son similares a la batimetría del río observada recientemente, es decir, los bancos de arena y fosas de erosión se desarrollan con dimensiones y elevaciones aceptables, los cruces de canales y la traza de la vaguada se encuentran en los lugares adecuados, y estas dimensiones y tendencias son repetibles y en equilibrio dinámico de corrida a corrida, el modelo se considera replicado y se pueden iniciar las pruebas de alternativas para probar futuros cambios.

Análisis de errores cuadrados, modelos de fondo móvil (fondo de carbón) a gran escala frente a los modelos HSR

Las variables morfológicas se evaluaron cinco variables morfológicas realizando una comparación de la vaguada o thalweg y de las secciones transversales para un nivel del agua de referencia bajo (LWRP, 97 % excedencia). Los resultados indicaron que 14 micromodelos HSR estuvieron en el mismo orden de similitud morfológica y de acuerdo con el río actual, así como los 16 modelos de fondo móvil de carbón. Los modelos HSR variaron en escalas horizontales entre 1:3600 a 1:20,000 y distorsiones entre 6 y 20. Los modelos de fondo móvil variaron en escalas horizontales entre 1:72 a 1: 600 y distorsiones entre 1 y 10. La figura 12 se muestra que modelos de pequeña escala se comportaron mejor que los modelos grandes en reproducir la localización de la vaguada o thalweg. La figura 13 muestra que los modelos de pequeña escala HSR variaron ligeramente más que los de gran escala en la reproducción de las secciones transversales.

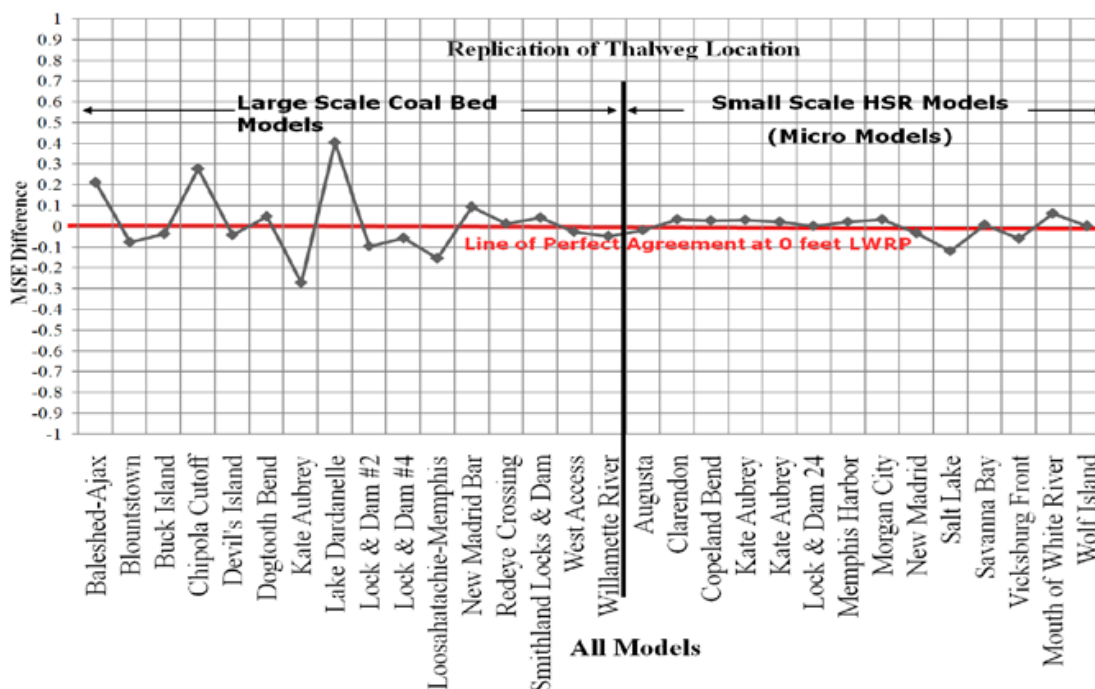


Figura 12. Análisis de errores medios cuadrados, en modelos de fondo móvil de gran escala frente a los micromodelos HSR, en la localización de la vaguada o thalweg.

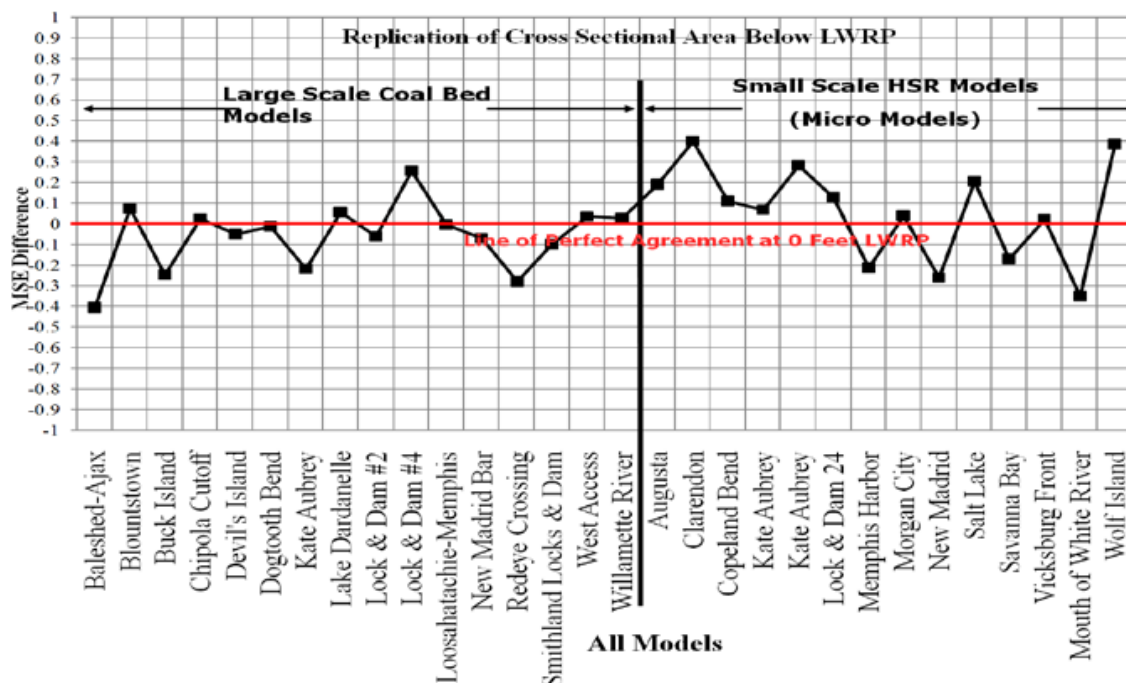


Figura 13. Análisis de errores cuadrados, modelos de fondo móvil de carbón a gran escala frente a los modelos de HSR, en la representación de la sección transversal media

3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE MICROMODELOS

3.1. Micro modelo de Nueva Madrid, en el Río Misisipi

El estudio en micro modelo de Nueva Madrid, en el río Misisipi realizado por Davinroy 1996, fue conducido para desarrollar una solución al mantenimiento del dragado en el canal principal de navegación. La calibración tuvo grandes discrepancias en el tirante al compararlo con el prototipo. La localización de la sección AA es donde se probaron algunas de las alternativas. Como se muestra en la figura 12, la erosión alcanzada fue de alrededor de 21 m abajo del plano de referencia de flujo bajo y en el prototipo fue de 6 m.

