CAPÍTULO 4

MODELOS FÍSICOS

Gracia S J, Osnaya R J, Carrizosa E E, Ortíz M V M, Franco V, Rico F T J, Casilimas P A, Velázquez M J C, Villarreal B H, Urgel G Y.

Coordinación de Hidráulica

Se presentan los resultados del complemento al trabajo experimental realizado anteriormente en cuatro modelos físicos, tres estructuras de derivación y otra de manejo de sedimento. Estos modelos corresponden a la obra de control en el río de La Sierra denominada El Censo (esc. 1:60), la obra de control entre las lagunas los Zapotes y Don Julián (esc. 1:60), la estructura de control del río Carrizal (esc. 1:60) y el comportamiento de la bifurcación del río Mezcalapa (esc. hor. 1:120, esc. vert. 1:34.28). Estas son parte de las obras con las que se pretende disminuir el riesgo de inundaciones en la ciudad de Villahermosa, Tabasco. El principal objetivo de los modelos es estudiar el comportamiento hidráulico y en caso necesario, proponer las adecuaciones para su buen funcionamiento.

Los resultados más importantes son los siguientes:

a) La versión probada de la estructura de margen derecha sobre el río Carrizal funciona bien, pero las velocidades de salida son muy altas (aprox. 3.7 m/s) y aunque las protecciones de piedra funcionan bien en el modelo, será necesario cuidar su implementación en el prototipo por lo peligrosas que podrían ser tales velocidades. Se observó también una generación de ondas en la entrada de la margen izquierda del vertedor de margen derecha y aunque no es un problema grave, convendría resolverlo. El funcionamiento conjunto de ambas estructuras (derecha e izquierda) para el gasto máximo seleccionado (850 m^3/s) funciona bien. Se recomienda elegir y probar una política de operación de las compuertas para la época de operación normal. Hay que recordar que una opción deseable es establecer un gasto constante en el río Carrizal para disminuir el problema de derrumbes en los taludes.

b) Con el nivel de cresta del la represa en la cota 4.0 msnm, se lograron pasar 2000 m^3/s con la cota 6.15 msnm en los Zapotes y con el nivel 5.3 msnm aguas abajo. El funcionamiento de la represa es bueno, sin embargo se recomienda que ningún nivel del terreno aguas arriba, esté por encima de la cota 3.0 msnm en una superficie de 500 m x 400 m. El funcionamiento de la represa es satisfactorio aunque se recomienda eliminar los tapetes de aguas abajo ya que no tienen ninguna utilidad y sin embargo, de ser mal instalado, puede elevar el nivel de la descarga del vertedor, efecto no conveniente para su buen funcionamiento.

Se probaron crucetas bajo el puente para tratar de disminuir la velocidad, pero las combinaciones ensayadas no mostraron resultados satisfactorios, por lo cual se recomienda proponer otra alternativa, o bien dejar el terreno al natural y proteger las pilas del puente contra la socavación.

c) En la obra construida en el Censo, se observaron daños en los tapetes bajo el puente, que pueden ser atribuibles a un problema de construcción ya que al parecer su falla se debió a la socavación de las pilas, pero también hubo falla de los tapetes 30 m antes del puente, lo cual no es fácil de explicar. Es necesario reparar tales tapetes y probablemente buscar alguna solución alternativa. Convendría hacer un seguimiento del comportamiento de esta obra en el prototipo.

d) En la bifurcación, en las pruebas realizadas se representa en forma cualitativa el comportamiento de un espigón y el funcionamiento hidráulico para diferentes gastos. Se concluye que no es de gran utilidad el espigón y que para gastos altos, el paso del agua hacia el Carrizal es mayor de los 1000 m^3/s. Se reitera la recomendación de cerrar completamente la estructura provisional del Macayo.

ANÁLISIS EN MODELOS FÍSICOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE TRES ESTRUCTURAS DE DERIVACIÓN.

Introducción

En la época de lluvias del año de los años 1999 y 2007, ocurrieron altas precipitaciones que propiciaron inundaciones importantes en diferentes centros urbanos. Uno de ellos fue la ciudad de Villahermosa, Tabasco, donde el río Carrizal se desbordó ocasionando inundaciones en diferentes sitios.

Para reducir o evitar futuras inundaciones la Comisión Nacional del Agua (CNA) realiza la revisión y el rediseño de obras de protección como son, por ejemplo, estructuras de control, bordos y drenes. En este trabajo se presentan los resultados de las pruebas complementarias de los siguientes estudios experimentales, así mismo encontraran en el Anexo de este capítulo el álbum fotográfico de cada prueba realizada.

a) ESTRUCTURA DE CONTROL DE MARGEN DERECHA SOBRE EL RÍO CARRIZAL
b) COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN ESPIGÓN EN LA BIFURCACIÓN DEL MEZCALAPA
c) ESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN ZAPOTES – DON JULIÁN

4.a. INFORME DE LAS PRUEBAS DE LA MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL DE MARGEN DERECHA DEL RÍO CARRIZAL (MACAYO). INCLUYE CONSIDERACIONES, RESULTADOS DE PRUEBAS, INTERPRETACION, RECOMENDACIONES Y ALBUM FOTOGRAFICO.

Para proteger a la ciudad de Villahermosa, CONAGUA propone construir una obra sobre el río Carrizal, en margen derecha, que junto con la obra de margen izquierda, formaran un sistema de control de avenidas para proteger a la ciudad de los escurrimientos del río Carrizal.

En este trabajo se presenta la revisión, en el modelo hidráulico, de la estructura de control de margen derecha propuesta por la CONAGUA, para observar su comportamiento hidráulico individual y en conjunto con la de margen izquierda; de ello, se proponen alternativas de solución para mejorar su funcionamiento.

Ya anteriormente se han realizado las pruebas en el modelo físico (escala 1:60) de la descarga conjunta de las estructuras de margen izquierda y margen derecha. La versión representada actualmente corresponde a la información proporcionada en un plano de la obra proyectada por: Consultoría Integral en Proyectos de Ingeniería S.C.

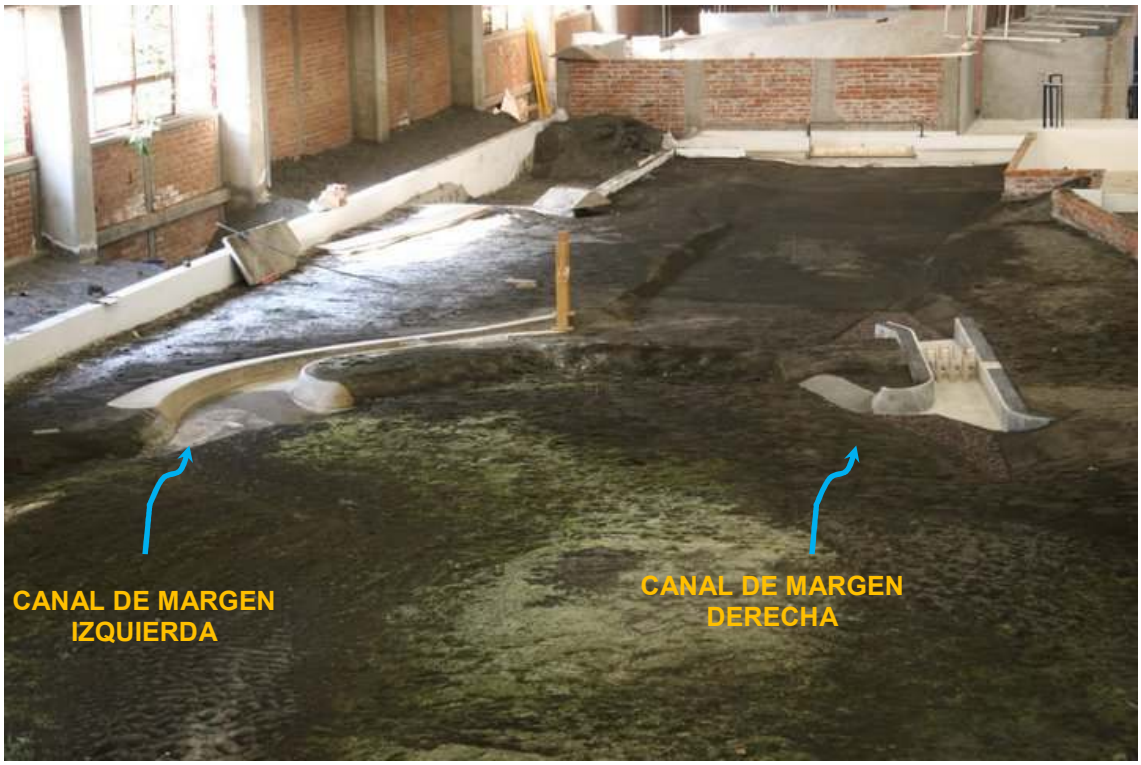


Figura. 1 Aspecto general de las obras

En la Figura. 2 se muestra el plano de las obras y en la Figura. 3, el detalle de la parte correspondiente a margen derecha.

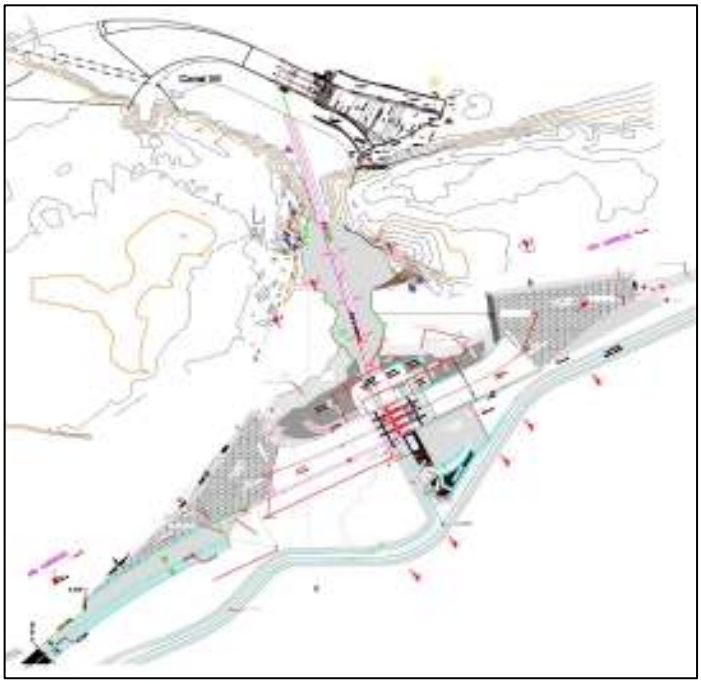


Figura. 2 Obras de control sobre el río Carrizal

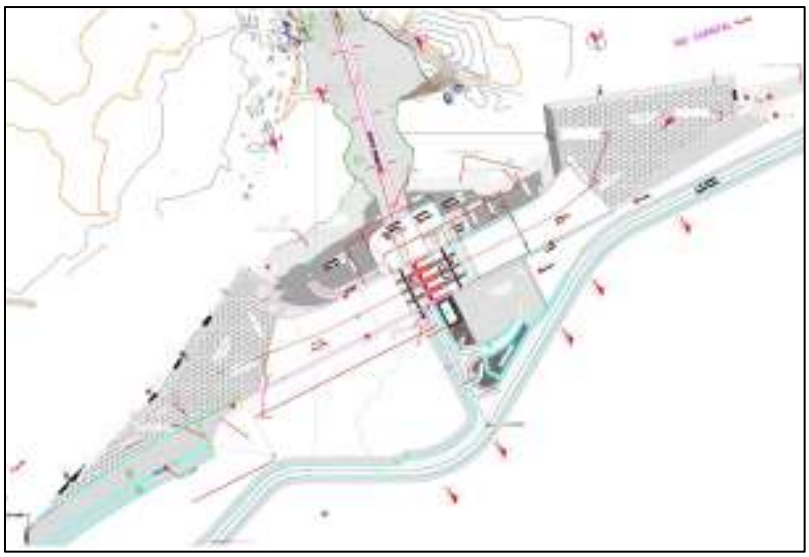


Figura. 3 Detalle del canal de margen derecha sobre el río Carrizal

.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL MODELO FÍSICO

En la Figura. 4 se muestra una foto del funcionamiento del modelo con 850 m^3/s (550 m^3/s por margen derecha y 300 m^3/s, por margen izquierda).

