



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

***"DETERMINACION DE LAS CURVAS DE DESCARGA DE LAS
COMPUERTAS RADIALES DE LA OBRA DE CONTROL EL
MACAYO, A PARTIR DE MEDICIONES EN EL PROTOTIPO "***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERIA
(HIDRAULICA)**

PRESENTA

ING. MARTHA FIDELINA RAMIREZ RAMIREZ

DIRECTOR DE TESIS

M.I. JUAN JOSE MUCIÑO PORRAS

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, 18 DE NOVIEMBRE DE 2015



Universidad Autónoma de Chiapas

Facultad de Ingeniería C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
Octubre 16 de 2015.
OFICIO. F.I. 01.01615/2015.

C. MARTHA FIDELINA RAMÍREZ RAMÍREZ.

Alumna de la Maestría en Ingeniería
con Terminal en Hidráulica.

P r e s e n t e.

Por este medio comunico a Usted, que se le autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: **“Determinación de las curvas de descarga de las compuertas radicales de la Obra de Control El Macayo, a partir de mediciones en el Prototipo”**, para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería con Terminal en Hidráulica.

Sin otro particular por el momento, aprovecho el medio para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”


DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRER
DIRECTOR



**DIRECCIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

C. c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinador de Investigación y Posgrado de la Facultad
C. c.p. Archivo/minutario
FAAF/masn*

CACEI

Acreditado

Boulevard Belisario Domínguez, Km 1081, Sin Número, Terán. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
México, C.P. 29050, Tels., (961) 61 7-80-00 ext. 1560, www.unach.mx www.ingenieria.unach.mx



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 8 de octubre del 2015.

DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
PRESENTE

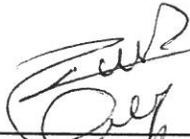
En nuestra calidad de sinodales del examen para obtener el Grado de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Hidráulica de la alumna **C. Martha Fidelina Ramírez Ramírez**, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo de tesis titulado: **"Determinación de las curvas de descarga de las compuertas radiales de la Obra de Control El Macayo, a partir de mediciones en el Prototipo"**.

Quedamos enterados de que formaremos parte del jurado del examen de grado, en la fecha y hora que se nos comunique.

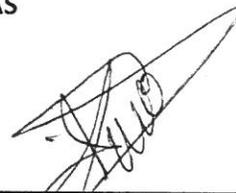
ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"