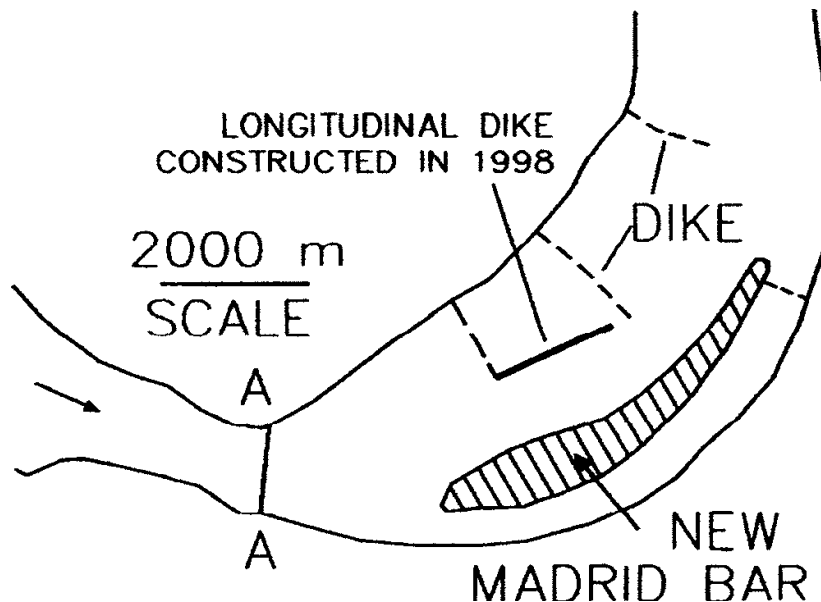


Figura 14. Representación esquemática de Nueva Madrid, en el Río Misisipi, el micro modelo con escalas=1:19,000 horizontal, 1:1,200 vertical.

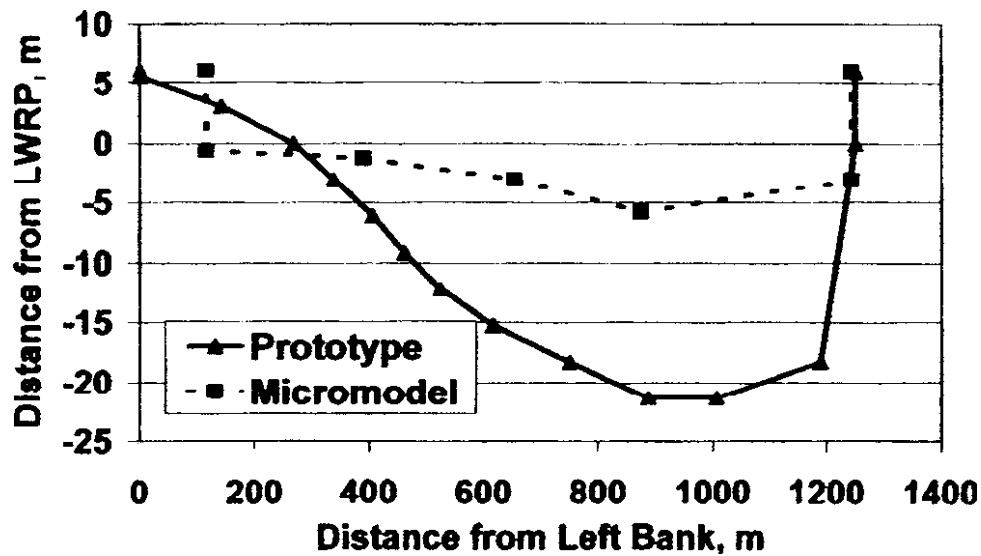


Figura 15. Secciones transversales de prototipo y del micromodelo en Nueva Madrid, Misisipi

3.2. Micromodelo de la Boca del río Blanco

El principal objetivo del estudio de la Boca del Río Blanco realizado por Gordon et al. 1998 fue evaluar alternativas de diseño que proporcionaran condiciones que mejoraran la navegación cerca de MOWR ver figura 5. En este estudio se involucraron las condiciones de navegación en la confluencia de dos ríos navegables, el Misisipi y el Blanco. La calibración del micromodelo y la comparación de las pruebas con el prototipo fueron satisfactorias aguas arriba de la boca, pero en la boca y aguas abajo, la batimetría del modelo difirió significativamente del prototipo

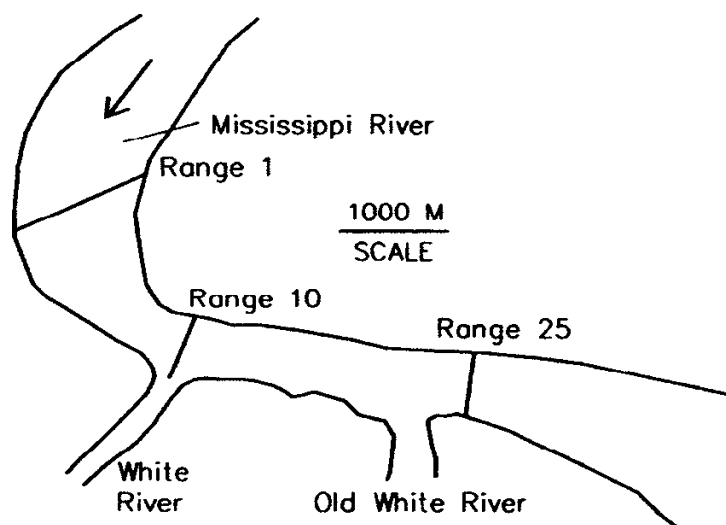


Figura 16. Diagrama esquemático de la Boca del Río Blanco en su confluencia con el Río Misisipi. El micro modelo con escalas=1:12,000 horizontal, 1:1,200 vertical.