Figura. 4 Funcionamiento del modelo físico para: Q = 850 m^3/s

En la Figura. 5 se muestra el detalle del funcionamiento del canal de llamada de la obra de margen derecha. Se forman algunas ondas cerca del muro de margen izquierda, causada por el morro de entrada de margen izquierda. Se hace notar que este detalle se podría mejorar con un nuevo diseño de la transición del talud de llegada y del morro.

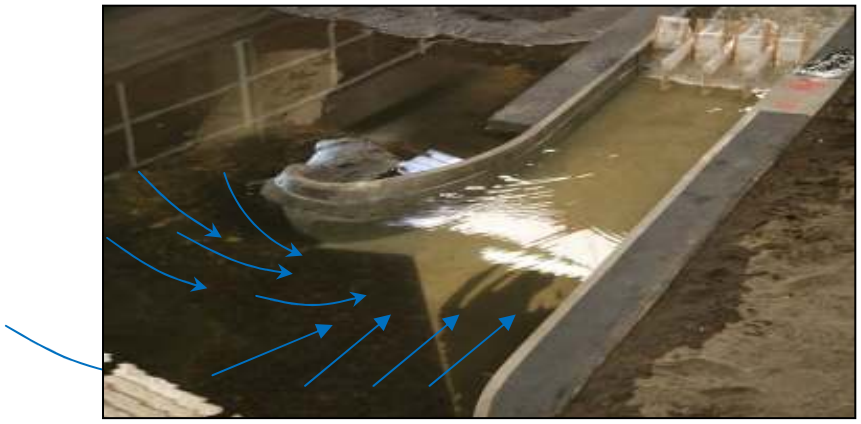


Figura. 5 Líneas de corriente a la entrada del canal de margen derecha. Obsérvese algunas ondas producidas en la margen izquierda.

.

En la Figura. 6 se observa que no se presenta ninguna perturbación importante en la llegada a las compuertas.

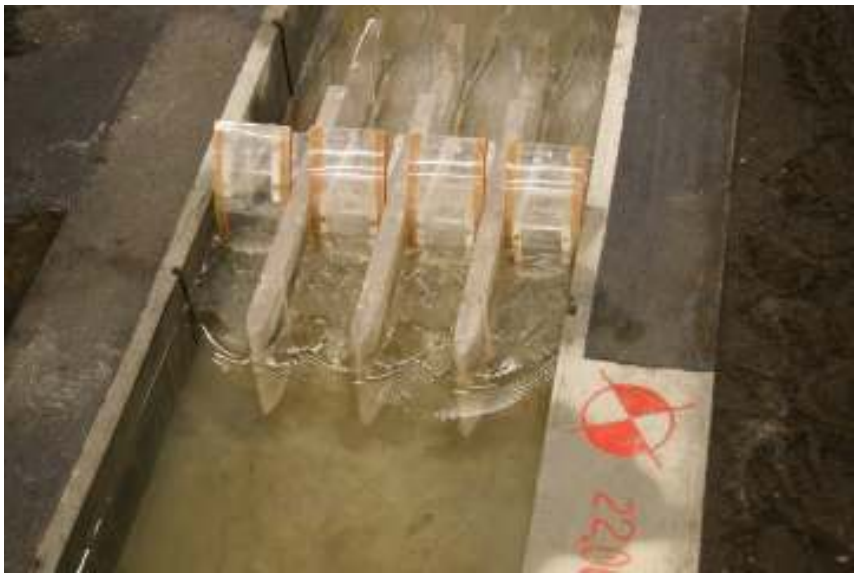


Figura. 6 Aproximación a las pilas y compuertas

En la Figura. 7 se muestra la entrada del flujo al canal de llamada con pequeñas ondulaciones. En la Figura. 9 se observa prácticamente uniformidad en las velocidades.

Para un gasto de 550 m^3/s se observa en la Figura. 9.b que al operar únicamente el canal de margen derecha se incrementa la velocidad del flujo a la salida, siendo cercanas a 3.5 m/s. Mientras que para el gasto 740 m^3/s las velocidades alcanzan valores mayores a 5.0 m/s (Figura. 9.c).

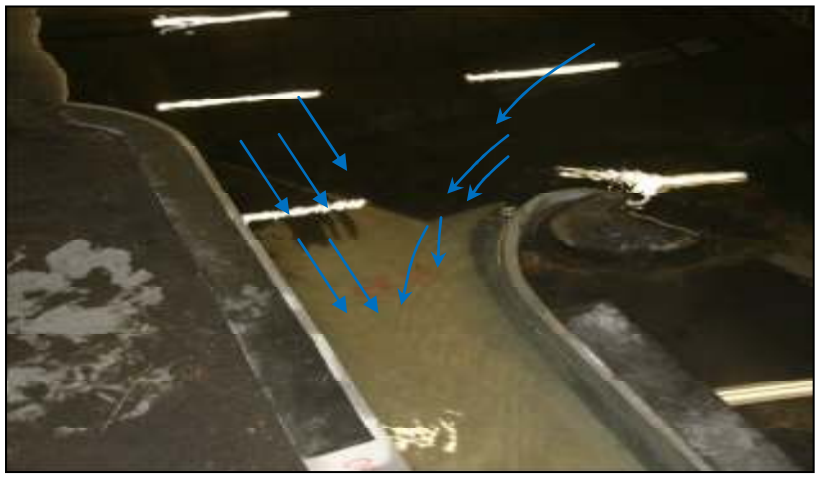


Figura. 7 Canal de llamada.

El tanque amortiguador presenta un comportamiento irregular, ya que las fluctuaciones del agua son muy acentuadas (Figura. 8). Sería recomendable profundizar el tanque o bien probar el efecto de dientes o costillas de disipación de energía.

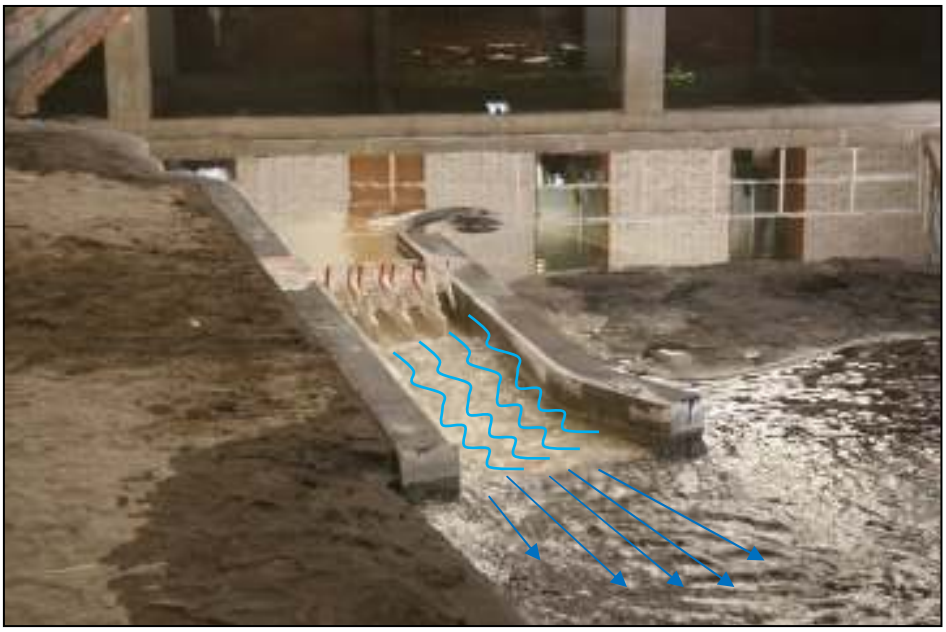


Figura. 8 Funcionamiento del tanque amortiguador. Gasto de 550 m^3/s y NAME de 20.50 m.s.n.m., descargando libremente.

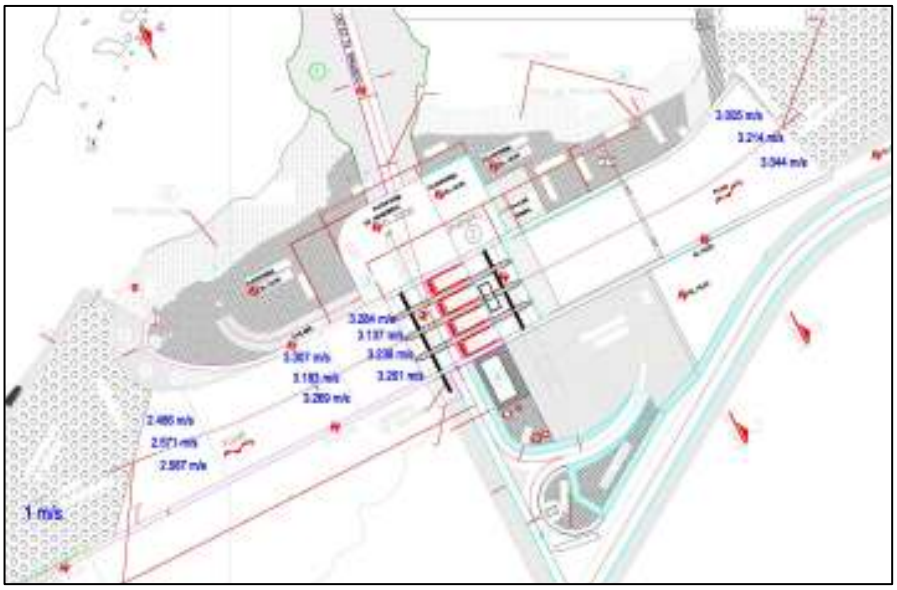


Figura.9.a Velocidades en margen derecha para el gasto de diseño de 550 m^3/s (operan ambos canales con un gasto total de 850 m^3/s)