M. I. JUAN JOSÉ MUCIÑO PORRAS
DIRECTOR DE TESIS



DRA. DELVA DEL ROCÍO GUICHARD ROMERO
ASESOR DE TESIS



DR. MIGUEL ÁNGEL AGUILAR SUÁREZ
ASESOR DE TESIS

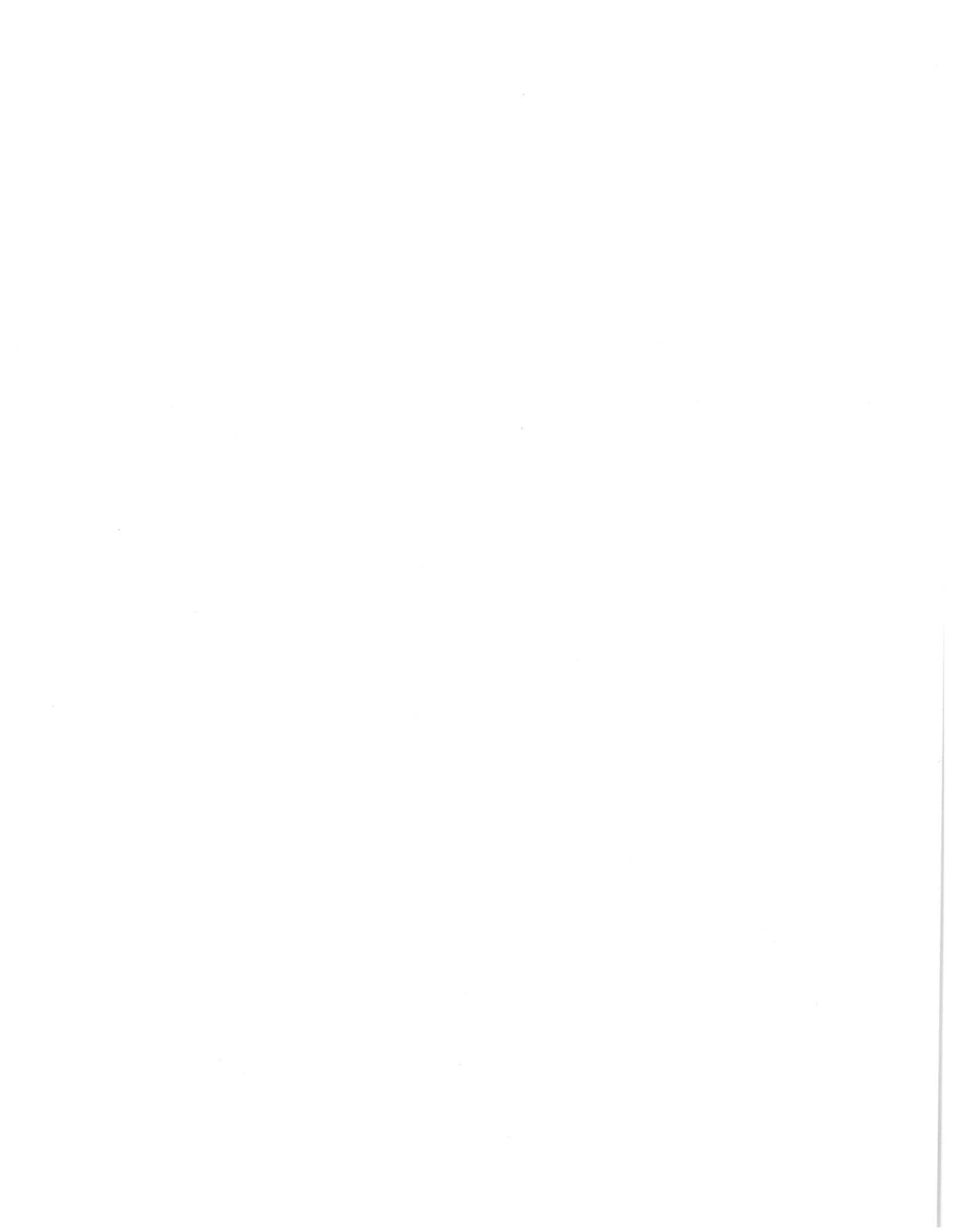


M. I. AGUSTÍN OSUNA RODRÍGUEZ
ASESOR SUPLENTE DE TESIS



M. I. ROMEO BALLINAS AVENDAÑO
ASESOR SUPLENTE DE TESIS

Archivo/Minutario.



Dedicada con todo mi amor y cariño a...

Mis hijos, Ayelin y Geovanni, por soportar mis ausencias y por su amor, que ha sido motivo de inspiración para seguir adelante en mi crecimiento profesional. Los amo.

Mi esposo, por su amor, paciencia, comprensión, apoyo incondicional y ánimo para seguir en busca de mi superación profesional. Te amo.

Mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y por estar siempre a mi lado apoyándome en las buenas y en las malas, con amor.

Mi suegra, por cubrirme durante mis ausencias con mis hijos, gracias por el apoyo incondicional. Mi respeto y cariño hacia a usted.

Mi familia, que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Todo esto nunca hubiera sido posible sin la bendición de Dios y sin el amor que me inspiraron. Las palabras nunca serán suficientes para testimoniar mi amor y agradecimiento hacia ustedes.



Agradecimientos

Este trabajo de tesis fue realizado con el apoyo del Organismo de Cuenca Frontera Sur, Comisión Nacional del Agua, donde me dieron la oportunidad de participar en la campaña de aforos realizados en el Prototipo de la Estructura El Macayo, por lo que es mi deseo agradecer a todas las personas que me apoyaron en la realización de este trabajo.