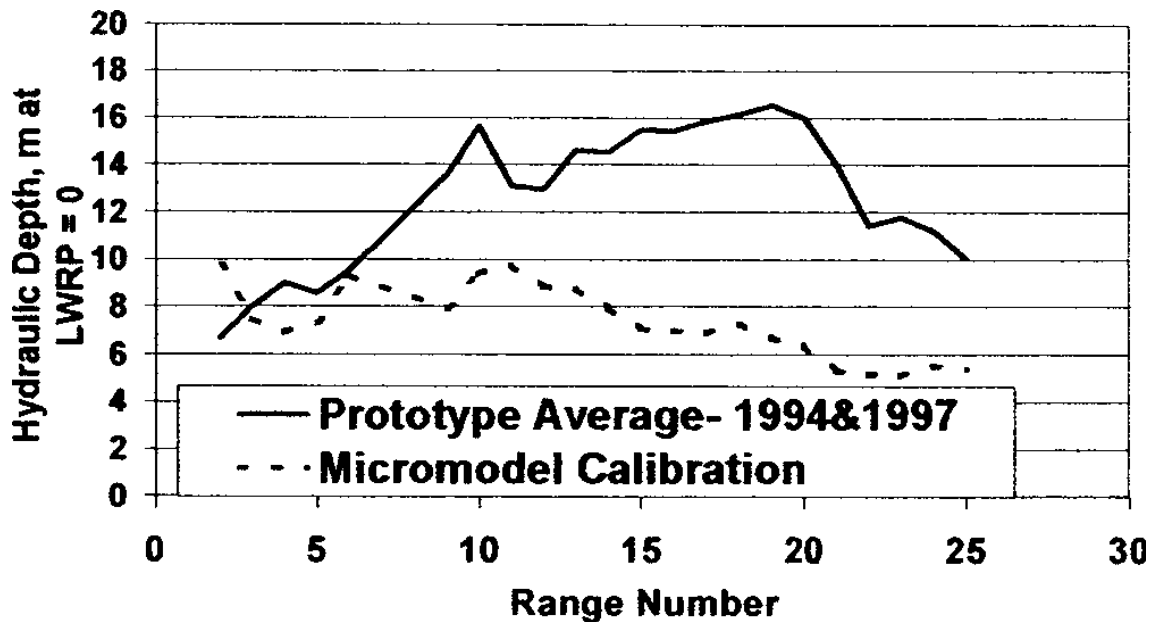


Figura 17. Tirante hidráulico en le Boca del Río Blanco en diferentes secciones

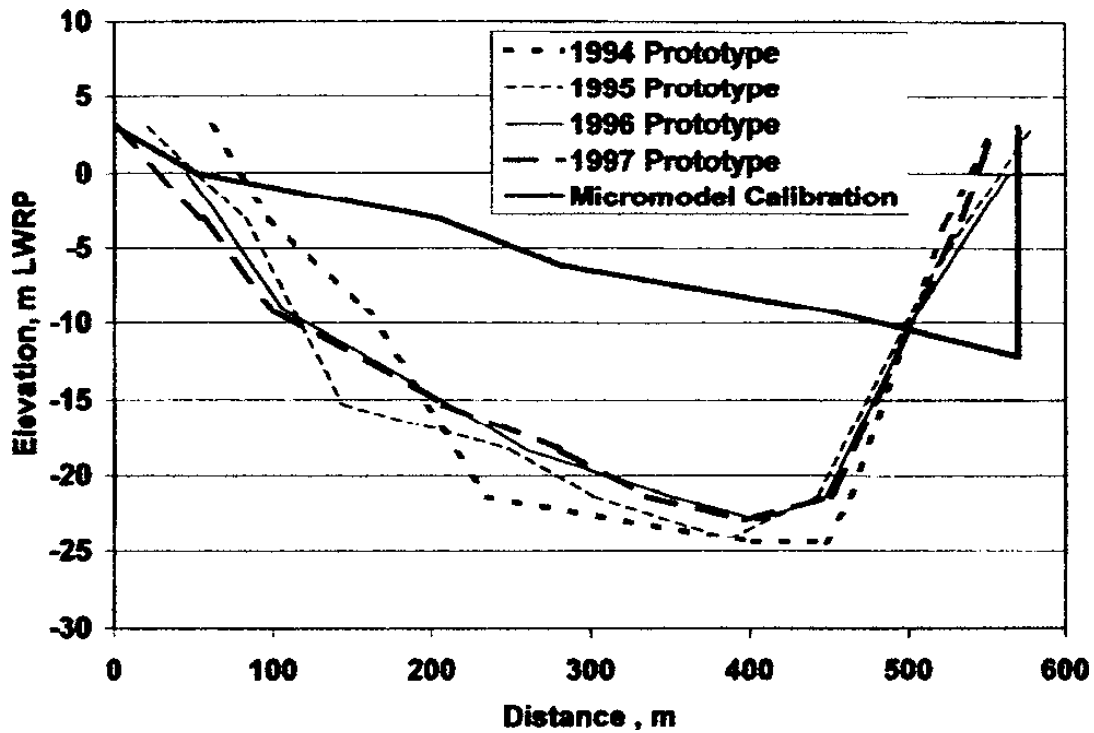


Figura 18. Sección transversal en la Boca del Río Blanco, En la sección 17

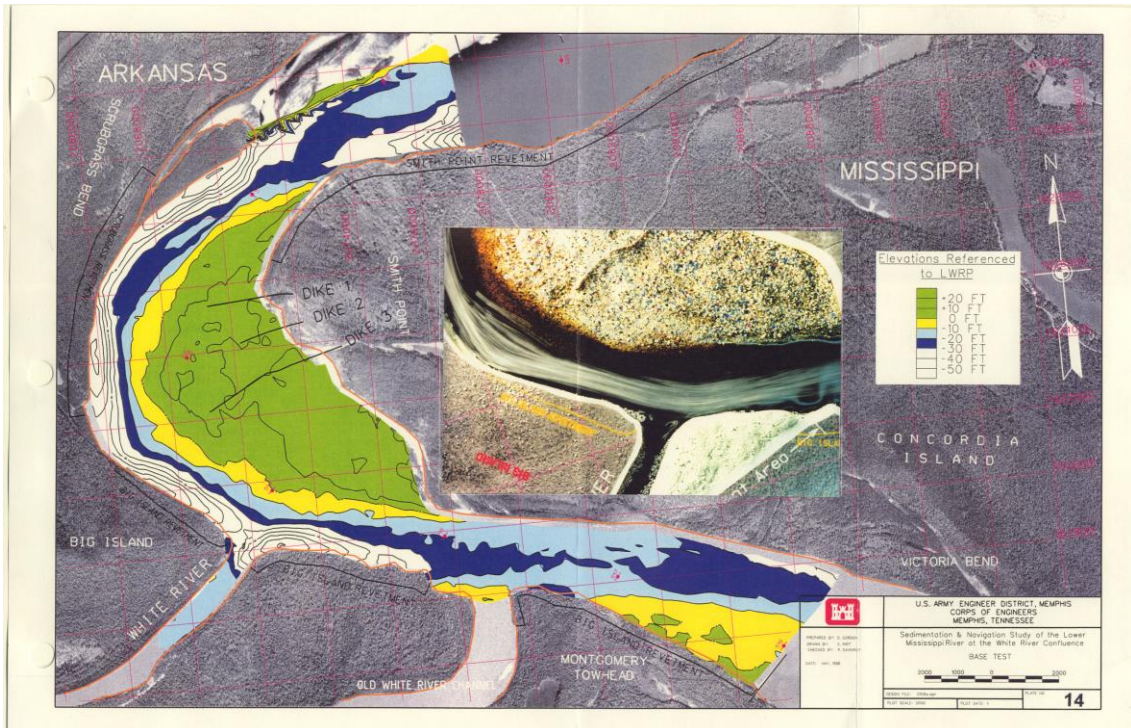


Figura 19. Funcionamiento Base del micro modelo. Comparación micro modelo con el comportamiento en prototipo