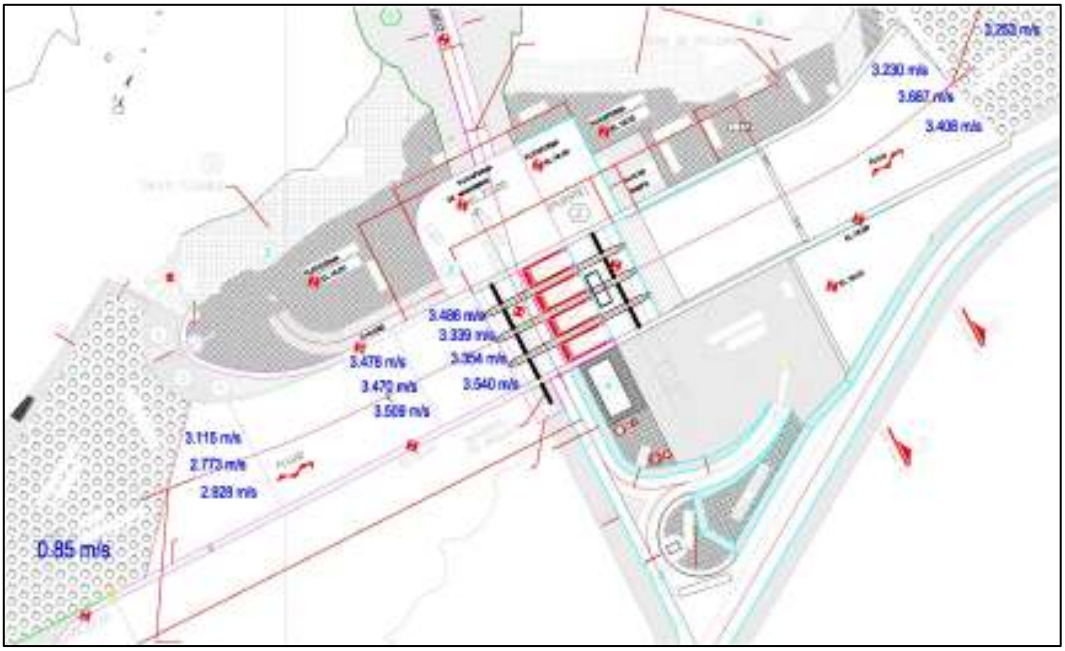


Figura. 9.b Velocidades con gasto de 550 m^3/s. Operando sólo canal de margen derecha.

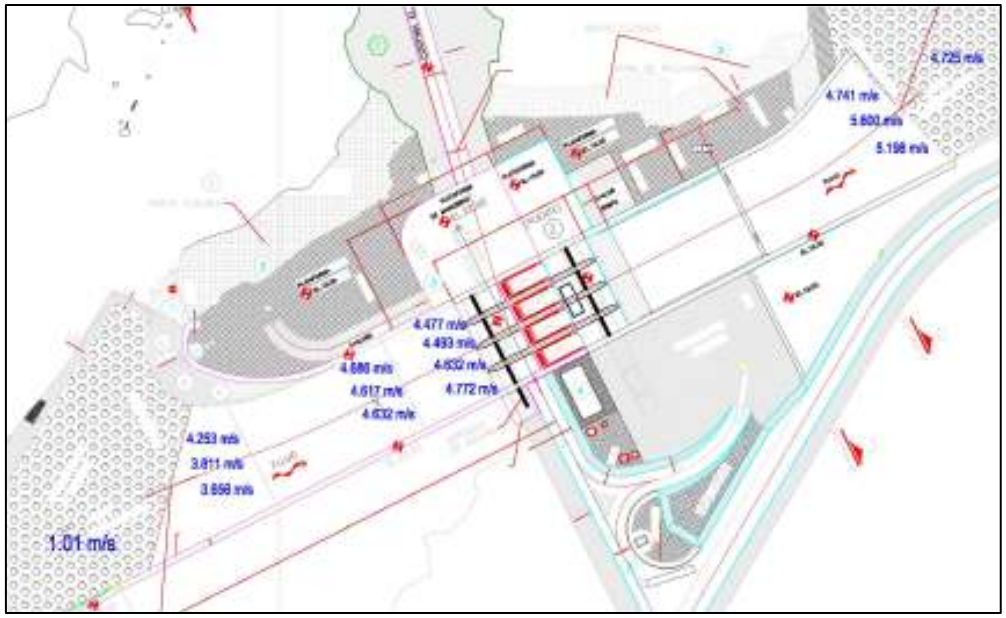


Figura. 9.c Velocidades con gasto máximo de 740 m^3/s. Operando solo canal de margen derecha.

En la Figura. 10 se muestra el comportamiento del agua a la salida del los canales de descarga. Obsérvese que ambos flujos convergen al centro del canal, pero luego el flujo de margen izquierda domina y empuja al flujo hacia la izquierda causando cierta erosión en esa margen.

Figura. 10 Distribución del flujo a la salida del los canales de descarga.

Figura. 11 Ataque a la margen izquierda, aguas abajo de las obras de control.

En la Figura. 9 se indican las velocidades medidas en diferentes partes de las descargas de las estructuras. Como puede observarse, las velocidades de margen derecha (3.087 m/s prom.) son más altas que las de margen izquierda (1.92 m/s prom.). Esto es particularmente importante porque en la descarga del modelo se colocó la protección indicada y ésta funcionó bien.

Probablemente sirva como información adicional que el gasto unitario del canal de margen izquierda es de 300 m^3/s/15 m = 20 m^3/s-m, mientras que el de margen derecha es de 550 m^3/s/20 m = 27.5 m^3/s-m, o sea casi un 30 % mayor.

ABERTURA DE LAS COMPUERTAS PARA 550 m^3/s.

Con la estructura de margen izquierda cerrada, se procedió a determinar la abertura de compuertas necesaria para extraer 550 m^3/s con el nivel del agua embalsada en el NAME o sea a la cota 20.50 m.s.n.m, obteniéndose una abertura de w = 4.44 m.

PRUEBA COMPLEMENTARIA

Se consideró de interés práctico realizar una prueba complementaria para las condiciones de compuertas totalmente abiertas:

Determinar el gasto máximo para el nivel de NAME (20.50 m.s.n.m) con las compuertas totalmente abiertas. El resultado obtenido es 740 m^3/s (Figura. 12). Sin embargo no se recomienda descargar gastos mayores al de diseño de 550 m^3/s por seguridad. Se observó erosión en la margen izquierda aguas abajo sobre los taludes del río. (Figura. 11)
Finalmente conviene señalar que en la salida de la margen derecha existe erosión de la margen del río, por lo cual también será necesario proteger esta zona, o modificar el morro de la salida (Figura.13).

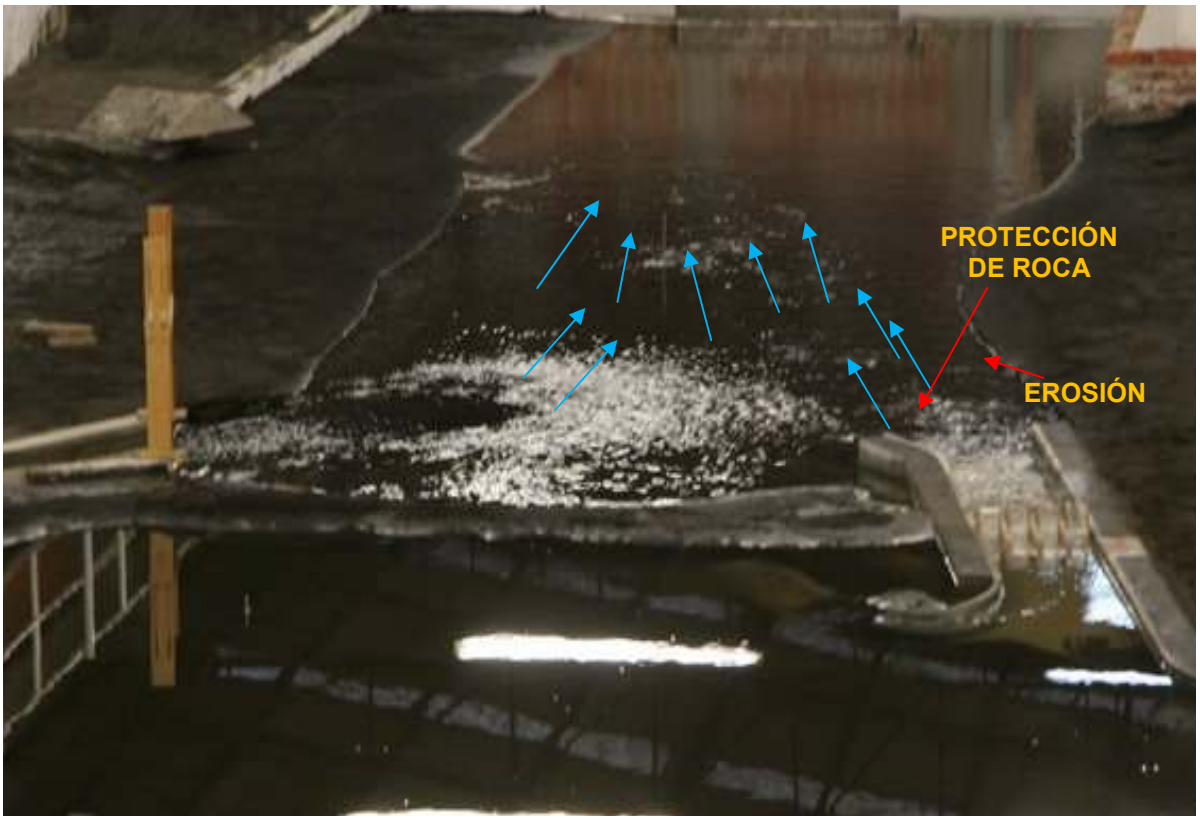


Figura. 12 Funcionamiento para el NAME = 20.5 m.s.n.m. con las compuertas totalmente abiertas. Se obtiene un gasto máximo de 740 m^3/s

Figura. 13 Margen derecha erosionada, aguas abajo de las estructuras.