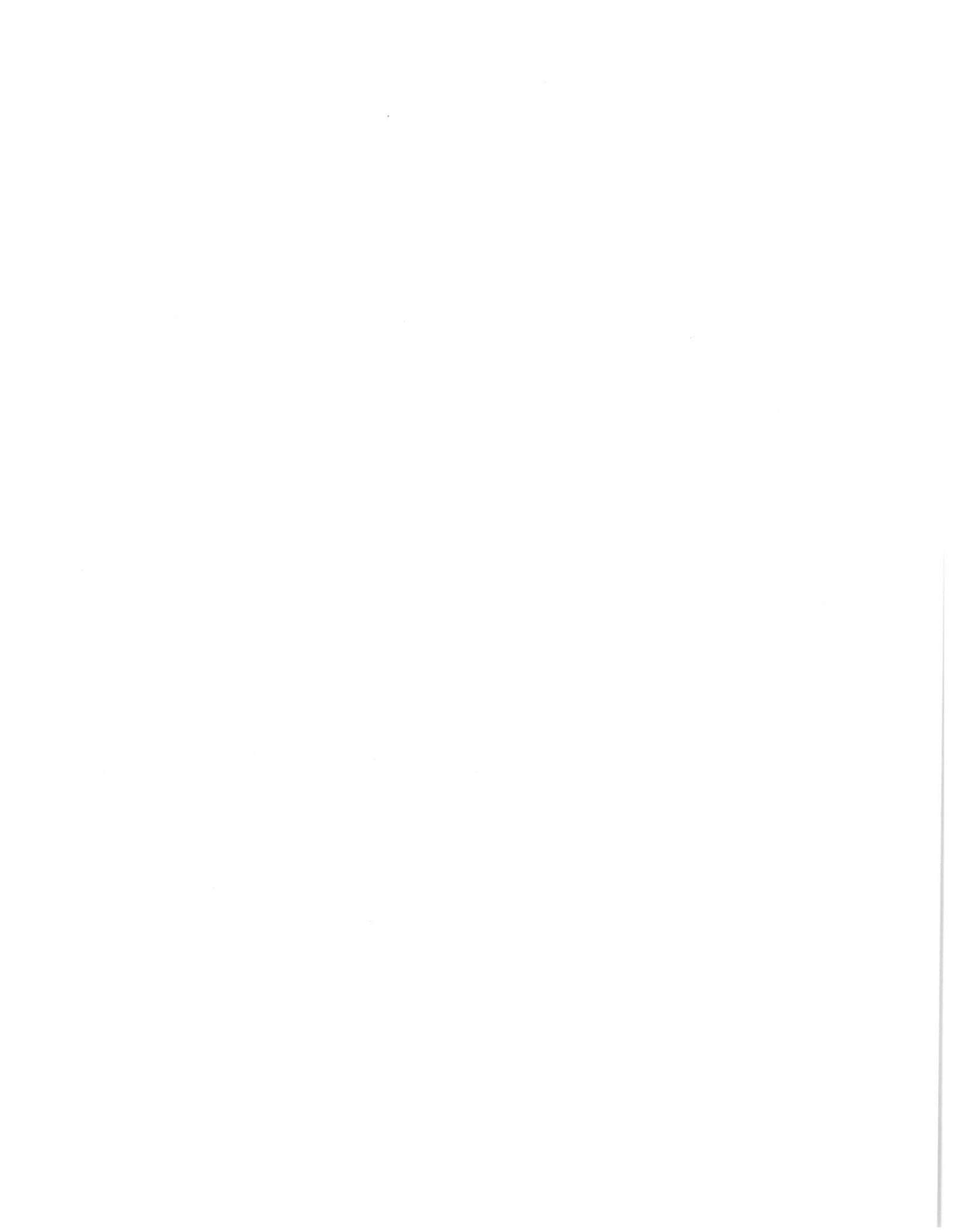
En primer lugar, a mi Director de Tesis, M. I. Juan José Muciño Porras, mi más amplio agradecimiento por haber aceptado dirigirme en este trabajo y por su gran sabiduría, paciencia, apoyo y ánimo para seguir adelante con la tesis.

Al M. I. José Alberto Grajales López, por compartir su sabiduría, experiencia y trabajo. Gracias por la confianza y apoyo en todo el proceso de la tesis.

Agradezco al Fis. César Triana Ramírez, Director Técnico del Organismo de Cuenca Frontera Sur, por el apoyo en la obtención de los datos de la campaña de aforos y por permitirme ser parte del equipo de trabajo en dicha campaña.