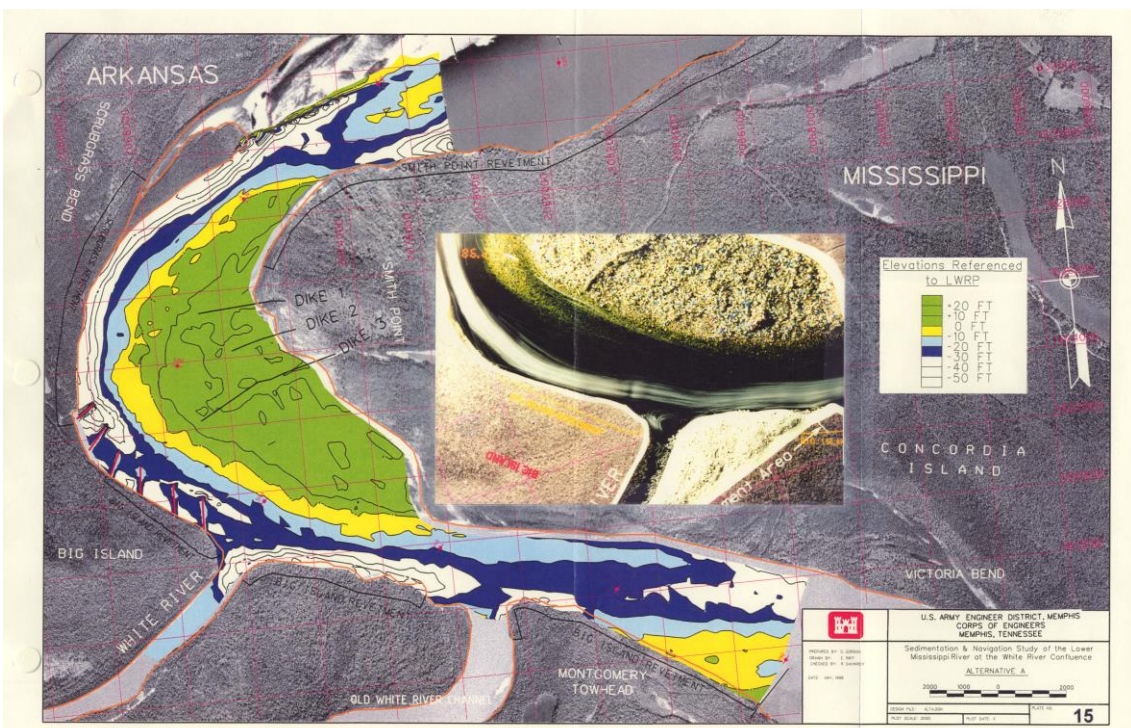


Figura 20. Micro modelo del Río Misisipi y su confluencia con el Río Blanco, Alternativa A.

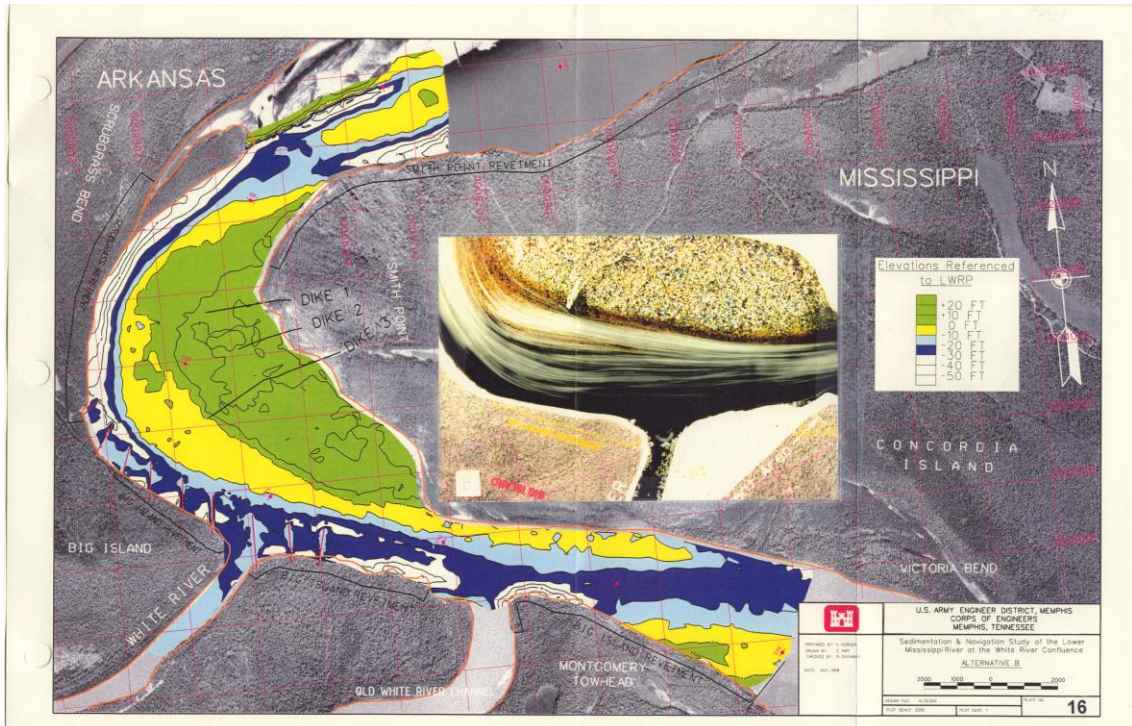


Figura 21. Micro modelo del Río Misisipi y su confluencia con el Río Blanco, Alternativa B

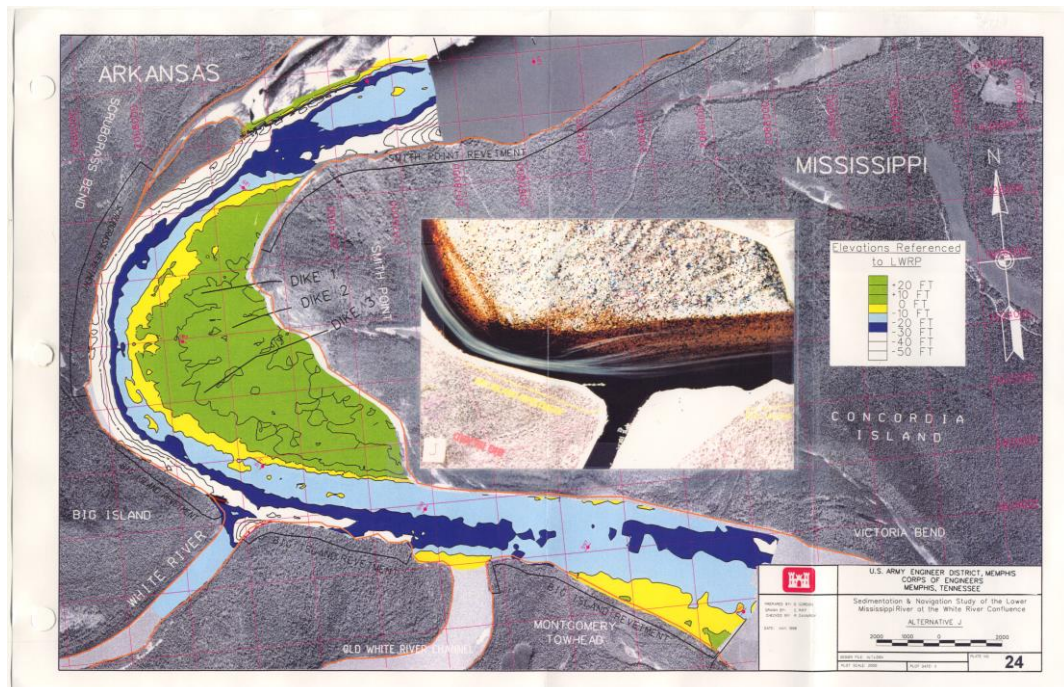


Figura 22. Micro modelo del Río Misisipi y su confluencia con el río Blanco Alternativa J