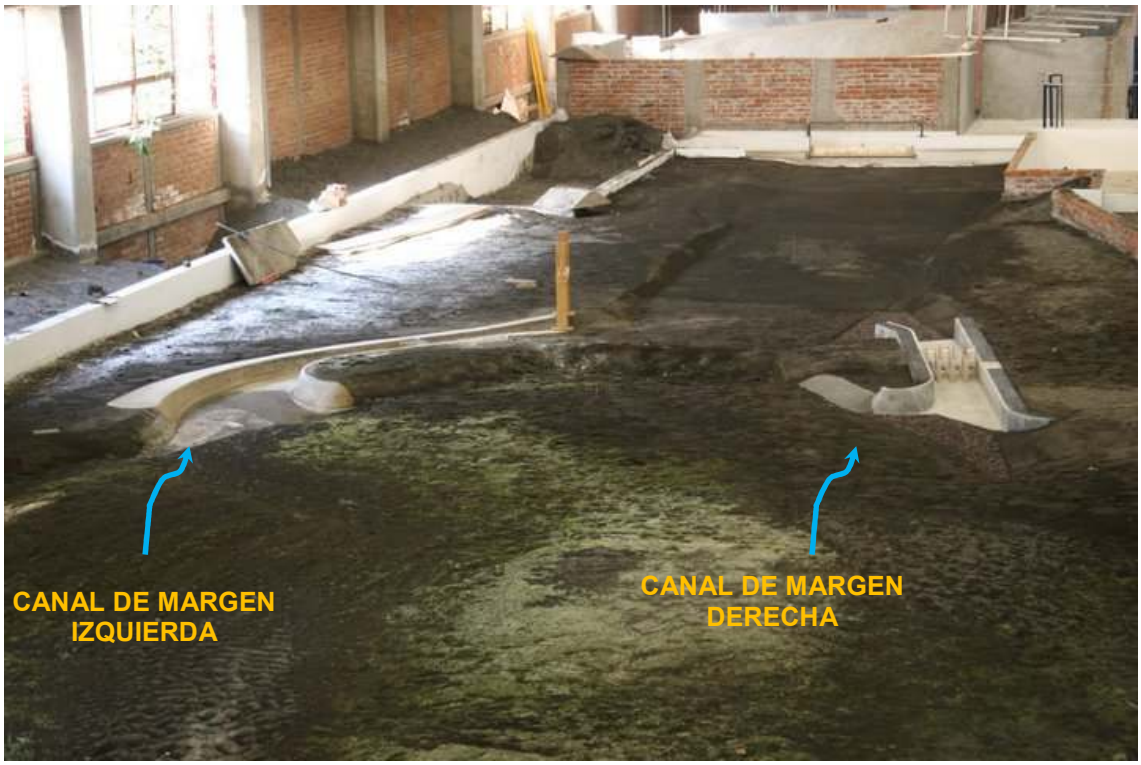
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La versión probada de la estructura de margen derecha sobre el río Carrizal funciona bien, pero las velocidades de salida son muy altas (aprox. 3.7 m/s) y aunque las protecciones de piedra funcionan bien en el modelo, será necesario cuidar su implementación en el prototipo por lo peligrosas que podrían ser tales velocidades. Se observó también una generación de ondas en la entrada de la margen izquierda del vertedor de margen derecha y aunque no es un problema grave, convendría resolverlo. El funcionamiento conjunto de ambas estructuras (derecha e izquierda) para el gasto máximo seleccionado (850 m^3/s) funciona bien. Se recomienda elegir y probar una política de operación de las compuertas para la época de operación normal. Hay que recordar que una opción deseable es establecer un gasto constante en el río Carrizal para disminuir el problema de derrumbes en los taludes.

Nota. Aunque se observó un buen comportamiento de la salida de la estructura de margen derecha, se recomienda tener mucho cuidado con la construcción de la protección del prototipo, ya que las velocidades medidas en el modelo son muy altas. Esto es, en el modelo se tuvo un buen comportamiento del enrocamiento de la protección del fondo, probablemente porque se logró un buen acorazamiento (trabamiento) de las rocas empleadas, las cuales en el prototipo quizás no sea tan fácil obtener por lo métodos de construcción, entonces, preocupa que no pueda lograrse en el prototipo, el mismo tipo de protección que en el modelo.

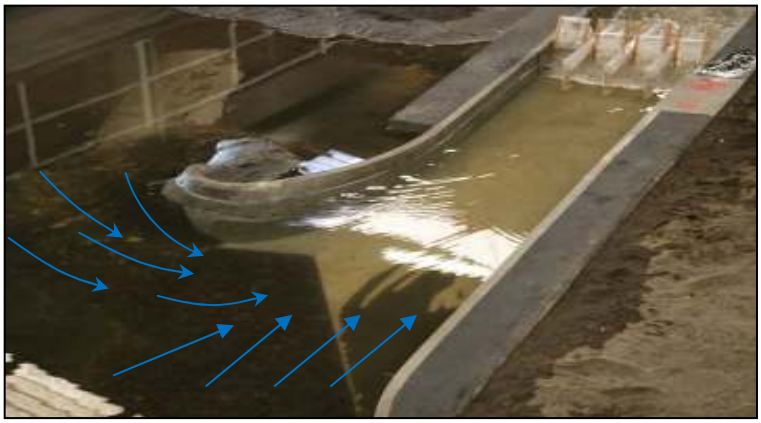
ALBUM FOTOGRAFICO

4.a. ESTRUCTURA DE CONTROL DE MARGEN DERECHA SOBRE EL RÍO CARRIZAL

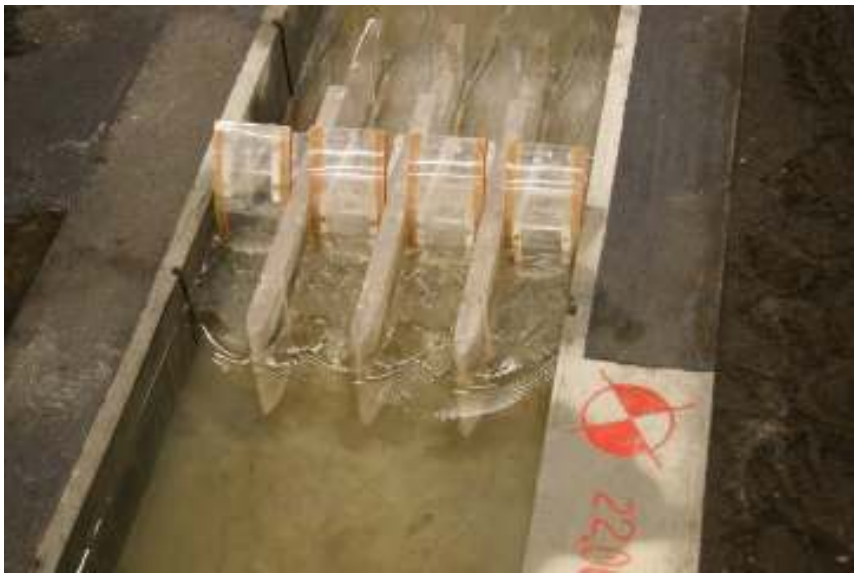


Aspecto general de las obras

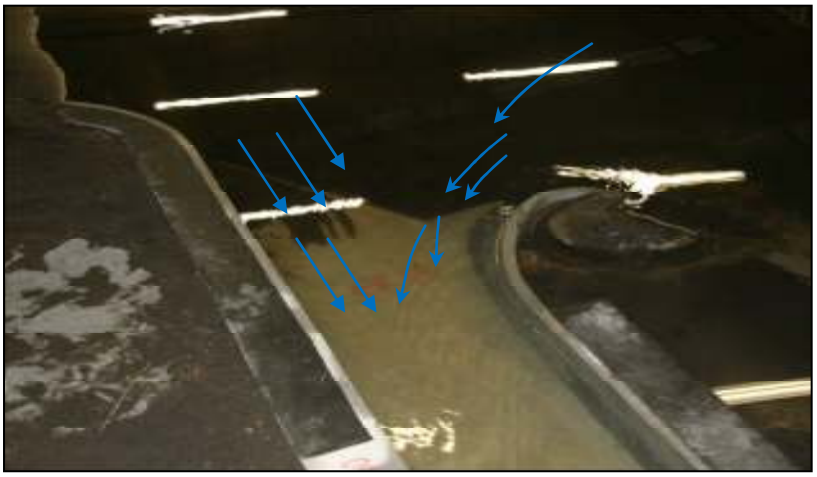
Funcionamiento del modelo físico para: Q = 850 m^3/s



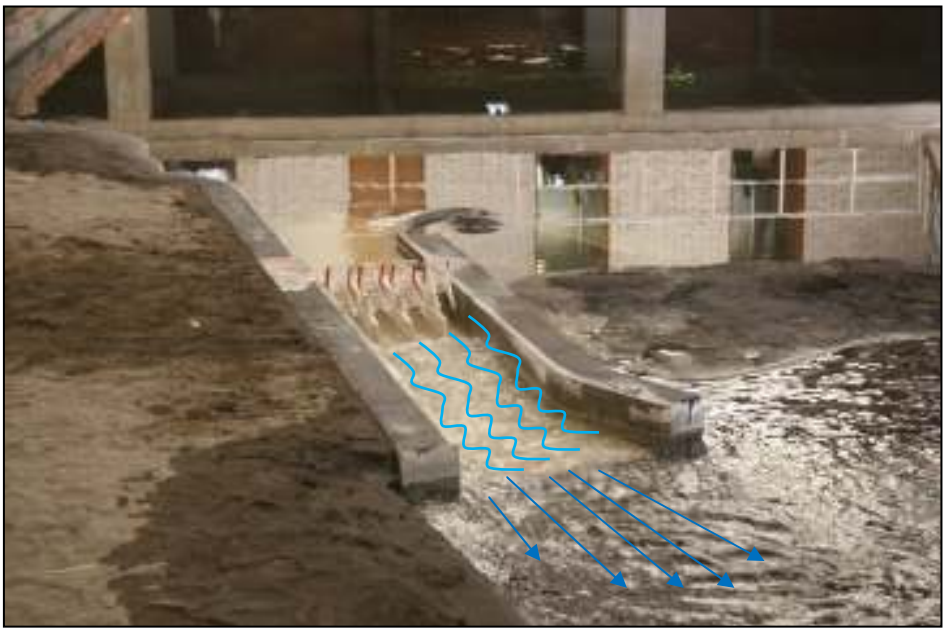
Líneas de corriente a la entrada del canal de margen derecha. Obsérvese algunas ondas producidas en la margen izquierda.



Aproximación a las pilas y compuertas



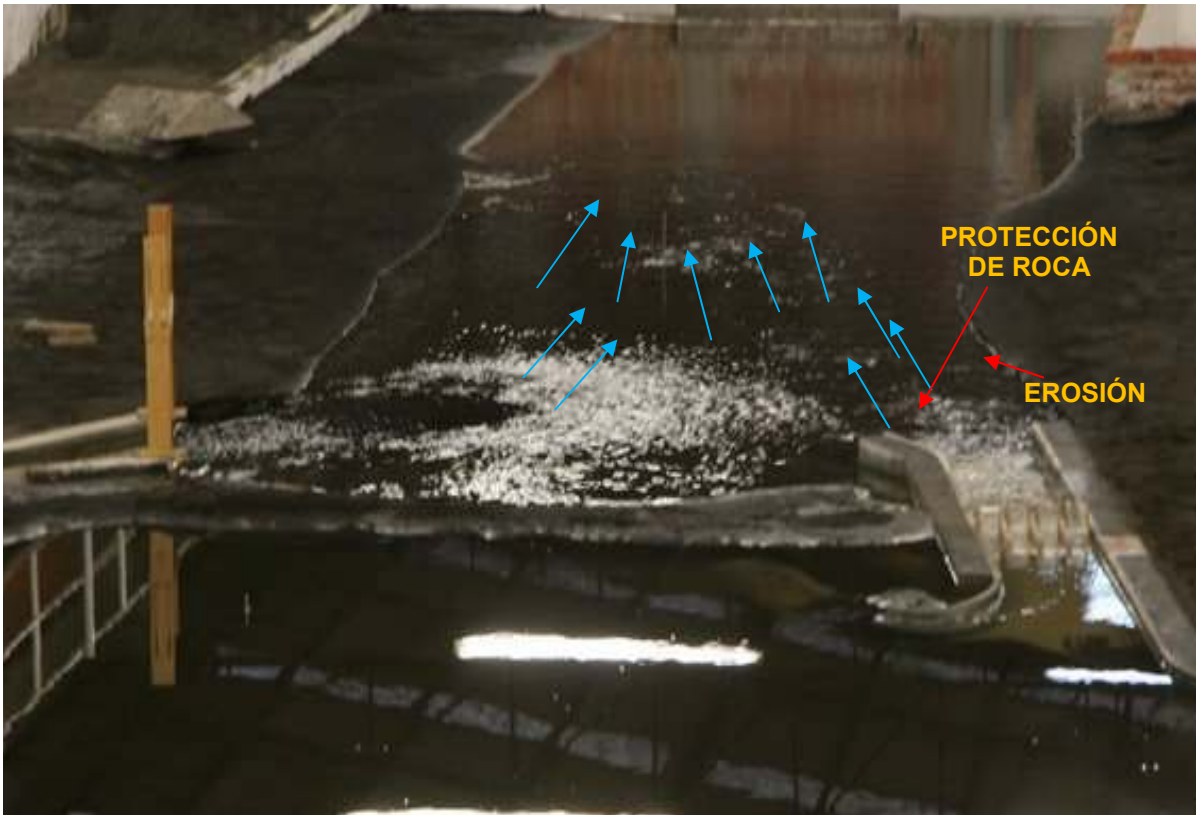
Canal de llamada.