Mis agradecimientos a la colaboración del equipo involucrado en la campaña de aforos, en especial a Claudia, Rubí, Mariano y Damián, que sin ellos no hubiera sido posible obtener la información de campo necesaria para el análisis presentado en esta tesis.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.



1	Introducción	2
2	Antecedentes	4
3	Descripción del sitio de estudio	13
3.1	Características de la estructura	13
4	Comportamiento de la distribución del gasto líquido en la bifurcación del Río Mezcalapa.....	18
4.1	Obras que han impactado en la distribución del gasto en la bifurcación del río Mezcalapa.	18
4.2	Comportamiento de la distribución del gasto líquido e la bifurcación del río Mezcalapa	29
5	Campaña de medición para definir la propuesta de las políticas de operación.	34
6	Análisis de los datos de la campaña de aforos.....	42
6.1	Aportaciones de cuencas libres.....	43
6.2	Evaluación de la distribución de gastos en la bifurcación del Río Mezcalapa en la Campaña de aforo.....	46
6.3	Margen izquierda a diferentes aperturas.	48
6.4	Margen derecha a diferentes aperturas	52
6.5	Análisis del gasto de filtración.....	55
6.6	Comparación del comportamiento del flujo en margen izquierda y derecha.	57
7	Evaluación de los resultados del prototipo con el modelo físico.....	60
7.1	Canal Margen Izquierda	60
7.2	Canal Margen Derecha.....	64
8	Conclusiones y recomendaciones.	65
9	Bibliografía	69
	ANEXOS	71

1 Introducción

En 1999, ocurrieron precipitaciones de magnitud extraordinaria, que propiciaron que la Ciudad de Villahermosa, fuera afectada al desbordarse el río Carrizal en algunos sitios del tramo que la cruzan. Como resultado, la Comisión Nacional del Agua diseñó un Programa Integral de Control de Inundaciones (PICI), que fue creado el 2 de abril de 2003, como medio de solución a la problemática de las inundaciones sistemáticas, principalmente ocurridas en esa zona. En este Programa se incluía la estructura de control sobre el río Carrizal, denominada “El Macayo”, la cual conduciría la mayoría de las aguas del río Mezcalapa y las descargas de la Presa Peñitas hacia el mar a través del cauce del río Samaria, dejando pasar un caudal máximo de sólo 850 m³/s por el río Carrizal, que en su recorrido cruza Villahermosa.¹ Esta estructura, ayudará a mantener un régimen de flujo casi permanente en el tramo aguas abajo; por ello, se ha pensado que la estructura de control propuesta también servirá para disminuir la falla de las márgenes en el río Carrizal. En marzo del 2007 el Instituto de Ingeniería de la UNAM, realizó el modelo numérico para estudiar el funcionamiento hidráulico de la bifurcación del río Samaria y Carrizal en el Estado de Tabasco, con lo cual comprobaron que la estructura “El Macayo”, permitiría controlar los gastos hacia Villahermosa, aunque probablemente aumentará el depósito de sedimento en la bifurcación.²

Existen diferentes estudios, que abordan la problemática de la red hidrográfica, desde puntos de vista particulares e integrales. Los principales trabajos los han realizado: la Comisión Nacional del Agua, Comisión Federal de Electricidad, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. En estos estudios, han realizado modelos numéricos del funcionamiento del sistema hidráulico formado por los ríos Mezcalapa, Samaria y Carrizal.

¹Informe del Plan Hídrico Integral de Tabasco, Comisión Nacional del Agua, 2008.

²Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2007.

Esta tesis busca proponer los elementos necesarios para determinar las curvas de descarga de las compuertas radiales de la obra de control denominada “El Macayo” a partir de las mediciones en el Prototipo, que permita una operación adecuada durante eventos extraordinarios, que se presenten en las cuencas libres del río Mezcalapa, aunado a la extracción de la Presa Peñitas.

2 Antecedentes

El estado de Tabasco se ubica en la confluencia y delta de los dos ríos más caudalosos de México: el Grijalva y el Usumacinta, los cuales suman aproximadamente el 30% del total del escurrimiento de México.³ A lo largo de la historia de Tabasco, la planicie ha sufrido drásticas transformaciones que han modificado la libre circulación del agua en los cauces de los ríos, presentándose en las condiciones actuales lo que podríamos llamar una red hidrológica de “ríos encadenados”, ya que se ha modificado radicalmente el comportamiento de los ríos de Tabasco.