3.3. Resultados de los Micromodelos del río Atchafalaya y la Isla Carroll

Se presentan los resultados de la modelación de otros ríos como el Río Atchafalaya y la Isla Carroll

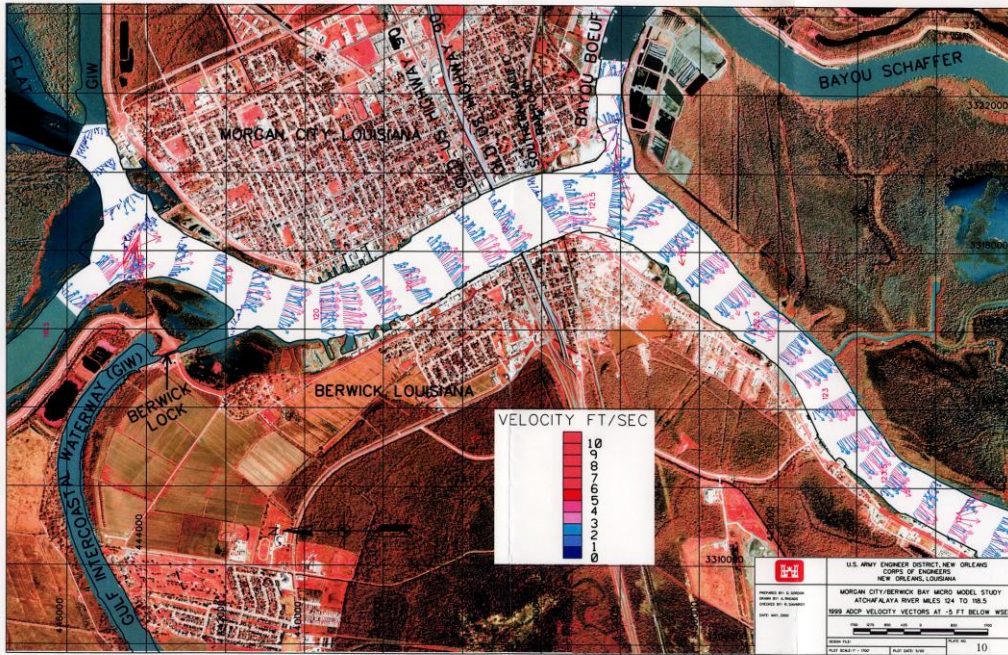


Figura 23. Campos de velocidades medidas en prototipo con ADCP (Acoustic Doppler Current Profiles).

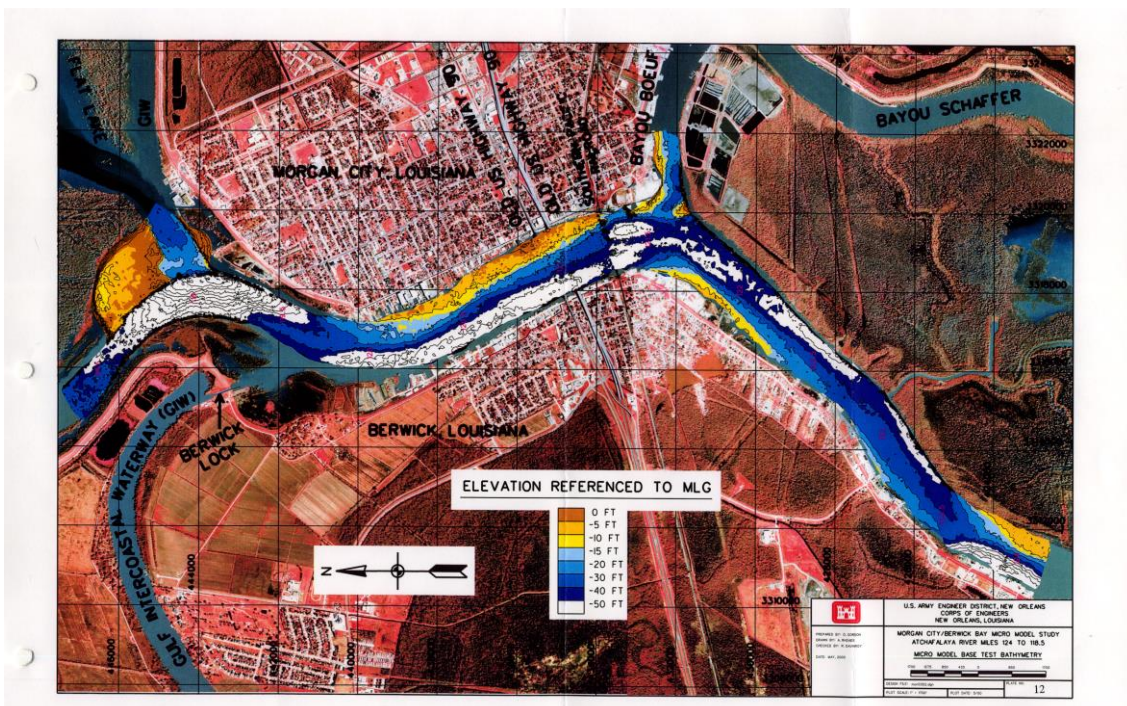


Figura 24. Prueba con la Topografía Base



Figura 25. Visualización de Flujo en la prueba Base, Estudio en micro modelo del Río Atchafalaya. En la parte superior se muestran flujos bajos y en la parte inferior para flujos altos.