Funcionamiento del tanque amortiguador. Gasto de 550 m^3/s y NAME de 20.50 m.s.n.m., descargando libremente.

Distribución del flujo a la salida del los canales de descarga.

Ataque a la margen izquierda, aguas abajo de las obras de control.



Funcionamiento para el NAME = 20.5 m.s.n.m. con las compuertas totalmente abiertas. Se obtiene un gasto máximo de 740 m^3/s

Margen derecha erosionada, aguas abajo de las estructuras.

4.b INFORME DE LAS PRUEBAS DE LA MODELACIÓN DE LA ZONA DE LA BIFURCACIÓN DEL RÍO MEZCALAPA. INCLUYE CONSIDERACIONES, RESULTADOS DE PRUEBAS, INTERPRETACIÓN, RECOMENDACIONES Y ALBUM FOTOGRAFICO.

INTRODUCCIÓN

El modelo físico de la bifurcación del río Mezcalapa en los ríos Samaria y Carrizal construido en el Instituto de Ingeniería de la UNAM es un modelo de fondo móvil distorsionado. Ello implica que los resultados obtenidos con este modelo son cualitativos y sus resultados no deben considerarse en las magnitudes sino en los efectos. Sin embargo, dadas las emergencias de la temporada de lluvias de 2010, se consideró conveniente realizar pruebas para estudiar el comportamiento del espigón para cerrar el brazo del río Carrizal.

El arranque de este espigón fue construido hace varios años, pero se suspendió su construcción.

Consideración especial

Es necesario señalar que las pruebas realizadas son complemento de las simulaciones numéricas que se realizaron para el estudio de la bifurcación. En el modelo físico sólo interesaba conocer el comportamiento del espigón y su efecto en el río Carrizal.

Por ello se realizaron las pruebas cerrando el tramo del río Samaria y estudiar entonces, solamente el comportamiento de los niveles en la bifurcación y los gastos en el Carrizal. Esto evidentemente es sólo una aproximación, pero fue realizada porque interesaba especialmente conocer el comportamiento del espigón y además no es posible simular gastos muy grandes en el modelo (mayores a 3000 m^3/s), ya que como se indicó tal modelo tenía otros fines.

Conviene señalar que a pesar de lo antes dicho, el comportamiento en detalle del espigón (socavación, reacomodo de material etc.) sólo el modelo físico lo representa bien.

Primera prueba realizada

Se realizaron dos pruebas, en la primera se colocó en el modelo físico del espigón que se construye aguas arriba del Macayo sobre el río Mezcalapa que de acuerdo con las características que tenía hasta el 17 de septiembre de 2010 se presentan en la Figura. 42. En el modelo también se cerró el puerto que existe en la isla hacia la cual que se direccionó la construcción del espigón (Figura. 42), es decir, se elevó el piso a la cota 18.50 msnm.
Los resultados obtenidos son los siguientes:

1) Para la elevación de 18.5 msnm aguas arriba del espigón se observa filtración a través del cuerpo del espigón, si bien la porosidad (del espigón) en el modelo no es representativa del prototipo, este hecho produce socavación en la base del mismo lo cual ocasiona su asentamiento y con ello un vertido sobre su corona; este fenómeno produce la falla gradual del cuerpo del espigón.

2) En la punta del espigón se observaron velocidades que erosionan la base y que hacen suponer que habrá dificultades para terminar su construcción en la realidad. Esta misma velocidad produce un ataque a la isla lo que hace suponer que esta sufrirá una erosión y con ello la ampliación de la abertura entre la isla y la punta del espigón.

3) Con el espigón en su condición original (28 de agosto de 2010) y su ampliación, no se observa un cambio en la repartición de gasto entre el río Samaria y Carrizal

4) En la Figura. 44 se muestra la relación entre los niveles en la bifurcación y los gastos hacia el río Carrizal. En las figs. 45, 46 y 47 se muestran diferentes aspectos de las pruebas realizadas. Los gastos empleados fueron 400 600 y 800 m^3/s, el de 1000 m^3/s se obtuvo por extrapolación, ya que posteriormente a las pruebas, se indicó que la corona del espigón se llevaría hasta el nivel 19.0 msnm.

.
.

Figura. 42 Espigón para limitar el gasto hacia el río Carrizal (prototipo).

Figura. 43 Espigón a la entrada del río Carrizal (modelo)

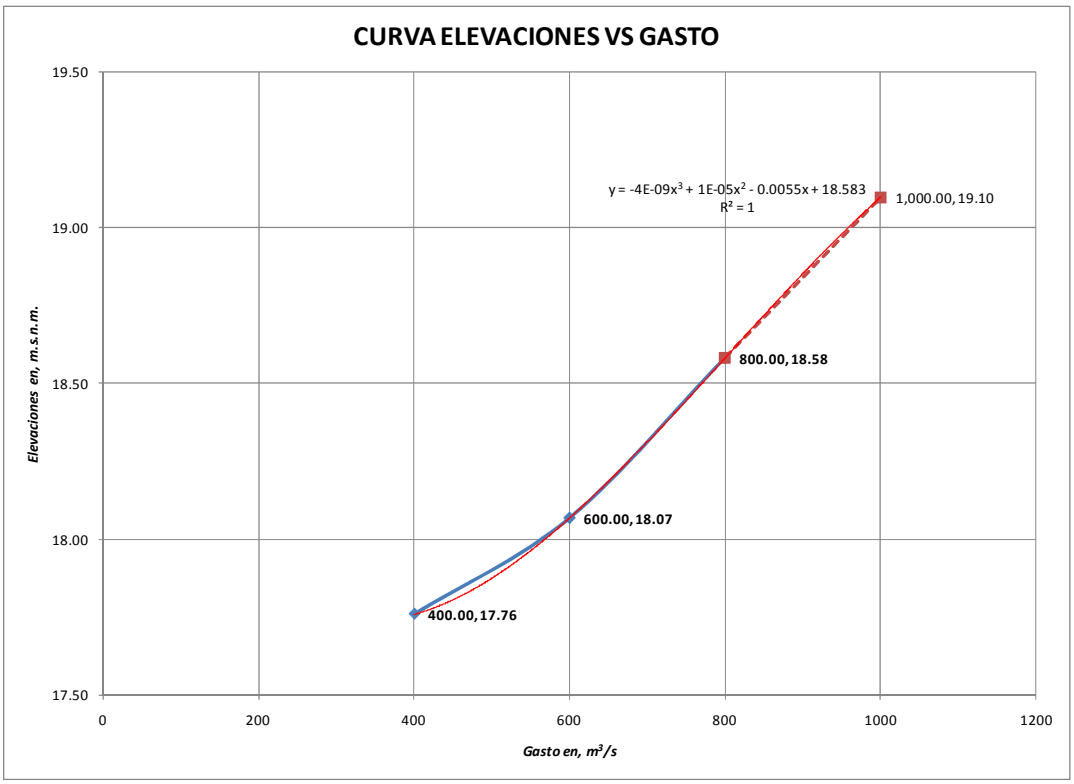


Figura. 44 Curva elevaciones en la bifurcación y gastos en el río Carrizal para la condición de la Figura. 39

Figura. 45 Gasto de 400 m^3/s

Figura. 46 Gasto de 600 m^3/s. Se observa el hundimiento del espigón alcanzando el desplante de éste la cota 13.80 msnm. El espigón está parcialmente ahogado debido al hundimiento

.

Figura. 47 Detalle de la erosión en la isla

Segunda prueba realizada

La segunda prueba consistió en cerrar completamente el espigón y mantener cerrado el puerto de la isla haciendo pasar diferentes gastos el río Carrizal. Los resultados fueron los siguientes:

1) Se alcanza el nivel 18.5 msnm y se presenta socavación en la base del espigón. Durante la prueba se observaron asentamientos del mismo, con el consecuente vertido por su corona y por lo tanto su falla parcial.

2) Ocurre filtración importante a través del espigón pero es difícil determinar que proporción del gasto infiltra dado que las características del modelo no son escalables.

3) Para un caudal de 1500 m^3/s en el Carrizal la elevación alcanzada aguas arriba (en la bifurcación) es el nivel 19.0 msnm el agua derrama sobre el espigón y sobre la isla, observándose la falla del espigón con acomodamiento del material aguas inmediatamente aguas abajo (el espigón adopta una geometría estable ampliando su base). El caudal que pasa sobre la isla es del orden del doble de lo que pasa sobre el espigón.

   Este resultado es muy importante, porque implica que independientemente de la estabilidad del espigón, para niveles altos se tendrá una descarga muy alta hacia el río Carrizal.