Históricamente una característica particular de los ríos de planicie, como los del sistema fluvial del Grijalva, es la divagación de los cauces. En el siglo XVI, el Mezcalapa o bajo Grijalva después de pasar por Huimanguillo transcurría con rumbo hacia el norte, pasando por Nueva Zelandia; Cárdenas, Comalcalco y Paraíso, ocupando el cauce del hoy denominado río Seco, para desembocar al Golfo de México, ver figura 2.1.



Fig. 2.1.- Sistema Fluvial en el siglo XVI. Fuente: Velázquez, 1994.

En 1997, en la publicación del Estudio de Gran Visión para la Protección contra Inundaciones en la Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, emitido por la

³Informe de las Inundaciones de 2007 en el Estado de Tabasco, Comisión de Recursos Hidráulicos, 2008.

Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad, narra la historia de los rompidos en la planicie Tabasqueña, la cual se describe a continuación:

El primer rompido (llamado "rompido", término local, para indicar la salida de un río de su cauce original y formar otro) que se tiene registrado fue en 1675, ocurrido en la margen derecha en el sitio de la actual Nueva Zelandia, el Mezcalapa sufrió una desviación hacia el oriente, ocupando el cauce muy divagante del llamado río Viejo, que se unía al río La Sierra formado por los ríos Teapa y Tacotalpa, 2 km hacia el sur de San Juan de Villahermosa, formando entre ambos el río Grijalva propiamente dicho, que en estas condiciones fue causa de graves inundaciones en la que hoy es la capital del estado.

En 1850 el Mezcalapa se desbordó 2 km aguas arriba del sitio en que actualmente se ubica el puente Samaria, provocando inundaciones en La Chontalpa Oriental y en 1881 se formó un rompido en Manga de Clavo 16 km al oriente de la actual Nueva Zelandia, dando origen al río Carrizal que pasaba 3 km al norte de Villahermosa y continuaba por el cauce que ahora se conoce como río Medellín, para desembocar al Golfo por la Barra de Chiltepec, con lo cual el río Viejo quedó inactivo como permanece hasta el presente.

Debido a la construcción de un pequeño canal de navegación en 1904, se propició la formación de un nuevo rompido en el sitio de La Pigua al noreste de Villahermosa, que volvió a pasar las aguas del Carrizal al Grijalva aguas abajo de la capital. En 1932 la margen izquierda del Mezcalapa cedió las aguas del río y se produjo el rompido de Samaria, 10 km al noreste de Nueva Zelandia, con lo cual el escurrimiento se desvió hacia la laguna de Campo Grande y a los pueblos de Cunduacán, Jalpa y Nacajuca, quedando cegado el Carrizal y originándose grandes inundaciones en los pueblos citados, así como en la zona agrícola de la Olla de Chontalpa que resultó afectada en una extensión aproximada de 40,000 ha. En 1940 el río Samaria cede hacia su margen derecha y se produce el rompido de Cañas, 8 km al noreste de Samaria, formando el río Cañas que retorna nuevamente

las aguas hacia el río Medellín, a través de un cauce de sentido poniente-oriente que libera parcialmente de inundaciones la Olla de Chontalpa.

En 1945 se inició otra divagación del Mezcalapa con rumbo hacia el poniente al sur de Nueva Zelandia, pero fue contenida oportunamente mediante obras emergentes provisionales y en 1946 presentó una fuerte erosión frente al ingenio de Nueva Zelandia, pero no tuvo mayores consecuencias gracias a la inmediata construcción de defensas permeables y de pequeños espolones formados con pilotes, pero en ese mismo año otro intenso movimiento erosivo se hizo presente frente al edificio principal del ingenio citado, que en sólo dos años acabó con cerca de 60 ha de cañaverales y amenazaba con destruir las instalaciones de la industria mencionada, lo cual fue evitado por medio de obras similares a las anteriores ejecutadas por los propietarios del ingenio. El Mezcalapa inició en 1947, una nueva divagación aguas abajo de Huimanguillo hacia el poniente, tendiendo a tomar el curso del río Seco, pero el efecto erosivo fue detenido a tiempo y se pudo evitar la ruptura de la margen izquierda. En 1952 el Mezcalapa provocó otro rompido en su margen derecha por el sitio conocido con el nombre del Veladero, que hizo retornar las aguas al río Viejo provocando nuevamente inundaciones en Villahermosa, Comalcalco, Paraíso, Jalpa, Nacajuca, Cárdenas y Cunduacán hasta el año siguiente en que la ruptura fue cegada.