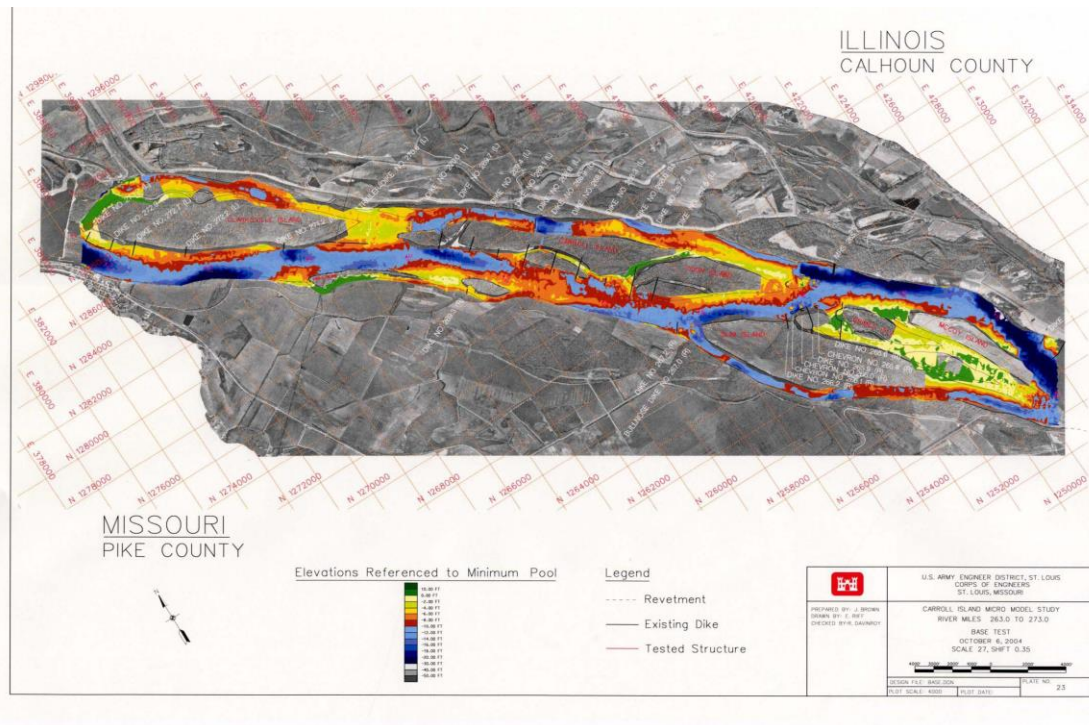


Figura 26. Estudio en micro modelo de la Isla Carroll, Prueba Base

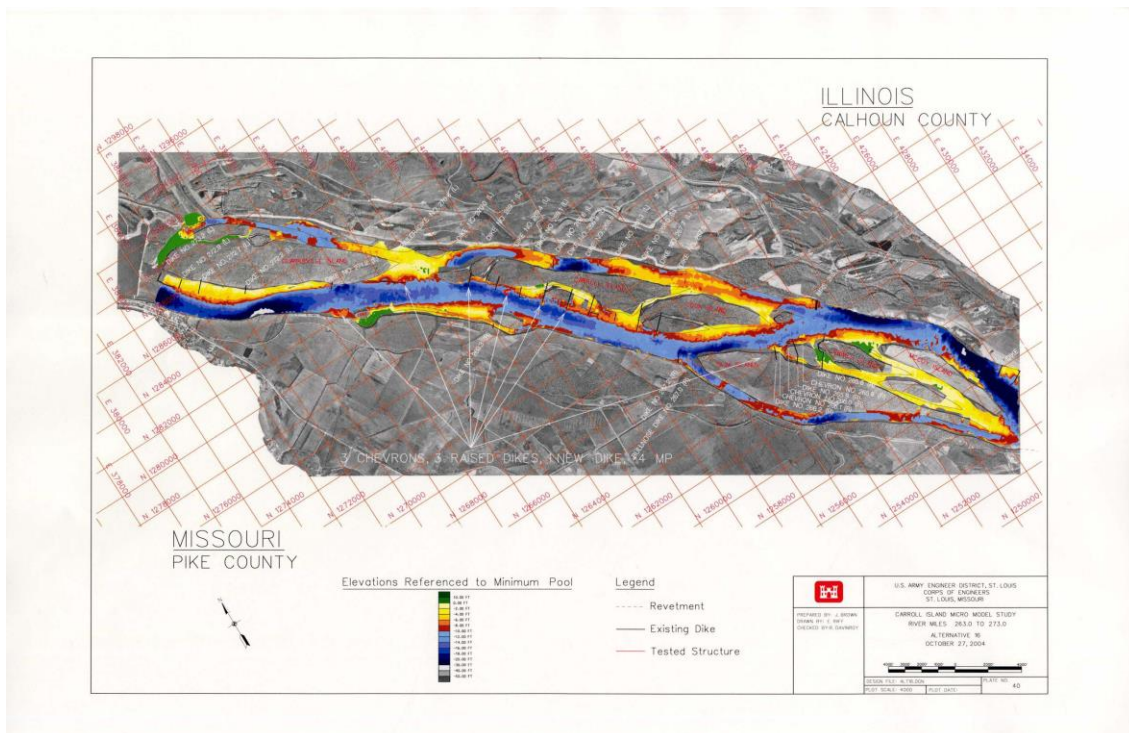


Figura 27. Estudio en micro modelo de la Isla Carroll, Alternativa 16

El riesgo asociado con cualquier esfuerzo de modelación (micro modelo, modelo hidráulico o modelación numérica) depende del tramo de río en estudio, de la experiencia del modelador, de la comprensión de la dinámica del río, y de la cantidad de datos disponibles. El ingeniero debe determinar la cantidad de datos necesarios que proporcionen suficiente información para desarrollar el diseño del prototipo.

Davinroy 1994 utilizó pequeñas escalas horizontales de 1: 20,000 y un alto grado de distorsión, una distorsión superior a 1: 20

Los micro modelos se han usado en los últimos años sobre todo para el estudio de tramos de ríos navegables en EUA, algunos ejemplos de estos con sus escalas y distorsión se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Investigaciones en Micro modelos de USACE

Nombre del Río	Escala Horizontal*	Distorsión (Horiz/Vert.)
Boca del Río Blanco (Misisipi)	1:12000	10:1
Clarendon, AR (Blanco)	1:4200	14:1
Augusta, AR (Blanco)	1:3600	20:1
Vicksburg Front (Misisipi)	1:14400	12:1
Wolf Island (Misisipi)	1:7200	12:1
Memphis Front (Misisipi)	1:4800	8:1
Santa Fe Chute (Misisipi)	1:7200)	6:1
Lock & Dam (24 (Misisipi)	1:9600	16:1
Puerto SEMO (Misisipi)	1:3600	6:1
Bahía Savanna (Misisipi)	1:4800	8:1
Isla Ballard (Río Illinois)	1:3600	15:1
Morgan City/ Bahía Berwick	1:7200	6:1
Nueva Madrid (Misisipi)	1:20000	17:1

*La escala es la relación modelo/prototipo

De los estudios realizados hay pocos proyectos donde se pueda observar la comparación modelo-prototipo que cuenten con 1) una calibración razonable, 2) que tengan las mismas estructuras en modelo y prototipo y que estas se hayan probado en modelo y 3) que se tenga una predicción de las tendencias correctas en prototipo

Ventajas:

Los micro modelos permiten una representación de los procesos relevantes en los ríos a muy bajo costo, menor espacio requerido y en poco tiempo. Proporcionan una herramienta para una evaluación comparativa de varias alternativas en un río.

Características atractivas del micro modelo evidentes son su portabilidad y conveniencia para demostrar y explicar a audiencias no técnicas los aspectos en forma gruesa del comportamiento fluvial del cauce.