Figura. 48 Funcionamiento para 1500 m^3/s (rebase por encima de la isla)

Figura. 49 Vista del espigón al pasar 1500 m^3/s.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) En la primera condición, de parcialmente abierto, el espigón no cambia la distribución de gastos y si representa una mayor erosión y velocidades de flujo en el claro abierto entre el espigón y la isla.

b) En ambas pruebas se presenta socavación en la base y asentamiento del espigón.

c) El espigón cerrado es permeable y por lo tanto una parte del gasto pasa hacia el Macayo, no es posible en esta prueba cuantificar este gasto por desconocerse la permeabilidad del prototipo. Si bien la estructura envía la mayor parte del gasto hacia el Samaria antes de que vierta el agua sobre el espigón, se observa una gran posibilidad de falla por socavación en la base y por socavación al pie una vez vertiendo.

d) Para el espigón totalmente cerrado, el caudal que pasa por encima de la isla es mayor que el que pasa por encima del espigón, la cual hace que para gastos altos sea inútil.

e) Anteriormente, se había determinado en el modelo físico, que dragar el río en la bifurcación, en una zona entre la ubicación actual del espigón y aguas abajo hasta donde termina la zona del vado, podría tener un mayor efecto en la distribución de gastos que la construcción del espigón. Sin embargo el dragado deberá ser del orden lo 500,000 m^3, lo cual en una época de avenidas es muy difícil de realizar, ya que el transporte de sedimento sería intenso en esta época y se requeriría mucho tiempo para realizarlo (probablemente varias semanas o meses), lo cual dependerá de la capacidad de los sistemas de dragado disponibles. Por esto la medida no se debería considerar de emergencia.

f) Se estima que una acción que incidiría en reducir el gasto que pasa hacia el río Carrizal sería el cierre parcial del Macayo, a un máximo de 500 m^3/s, subiendo sólo el piso de la cresta vertedora actual. Esta acción técnicamente se ve más viable que el cierre del espigón. Esta recomendación se ha hecho desde 2006 y se ha considerado que la época más propicia es en el período de estiaje. Aún considerando su posible falla (de la cortina), la onda transitoria a través del río (sobrelevación del nivel del agua) se estima que no sería catastrófica y tendría un efecto temporal, ya que una vez acomodado el material en el sitio de falla, podría colocarse más material con una mejor posibilidad de ganar estabilidad al aumentar la base de la cortina. Según las pruebas en el modelo, que es solamente hidráulico (no geotécnico), se estima que la falla no sería brusca (repentina), pues la estructura es flexible por el tipo de material empleado, por lo cual se trataría de auto-acomodar en el sitio. Evidentemente esta opinión deberá ser avalada y sustentada por personal con conocimientos de geotecnia.

ALBUM FOTOGRAFICO

4.b RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN MODELO FÍSICO DEL ESPIGÓN EN LA BIFURCACIÓN MEZCALAPA – SAMARIA – CARRIZAL

Espigón para limitar el gasto hacia el río Carrizal (prototipo).

Espigón a la entrada del río Carrizal (modelo)

Gasto de 400 m^3/s

Gasto de 600 m^3/s. Se observa el hundimiento del espigón alcanzando el desplante de éste la cota 13.80 msnm. El espigón está parcialmente ahogado debido al hundimiento

.

Detalle de la erosión en la isla

Funcionamiento para 1500 m^3/s (rebase por encima de la isla)

Vista del espigón al pasar 1500 m^3/s.

4.c INFORME DE LAS PRUEBAS DE LA MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA ZAPOTES-DON JULIAN. INCLUYE CONSIDERACIONES, RESULTADOS DE PRUEBAS, INTERPRETACIÓN, RECOMENDACIONES Y ALBUM FOTOGRAFICO.

Para aliviar el problema de inundaciones de la ciudad de Villahermosa, se propuso derivar agua de la laguna de los Zapotes hacia la laguna de Don Julián. Para ello se propuso construir un nuevo puente cercano al actual de los Zapotes I, que comunicara ambas zonas lagunas, de hecho, se puede interpretar de las imágenes disponibles, que antes de la construcción del bordo hacia el aeropuerto, dichas lagunas estaban conectadas naturalmente, por lo cual ahora sólo se pretende restablecer tal comunicación en forma controlada.

Construcción del modelo

El modelo físico se construyó en el área externa del laboratorio de hidráulica del II, UNAM.

Figura. 14 Vista en planta de la represa tipo indio propuesta

.

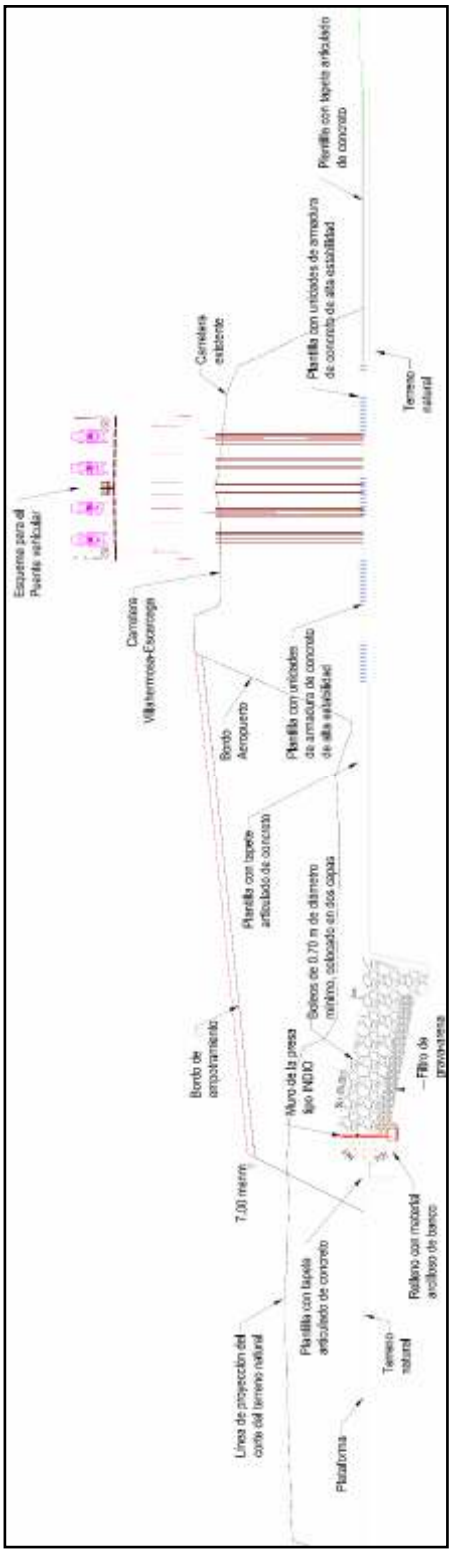


Figura. 15 Vista lateral de la represa tipo indio

Figura. 16 Limpieza y ubicación de la represa tipo indio en el modelo de la zona lagunar "Los Zapotes"

En la Figura. 16 se muestra la construcción de una base de mampostería para ubicar las dovelas que constituyen la estructura completa de la represa tipo indio.

Figura. 17 Colocación y nivelación de la represa tipo indio

Las dovelas de la represa tipo indio fueron modeladas según el diseño propuesto por CONAGUA. Cabe señalar que la parte rugosa de la represa fue relavada, para representar así las condiciones de prototipo. El diámetro de piedra recomendado en los planos de CONAGUA es de 70 cm, como mínimo; se utilizó en el modelo piedra de ½ in y ¾ in, que representan 76.2 y 114 cm respectivamente. Estos diámetros están de acuerdo con un cálculo para una recomendación de diámetros mínimo y un máximo, entre 60 y 120 cm.

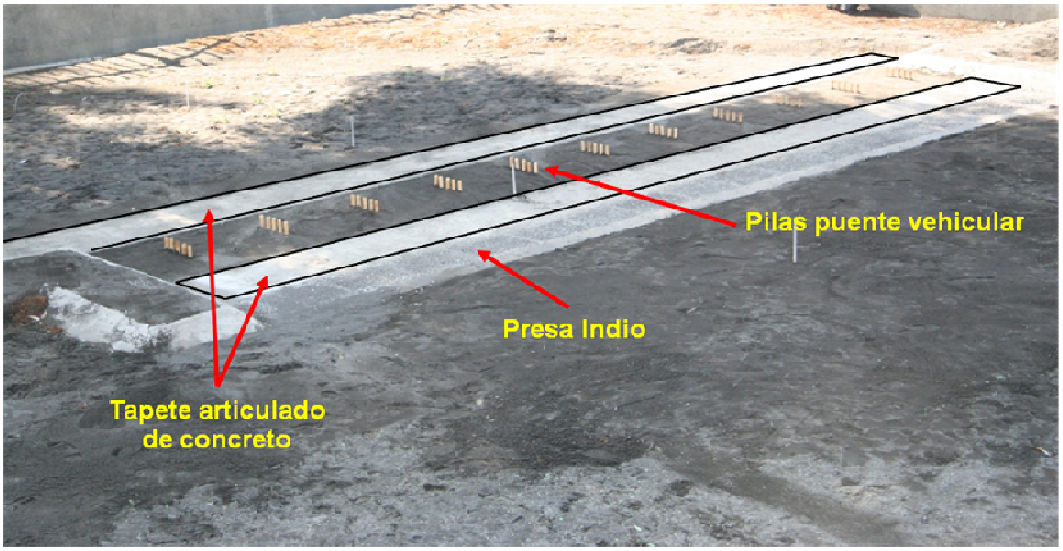


Figura. 18 Vista de la obra de control terminada.

El tapete flexible tiene bloques de concreto con dimensiones 30 x 30 x 15 cm, lo que en escala es un diámetro aprox. entre 3 y 5 mm, por lo que para representar esta rugosidad se utilizó mortero, cuya arena (cribada a 5 mm) estaba en este rango de diámetro.

Al realizar la prueba para la descarga de 2000 m^3/s con una cota en el nivel aguas abajo de 5.30 msnm, el nivel aguas arriba fue de 6.15 msnm (Figura. 19), con lo cual se concluye que, aunque ése nivel es mayor que la referencia de diseño de 6.00 msnm, la diferencia puede ser aceptable. En caso contrario, sí CONAGUA deseara bajar tal nivel será entonces necesario aumentar la longitud de cresta y volver a probar. Sin embargo es conveniente señalar que el tapete de aguas abajo altera el flujo y de hecho presenta socavaciones importantes (Figura. 20) que en la realidad se manifestarán como falla del tapete, por lo cual se recomienda eliminarlo ya que no se observa ninguna ayuda en el funcionamiento hidráulico. Si se elimina este tapete, podría mejorar el funcionamiento de la estructura en cuanto los niveles antes señalados. Si bien también se observó socavación en las pilas, estas dependiendo de su diseño, probablemente no tendrán problemas si se profundizan suficientemente o bien se protegen contra la socavación.

Figura. 19 Gasto de diseño de 2000 m^3/s, medición de velocidades en diferentes puntos de la cresta del vertedor (represa tipo indio)

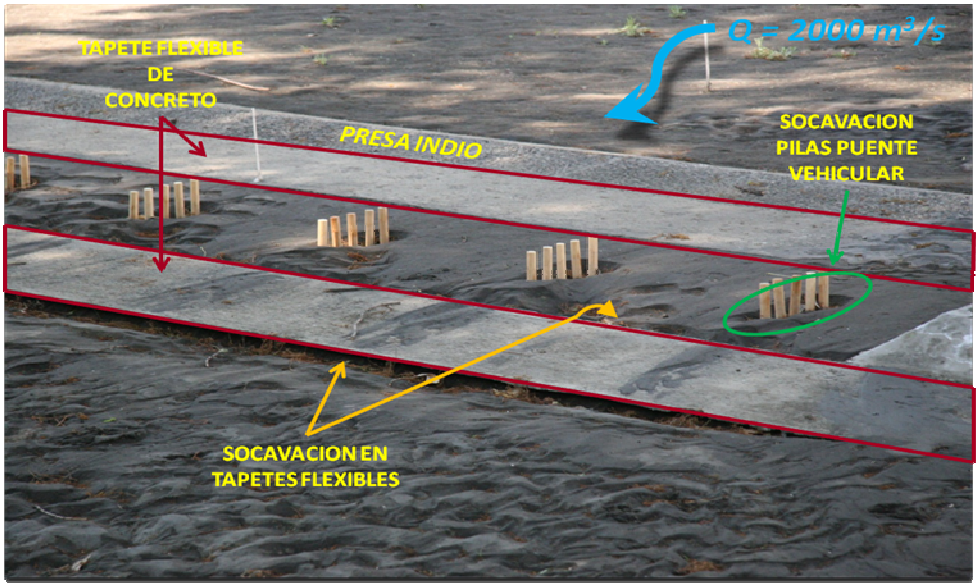


Figura. 20 Erosión después de operar la obra con gasto de diseño

.