Las extraordinarias precipitaciones que en 1955 se presentaron en gran parte del territorio nacional, provocaron en las tierras bajas de la planicie tabasqueña considerables daños aunque menores que en otras regiones del país; la inundación en Tabasco afectó las zonas de Nacajuca, Jalpa, Cunduacán y algunas otras áreas de la Olla de Chontalpa; la ciudad de Villahermosa y las tierras de Cárdenas y Huimanguillo sufrieron perjuicios de menor cuantía, debido a que ya se habían construido algunos de los bordos y aunque no se hizo una estimación completa de los daños ocasionados puede considerarse que fueron mayores que los de 1952. En la figura 2.2, se presentan los diferentes “rompidos” ocurridos en la hidrografía del estado de Tabasco.

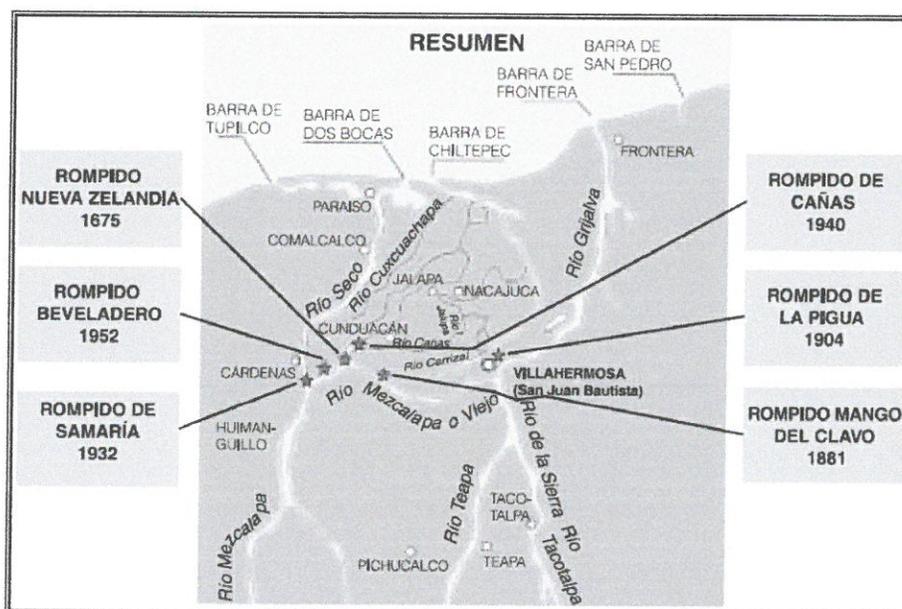


Fig. 2.2.- Resumen de los "rompidos" en Tabasco.

Fuente: Velázquez, 1994.

Esta región, históricamente ha estado sujeta a inundaciones, entre estas, destacan por su magnitud y grado de documentación los eventos de 1995, 1999, 2007 y 2010. A partir de la construcción de las presas sobre el río Grijalva, se redujeron significativamente los gastos durante las épocas de avenidas, por lo tanto cumplen con la función de control de crecientes, además de ser un sistema de presas de generación de energía.⁴

Un problema importante, se ubica en el funcionamiento de la bifurcación del río Mezalapa, debido al depósito de sedimento que provoca la disminución de gastos en el río Samaria y el incremento hacia el río Carrizal, con el consecuente aumento del peligro de inundación para la Ciudad de Villahermosa.