Limitaciones:

No se tienen bases físicas para el diseño de los micro modelos es necesario que se establezcan

Los resultados deben interpretarse con cuidado debido a que no se tienen leyes de similitud, solo una semejanza cualitativa

Un estudio de la comparación global, comparando modelos de fondo móvil de carbón a gran escala a los modelos de HSR se llevó a cabo en 2002 con el fin de evaluar los efectos relativos de la escala en la respuesta que tenían en la capacidad del modelo para reproducir las tendencias observadas en el río. Este estudio demostró que el modelos de fondo móvil a gran escala y a pequeña escala que se comparan entre sí estaban en el mismo orden de magnitud en su capacidad para reproducir la respuesta observada en el fondo del río. Desde ese estudio, se han introducido nuevas mejoras para mejorar la precisión, incluyendo el flujo más preciso, su repetibilidad y el control de los sedimentos y la reducción de la rugosidad en los límites del modelo. Para capturar el éxito de estas mejoras, se realizó una comparación detallada de las secciones transversales detalladas entre dos experimentos de replicación modelo HSR recientes se compararon con estudios hidrográficos del Missouri y Mississippi Ríos. Las mismas comparaciones también se hicieron entre diferentes conjuntos de los levantamientos hidrográficos para examinar la variación natural

4. VISITA TÉCNICA

Con la finalidad de conocer las características de los Micromodelos se propuso realizar una visita Técnica al Centro de Ingeniería Aplicada River (AREC) del Cuerpo de Ingenieros Civiles de los Estados Unidos y al St. Anthony Falls Laboratory para conocer modelos de procesos sedimentarios, morfología de ríos y formación de deltas.

4.1. Visita al Centro de Ingeniería de Ríos Aplicada (AREC)

Este centro está formado por un equipo especializado de ingenieros y técnicos comprometidos con ayudar a ofrecer soluciones a una variedad de desafíos de ingeniería fluvial. Estos incluyen ingeniería fluvial, sedimentación y socavación, diseño de canales de navegación, erosión de las orillas y su estabilización, reducción del dragado, la restauración fluvial, geomorfología, y otras cuestiones relacionadas con los ríos.

En este centro se desarrollaron los micromodelos, por el M.I. Robert Davinroy, se contactó a M. Robert para realizar una visita al AREC.

La visita se efectuó los días 1, 2 y 3 de octubre. En la visita se realizaron presentaciones por parte del AREC acerca de los micromodelos, sus ventajas, se presentaron resultados de aplicaciones en los ríos donde se han aplicado. Por parte del IMTA se presentó el video Institucional del IMTA y dos presentaciones, una

Y



Figura 28. El Applied River Engineering Center



Figura 29. Presentación de los micromodelos en algunos tramos del Río Misisipi por el AREC



Figura 30. Micromodelos de tramos de ríos de EUA

En el Laboratorio.

Se visitó el laboratorio y se observaron dos modelos del río Misisipi, en dónde están trabajando actualmente.

En los micromodelos la forma del río se construye en espuma de alta densidad y luego se inserta en una estructura que la soporta. El frente del modelo es la última fotografía aérea del río con aguas bajas que se tenga disponible.

El sistema de abastecimiento de agua es un circuito cerrado en donde la cantidad de agua y sedimento que entra al sistema es igual a la que sale del sistema. Las corridas se hacen con el gasto formativo.

En la figura se muestra un micromodelo del río Misisipi donde se observan las obras de protección



Figura 31. Micromodelo del Río Misisipi, las obras de protección se observan en la margen derecha.



Figura 32. Micromodelo del río Mississippi donde se observa una gran isla y las obras de protección

4.2. Equipo

Se usan Lasers para escanear el fondo y tomar las lecturas de velocidades para compararlas con las mediciones en el río. Se evalúa la navegación y los problemas ambientales.

Los resultados se analizan comparando las secciones del río escaneadas, las lecturas de velocidad y también se usa la visualización de flujo para ver cómo se comporta el flujo en el cauce, donde hay velocidades más altas y posibilidad de erosión.

Escaner Láser 3D

Con el fin de documentar los resultados del modelo HSR, es necesario obtener datos precisos y compararlos con los datos medidos en el río. El lecho del río en el modelo se midió con láser escáner en 3-D de alta definición que registra miles de puntos de datos xyz. Estos puntos de datos xyz se ponen en ARCGIS y se convierten en un levantamiento batimétrico que puede compararse fácilmente con un verdadero levantamiento batimétrico del río real.

Las comparaciones de la batimetría del río son una forma efectiva para el ingeniero para determinar si las tendencias generales del modelo coinciden con las tendencias generales del río.

Láser Doppler Velocímetro en Miniatura

Otro instrumento utilizado para recoger datos valiosos es el Mini Laser Doppler velocímetro. Esta nueva pieza de tecnología mide tanto la magnitud de la velocidad y su dirección del flujo en el modelo. Los datos se ponen en ARCGIS y los vectores de velocidad resultantes se comparan con los vectores de velocidad del río. Estos resultados ayudan a determinar dónde, hay flujos bajos, la alineación del flujo, y, posiblemente, los remolinos se encuentran las corrientes, flujos de baja velocidad en el modelo y si son similares a las corrientes del río. En conjunto, estos dos métodos de recolección de datos permiten a los ingenieros de AREC modelar con precisión y eficacia porciones del río y encontrar soluciones exitosas a los problemas ambientales y de navegación.



Figura 33. En el AREC explicando cómo se obtiene la batimetría del fondo

Como parte de los equipos con que cuenta el AREC son dos lanchas, una de ellas equipada con un sonar y una ecosonda, para obtener la batimetría del río. Aquí es muy importante revisar constantemente la batimetría y sus cambios debido a que el río es navegable y se debe mantener una profundidad específica para que se pueda navegar. En la figura 32 se muestra una fotografía de la lancha



Figura 34. Lancha equipada con sonar y ecosonda

En la visita otro punto muy importante fue observar que a través del tiempo se ha modificado la forma de realizar los micromodelos y los equipos de medición y los equipos que se han empleado, y que actualmente se utilizan tecnologías

5. PROPUESTA DE UN MICROMODELO

Con la información obtenida en la visita técnica se propuso realizar el proyecto ejecutivo de un micromodelo para su construcción en el laboratorio del IMTA.

El diseño del micromodelo se propuso conformado básicamente con una estructura de soporte y un sistema de recirculación de agua y sedimento que pueda servir para modelar un tramo de río, que en este caso no es específico. Para realizar la modelación de un tramo de río en específico es necesario contar con una fotografía aérea del tramo de río que se desea modelar así como la batimetría del fondo y la granulometría. También se necesita conocer las velocidades en el río, en las secciones del río que se determinen.

El diseño final se presenta en el Anexo I del presente informe. En el Anexo I se presenta el equipo requerido y las cotizaciones del mismo.

6. CONCLUSIONES

Se realizó una investigación acerca de los micromodelos, su diseño, construcción, funcionamiento, equipos necesarios, algunos casos de aplicación, su grado de exactitud, ventajas y desventajas en comparación con los modelos de fondo móvil.

La visita técnica a los laboratorios fue muy importante para conocer más de cerca el funcionamiento de este tipo de modelos, y los equipos que se usan para medir los cambios en la batimetría del fondo del río y las velocidades del flujo y afinar detalles para proponer un modelo en el Laboratorio del IMTA

En la visita técnica también se reafirmó la importancia de los estudios de campo. Por ejemplo de la toma de batimetrías en lancha lo que hace ver que es muy importante contar con esta información, no solo de una batimetría sino de un conjunto de batimetrías en secuencia a través del tiempo que permita conocer cómo se realizan los cambios sobre todo cuando se colocan estructuras de protección dentro del cauce que modifican el comportamiento del flujo en el río.