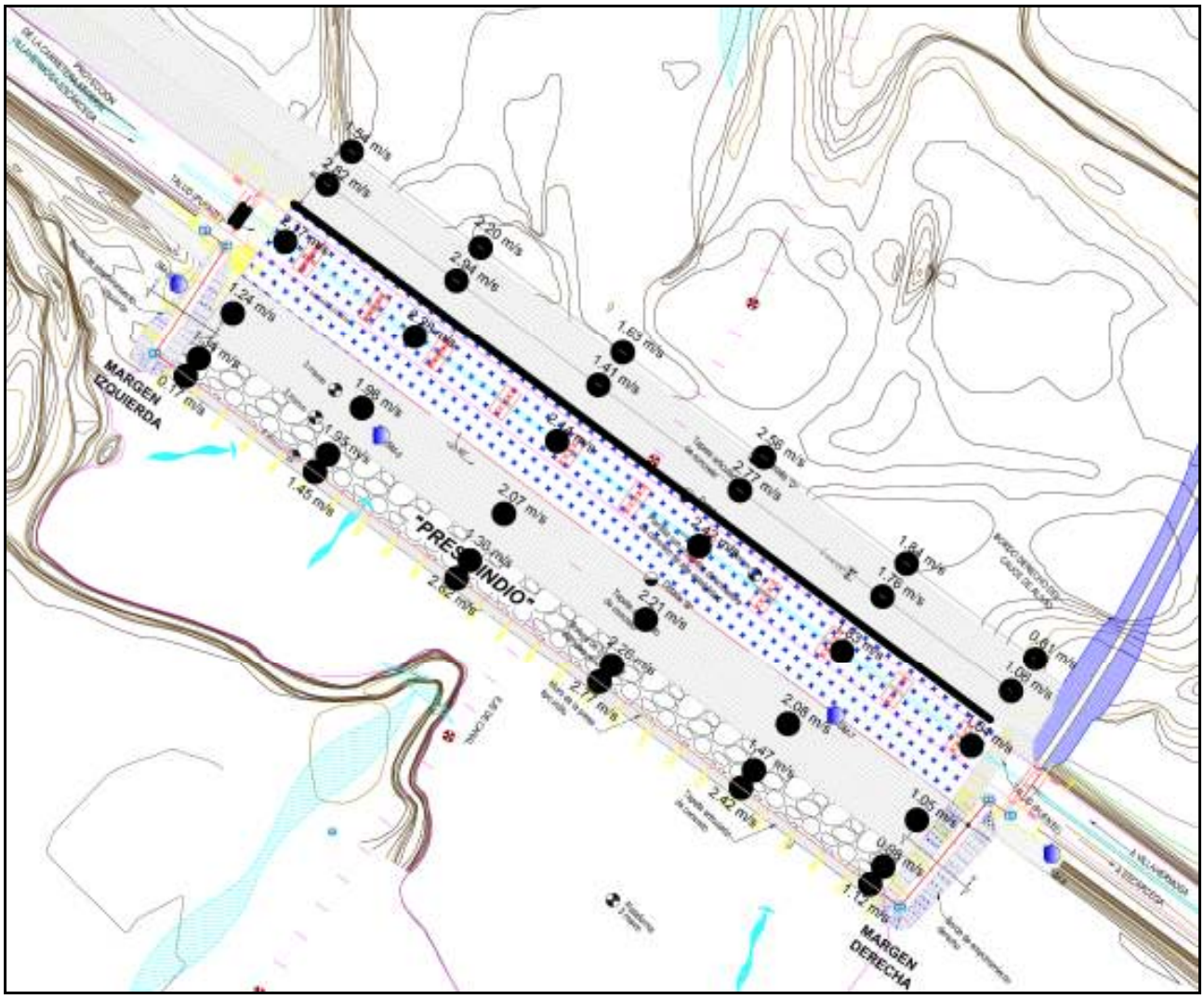


Figura. 21 Puntos de medición de velocidades en la represa tipo indio (gasto de diseño de 2000 m^3/s).

En la Figura. 21 se observa que las velocidades en la entrada de la represa están alrededor de 2.8 m/s, mientras que a la salida alcanzan los 2 m/s, cabe mencionar que a pesar de presentarse pequeñas velocidades, se observa socavación, tanto en las pilas del puente vehicular, como en los tapetes articulados de concreto (ver Figura. 20). La socavación del tapete se debe principalmente a que este es rígido en el modelo, pero en el prototipo será flexible por lo cual no se estima importante este problema. La socavación de las pilas no parece ningún problema importante y puede resolverse con protecciones adecuadas en cada pila, en lugar de tratar de bajar la velocidad en toda la zona bajo el puente.

.

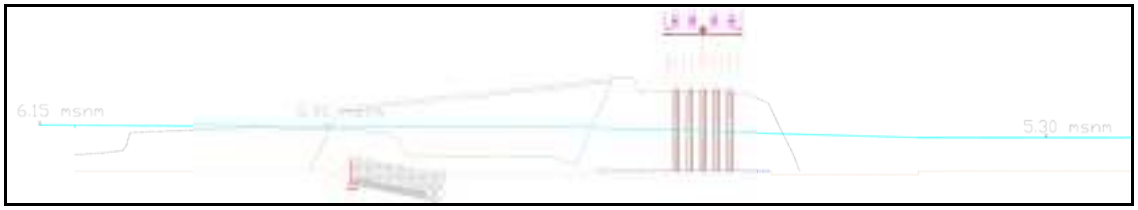


Figura. 22 Perfil Hidráulico medido en las pruebas para el gasto de diseño

Adicionalmente se probaron estructuras bajo el puente para disminuir en ese sitio la velocidad del flujo. Las estructuras que se emplearon se muestran en la Figura. 23 y esencialmente se piensa que pueden ser estructuras de concreto con forma similares a crucetas de aprox. 1.5 m de longitud máxima. En la Figura. 24 se muestra un acercamiento al detalle de una de las crucetas, y en la Figura. 25 el funcionamiento general.

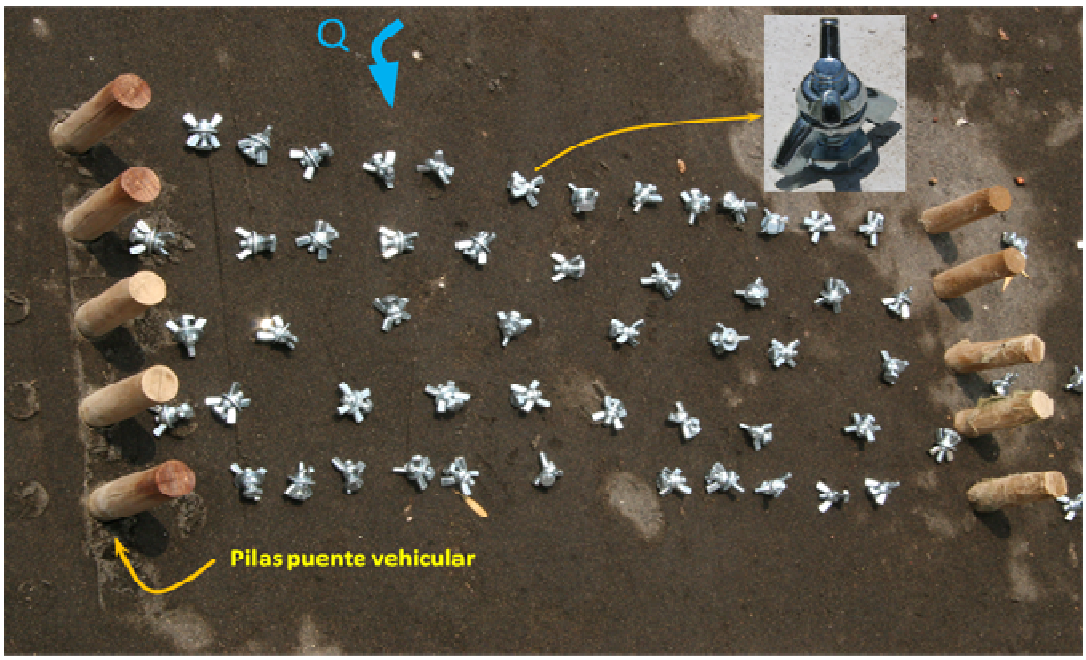


Figura. 23 Crucetas bajo el puente vehicular (84 estructuras entre pilas)

.
.

Figura. 24 Detalle de una cruceta en el modelo físico (dim. máx. 1.5 m)

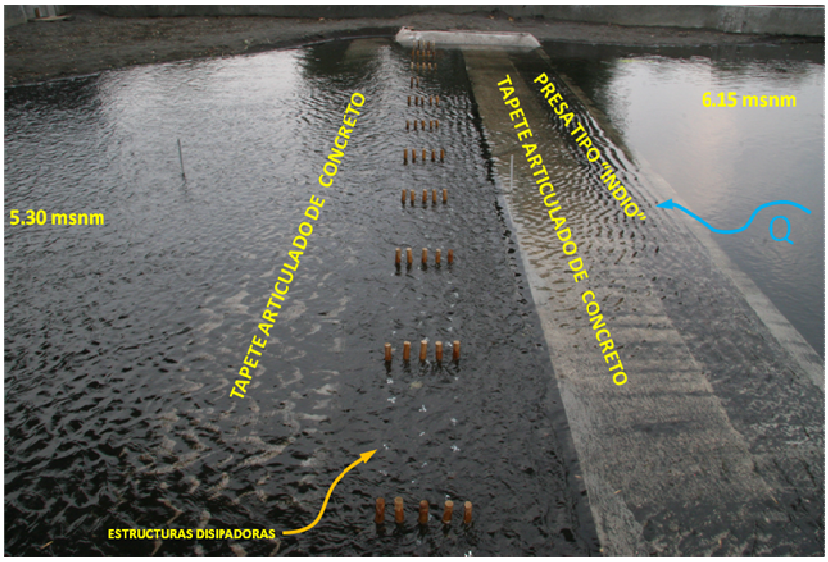


Figura. 25 Funcionamiento completo del modelo hidráulico con crucetas (estructuras disipadoras)

.

.

.