Después de las inundaciones del 2007, la Comisión Federal de Electricidad propone la última versión del diseño de una estructura de control sobre el río Carrizal, donde el funcionamiento hidráulico fue revisado por el Instituto de Ingeniería, UNAM, en el 2008. El modelo físico a escala 1:60 fue construido en el Laboratorio de Hidráulica

⁴Estudio Experimental de las Obras de Control sobre los ríos Carrizal, La Sierra, Pichucalco y en la Bifurcación del Samaria en el Estado de Tabasco, Jesús Gracia Sánchez, Javier Osnaya Romero, Eliseo Carrizosa Elizondo, Víctor Manuel Ortiz Martínez y Víctor Franco; Plan Hídrico Integral de Tabasco, Comisión Nacional del Agua, 2008.

del II UNAM, donde previamente se habían estudiado las versiones anteriores de las estructuras del Carrizal. En la margen izquierda se compone por 3 compuertas y sobre la margen derecha se tiene un vertedor. La finalidad de este estudio fue estimar los gastos máximos que puedan pasar por el canal de la margen izquierda, se fijó un caudal de 350 m³/s de diseño, que permitiera alcanzar el nivel de 19.5 msnm. Concluyendo que en términos generales observaron un buen funcionamiento de la margen izquierda, sin ataque a la margen contraria y la velocidad a la salida de la estructura no era erosiva, sin embargo, el Instituto de Ingeniería mencionó que era probable que pudieran existir efectos en la margen derecha, aunque no lo detectaron en el modelo físico, puede ocurrir en el prototipo, por lo cual señalaron que habría que mantener en observación el comportamiento de la descarga, dependiendo de la estructura que se construyera en dicha margen.⁵

En el 2009 la Comisión Nacional del Agua, propone cambios a la versión de Comisión Federal de Electricidad, por lo tanto el Instituto de Ingeniería se dio a la tarea de modificar el modelo físico construido anteriormente. Ahora la estructura de control estaría conformada por un canal en la margen izquierda con tres compuertas con las mismas dimensiones del modelo físico anterior y un canal sobre la margen derecha compuesta por cuatro compuertas de 5.0 m de ancho, tres pilas de 2.0 m de ancho y a la salida un tanque amortiguador. Revisando el funcionamiento hidráulico de la estructura en condiciones normales de operación, encontraron que el canal de la margen derecha presenta un funcionamiento deficiente a la salida del canal de desfogue, pues la distribución del gasto y la velocidad, varían considerablemente en la sección de salida, ubicándose la mayor velocidad en la margen derecha del canal, por lo cual el Instituto propone modificar la salida del canal inclinándola hacia la margen derecha, tratando de distribuir mejor el gasto, así también menciona la necesidad de proteger las márgenes a la salida del canal con enrocamiento, concreto o seleccionar un mejor diseño del morro, debido a la socavación local acentuada que se presentó a la salida del canal. Otro detalle

⁵Estudio Experimental de las Obras de Control sobre los ríos Carrizal, La Sierra, Pichucalco y en la Bifurcación del Samaria en el Estado de Tabasco, Jesús Gracia Sánchez, Javier Osnaya Romero, Eliseo Carrizosa Elizondo, Víctor Manuel Ortiz Martínez y Víctor Franco; Informe del Plan Hídrico Integral de Tabasco, Comisión Nacional del Agua, 2008.

importante se observó a la entrada del canal de llamada (en margen izquierda), donde es necesario mejorar la geometría del morro, ya que desviaba un poco el flujo de entrada causando que para gastos altos y sin las compuertas, el flujo se cargue hacia la margen derecha. Se recomienda explorar otras soluciones, como es la de reducir el número de compuertas y la de aprovechar al máximo las excavaciones existentes.⁶ Es en este año, cuando el Instituto de Ingeniería de la UNAM, presenta el estudio para proponer las políticas de operación de la estructura de control con base al modelo físico, a través del artículo denominado Modelación matemática de la operación de la estructura de control del río Carrizal.⁷

Es en este artículo, donde se presenta el estudio de las políticas de operación de una estructura de control, denominada MP1, compuesta de tres compuertas radiales en la margen izquierda y un vertedor de canal lateral sobre la margen derecha. El Instituto de Ingeniería, realizó la revisión de las fórmulas semiempíricas recomendadas por Henderson (1966), Sotelo (1976), Cozzo (1978), Isaacs y Allen (1994) y Clemmens et al (2003), para calcular el gasto que descargan las compuertas radiales a descarga libre y los resultados los compararon con mediciones hechas en el modelo físico, concluyendo que la de mejor ajuste era la de Cozzo (1978), porque con una sola expresión se calculó el coeficiente de descarga. Cozzo empleó los resultados experimentales de Gentilini (1941), de donde obtuvo una expresión que le permitió calcular en forma directa el coeficiente de descarga. Gentilini estudió las compuertas planas, inclinadas y las radiales, haciendo notar en los resultados de sus experimentos de manera clara la influencia del ángulo de la abertura de la compuerta en el coeficiente de descarga, por esta situación el Instituto se inclinó por la utilización de la expresión de Cozzo.