Se logró definir un diseño final de un micromodelo genérico y establecer un costo aproximado, considerando las cotizaciones que se hicieron del micromodelo mismo y de los equipos necesarios para su funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Davinroy, R. D. (1994). Physical sediment modeling of the Mississippi River on a micro scale. M.I. thesis. Univ. of Missouri-Rolla, Mo.
- Davinroy, R.D. (1996). Sedimentation study of the Mississippi River, New Madrid Bar Reach, miles 891 to 883, hydraulic micromodel investigation. USACE Rep., US. Army Engineer District, St. Louis, Mo.
- Davinroy, R.D., et., al (2011). Hydraulic Sediment Response Modelling, Replication Accuracy to the River. Technical Paper M53, U.S. Army Corps of Engineers, St. Louis and Memphis Districts.
- Gaines, R. Gordon, D, Maynard, S. (2003). Micromodel Evaluation Report, U.S. Army Corps of Engineers,
- Gordon, D.C., Davinroy, R.D., and Riiff, E.H. (1998). Sedimentation and navigation study of the Lower Mississippi River at the White River Confluence, miles 603 to 596. USACE Rep., U.S. Army Engineer District, St. Louis, Mo.
- Maynard, S.T. (2006). Evaluation of the Micromodel: An Extremely Small-Scale Movable Bed Model. J. Hydraulic Engineering ASCE vol. 132, No 4 pp 343-353.

EQUIPOS

3D Laser Scanning System.

The following items are required to meet the needed 3D laser scanning system requirements. 1. Romer Absolute Arm 7545SE 7-axis high accuracy arm for external scanner (scanner NOT included), absolute encoders and 4.5 m range. Includes: Scanning pack for scanner connection, Zero-G counterbalance, SpinGrip, magnetic base, 125mm approximate working length point tip probe TESA TKJ / 3 mm ruby / 6 mm ruby / 15 mm steel ball probes, RDS calibration and interface software, calibration sphere and checking bar, Travel Case, B89 certificate, 1 year warranty. 2. Perceptron V5 Laser Probe System for Absolute 7 Axis SE Arm - includes: V5 Contour Probe with TESA connector, NAFTA Label, V5 Controller, one meter Ethernet cross-over cable, Sensor/Trigger combo cable, Calibration Sphere with Magnetic Base, ScanWorks Portable Software CD, ScanWorks set Travel Case, and one year warranty. 3. PolyWorks/Inspector Node Locked including IMInspect, IMAlign, IMMerge, IGES and STEP Includes 3 days on site training for up to 4 people.

Scanner Perceptron V5

El versátil escáner Perceptron V5 permite disponer de aplicaciones de ingeniería inversa, el punto nube a CAD comparación, visualización 3D e inspección.

El V5 Perceptrón tiene el punto de recogida más rápida en el mercado con una colección de punto de datos de 458.000 puntos por segundo y un ancho de banda de láser de 140 mm. Esto, combinado con su tecnología de doble cámara significa que el V5 puede ver las dos caras de un objeto a la vez.

Ventajas del V5:

Velocidad

Un máximo de 7.640 puntos a lo largo de la línea de láser a una velocidad de 60 Hz proporciona al usuario sin igual densidad de datos de exploración. Esta increíble tasa superior a los 458.400 puntos por segundo da un punto a punto mínimo de 12 micras.

Amplio Campo de Visión

Tiene un ancho y profundidad de campo de 140 mm y 110 mm máximo, respectivamente, permite a los usuarios del sensor ScanWorks V5 capturar rápidamente grandes áreas, complejas geométricamente.

- Speed

A maximum of 7640 points along the laser line at a rate of 60Hz provides the user with unparalleled scan data density. This incredible rate of upto 458,400 points per second gives a minimum point to point of 12 microns.

- Large field of view

Having a maximum width and depth of field of 140mm and 110mm, respectively, enables users of the ScanWorks V5 sensor to rapidly capture large, geometrically complex, areas.

Telémetro Proyectado

Varias características están disponibles para guiar al usuario al escanear. Lo más notable es el campo de propiedad ScanWorks V5 de vista de proyección. El sensor proyecta una representación trapezoidal precisa del campo de vista que muestra las extensiones, así como la distancia óptima de desplazamiento del escaneado. Esto permite al usuario familiarizarse rápidamente con las buenas prácticas de exploración y minimizar la superposición de datos redundantes. Este sistema está respaldado por un tono audible que cambia de frecuencia en función de la profundidad de campo y tiene una salida gráfica.

Rango Dinámico

El sensor ScanWorks V5 tiene la misma capacidad de capturar datos sobre superficies oscuras y reflexivas como el sensor ScanWorks V4i probada. Su clase dirigente rango dinámico niega la necesidad de aerosoles de polvo blanco nocivos y pinturas. La adición de filtros de software avanzados permite filtros dinámica de eliminación de la reflexión y de hardware hacen que el sensor sea impermeable a la luz ambiental.

Aproximación

Campo de la calibración del sensor es totalmente independiente de la sonda dura. En pocos minutos, el usuario puede alinear con precisión el sensor al sistema de coordenadas de PCMM sin tener que calibrar la sonda dura primero. Rectificación de fábrica del sensor V5 garantiza la precisión de medición de 24 micras 2 sigma a lo largo de todo el campo de visión.

Integraciones en tiempo real

Integraciones directas con InnovMetric, PolyWorks, Geomagic, Rapidform XO y Delcam PowerINSPECT permiten al usuario escanear dentro de una interfaz familiar. El Consumo de tiempo de gestión de archivos se convierte en una cosa del pasado, porque los datos se capturan en tiempo real dentro de su ingeniería inversa preferida o suite inspección.

- Facilidad de uso

El diseño ergonómico de peso ligero de la solución ScanWorks exploración V5 hace fácil el trabajo de incluso las tareas de medición más arduas. Con duro sonda del PCMM expuesta en todo momento, con el simple accionamiento de un interruptor, el usuario puede alternar entre sin contacto y medición por contacto. Esta característica puede ser muy útil al configurar las alineaciones o las características de referencia.

Portabilidad

El sensor ScanWorks V5 se transporta en un caso de vuelo con ruedas de tamaño similar a una maleta pequeña. Junto con la computadora portátil y PCMM, toda la solución de escaneo cabe fácilmente en un coche de la familia. Soportes magnéticos en la base PCMM garantizan una configuración robusta en un entorno de fabricación. Cuando una superficie magnética no está en la mano, una gama de trípodes está disponible a un costo adicional.

- Versatilidad

ScanWorks V5 es adecuado para numerosas industrias y aplicaciones, desde una fábrica a las salas de inspección y laboratorios. Industrias donde el ScanWorks le entrega valor y ahorro de costo s incluyen: - aeroespacial, de animación, de automoción, productos de consumo, el patrimonio cultural, la forja, fundición de precisión, moldes y matrices, plásticos, creación de prototipos y la estampación.