Se realizaron varias pruebas para determinar el efecto de las crucetas en la disminución de la velocidad bajo el puente y los resultados se muestran en la tabla 1. Estos indican que sin el tapete de aguas abajo, sólo las densidades más bajas disminuyen la velocidad. Con la presencia del tapete aguas abajo, sólo para las densidades más altas la velocidad disminuye. Esto demuestra que la presencia del tapete afecta, aunque no manera importante, el funcionamiento de la represa tipo indio.

En resumen, no se recomienda el uso de crucetas para disminuir la velocidad, ya que no tienen un efecto significativo en la reducción de la velocidad y sin embargo es posible que sean muy costosas por su número y por la dificultad técnica de construirlas; por ejemplo, para la densidad de 0.071 c/m^2, en el caso de que sólo se cubra el área bajo el puente, se tendrían 12 claros de 788 m/^{2} c/u, entonces se necesitarían 0.071*788*12 = 670 crucetas. Si se desea disminuir la velocidad del agua bajo el puente, es muy probable que existan otras dimensiones de crucetas (menores) u otros métodos para reducir la velocidad más baratos y con mejores resultados, pero hay que recordar que tal reducción implica aumentar el tirante de descarga y esto no es recomendable para el buen funcionamiento del la represa.

En todas las pruebas realizadas con crucetas, se mantuvieron los resultados de los niveles para pasar 2000 m^3/s con la cota 6.15 msnm en los Zapotes y con el nivel 5.3 msnm aguas abajo.

Tabla 1. Resultados del efecto de diferentes densidades de crucetas en el cambio de la velocidad bajo el puente.

Densidad de crucetas/m^2	Sin tapete aguas abajo	Con tapete aguas abajo
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
0	2.81	2.79
0.035	2.17	3.39
0.071	2.60	2.31
0.106	2.96	2.39

Nota. La densidad propuesta por CONAGUA es de 0.023 estructuras/ m^2 (con 18 piezas en un área entre pilas de 788 m^2).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

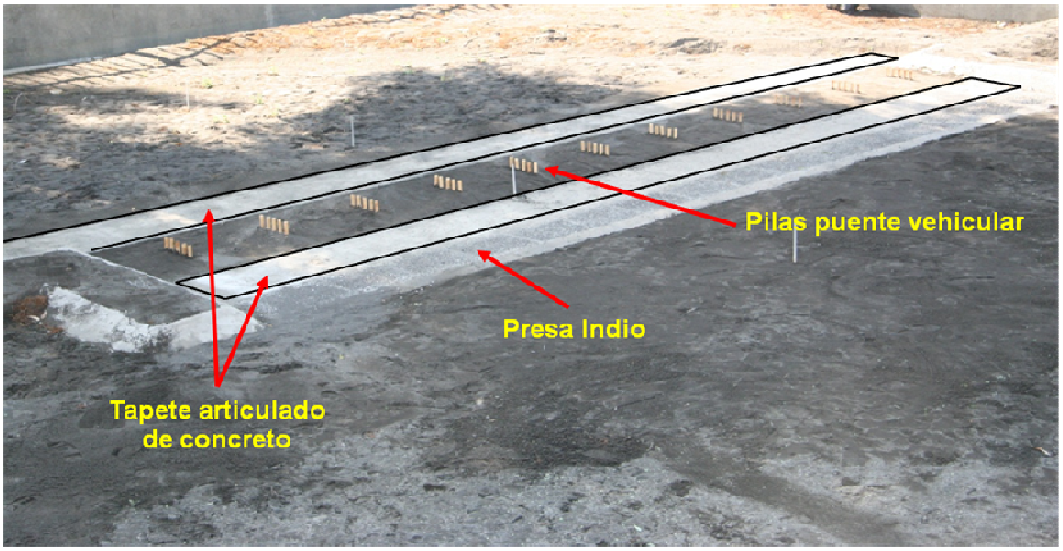
Con el nivel de cresta del la represa en la cota 4.0 msnm, se lograron pasar 2000 m^3/s con la cota 6.15 msnm en los Zapotes y con el nivel 5.3 msnm aguas abajo. El funcionamiento de la represa es bueno, sin embargo se recomienda que ningún nivel del terreno aguas arriba, esté por encima de la cota 3.0 msnm en una superficie de 500 m x 400 m. Se considera que el tapete de aguas abajo debe eliminarse ya que no tiene gran utilidad y sin embargo de ser mal instalado puede elevar el nivel de la descarga del vertedor, efecto no conveniente para su buen funcionamiento. Según lo indicado en el plano de diseño, se probaron crucetas bajo el puente para tratar de disminuir la velocidad, pero las combinaciones ensayadas no mostraron resultados satisfactorios, por lo cual se recomienda proponer otra alternativa, o bien dejar el terreno al natural y proteger las pilas contra la socavación.

ALBUM FOTOGRAFICO

4.c ESTRUCTURA DE CONEXIÓN ZAPOTES – DON JULIÁN

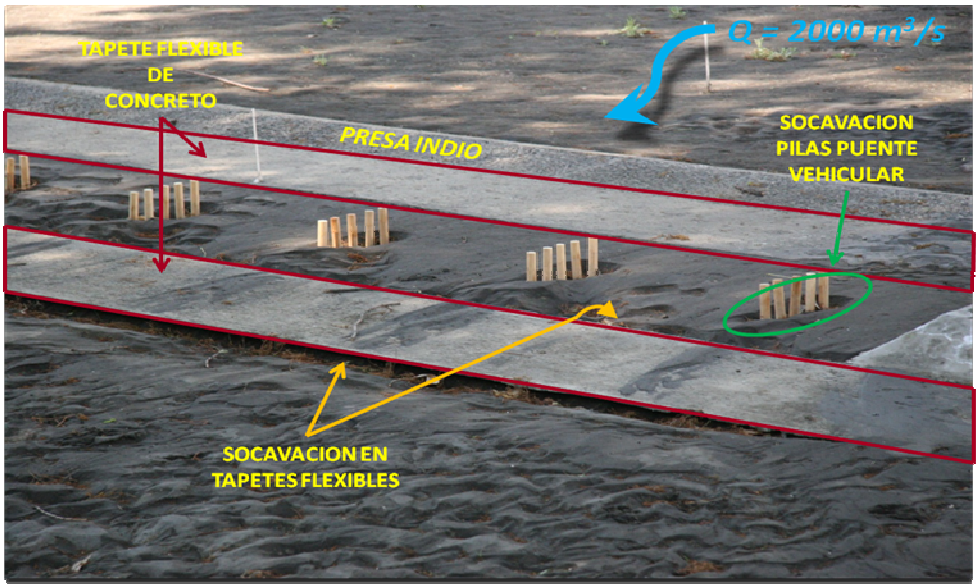
Limpieza y ubicación de la represa tipo indio en el modelo de la zona lagunar “Los Zapotes”

Colocación y nivelación de la represa tipo indio

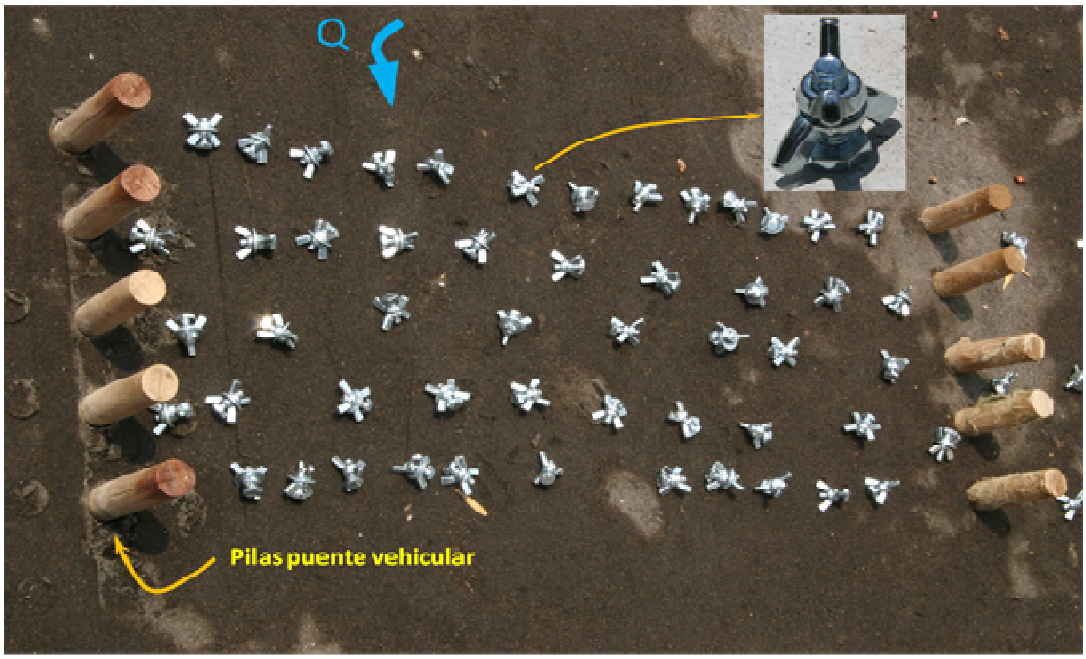


Vista de la obra de control terminada.

Gasto de diseño de 2000 m^3/s, medición de velocidades en diferentes puntos de la cresta del vertedor (represa tipo indio)



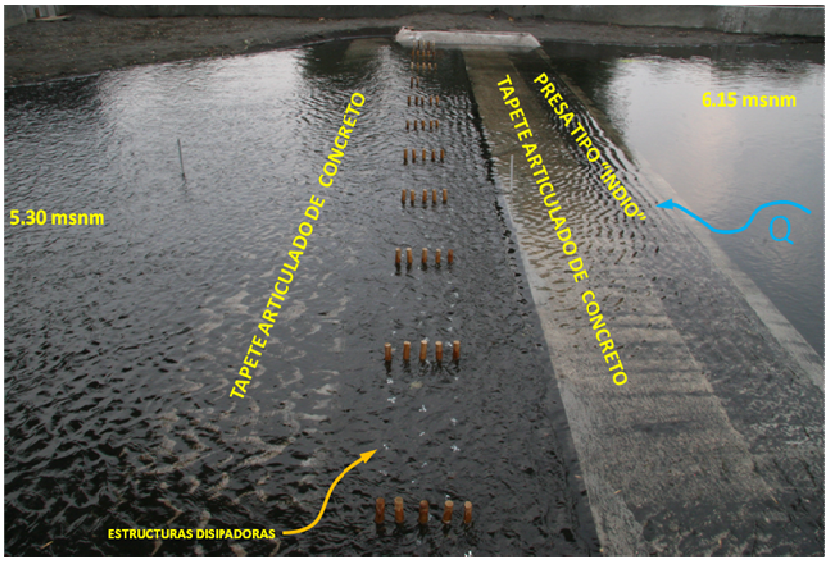
Erosión después de operar la obra con gasto de diseño



Crucetas bajo el puente vehicular (84 estructuras entre pilas)

.
.

Detalle de una cruceta en el modelo físico (dim. máx. 1.5 m)



Funcionamiento completo del modelo hidráulico con crucetas (estructuras disipadoras)