El Instituto ajustó la función para calcular el coeficiente de descarga, resultando una curva que representaba de manera excelente los valores medidos en el modelo físico, la expresión quedó de la siguiente forma:

⁶ Análisis de modelos físicos, Jesús Gracia Sánchez, Víctor Franco, Javier Osnaya Romero, Alejandra Casilimas y Eliseo Carrizosa Elizondo, Informe del Plan Hídrico Integral de Tabasco, Comisión Nacional del Agua, 2009.

⁷ Modelación matemática de la operación de la estructura de control del río Carrizal, Amado Abel Jiménez Castañeda, Moisés Berozowsky Verduzco, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2009.

$$C_d = \frac{0.46 + 0.5e^{-0.8\theta}}{1 + \frac{w}{y}(0.6 - 0.2\theta)} \left[1 - 0.43 \frac{w}{R} \right]$$

Con esta formulación calcularon el gasto que descargan las compuertas para cualquier apertura de las mismas. Concluyeron que en condiciones de operación normal de la presa peñitas y las compuertas totalmente abiertas, la estructura regula de manera excelente el gasto de 225 m³/s que pasa por el río Carrizal. Con las gráficas obtenidas para diferentes aperturas de las compuertas, se podía definir, en función del gasto de descarga, la apertura que deberán tener las compuertas.

Así mismo, menciona que en el caso que se presentará una avenida de magnitud considerable, o ante una eventual falla en la operación de las compuertas, es preferible abrir totalmente las compuertas, puesto que ésta es la condición de diseño de la estructura.

En el 2014, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, publica el “Estudio para determinar las leyes de descarga de la estructura de control El Macayo” a través de la Tesis presentada por la Ing. Karina Millán Campuzano, en donde realizan el estudio del efecto remanso producido por la presencia de pilas con la determinación del coeficiente de Hinds, la cual permite calcular la pérdida de energía local en función de las cargas de velocidades antes y después de la contracción. La expresión es la siguiente:

$$h_{lj} = C_0 = \left[\frac{V_{j+1}^2}{2g} - \frac{V_j^2}{2g} \right]$$

Donde el valor del coeficiente C_0 depende de las condiciones en la forma del contorno de la entrada de la transición.

Así mismo, realizan cálculo de los perfiles hidráulicos en los canales del modelo físico, donde emplean para el canal de la margen izquierda la n de Manning de 0.016 y C_0 de 0.5 y para el canal de la margen derecha, utilizaron la n de Manning de 0.018 y C_0 de 0.5, valores asignados en base a prueba y error, considerando el acabado de la plantilla de cada canal.

En esta Tesis, calcularon las leyes de descarga en función de una sección aguas arriba de los canales (identificada como H_A), ajustaron la ecuación de continuidad para relacionarla con el nivel del agua H_A y el caudal que descarga cada canal, empleando la n de Manning de 0.030, quedando las ecuaciones de la siguiente manera:

Margen izquierda

$$Q_{MI} = 3.9799H_A^2 - 62.222 H_A + 148.65$$

Margen derecha

$$Q_{MD} = 5.4472H_A^2 - 88.68 H_A + 251.1$$

Definiendo que el gasto total que descarga la estructura, con todas las compuertas totalmente abiertas, es la suma de los gastos que conduce cada uno de los canales, quedando la ecuación final de la siguiente manera:

$$Q_T = 9.4177H_A^2 - 154.94 H_A + 444.85$$

Del mismo modo calcularon las leyes de descarga en función de una sección ubicada a 10 metros hacia aguas arriba de la nariz de cada conjunto de pilas de los canales (identificada como H_p), la variable H_p depende del efecto del grupo de pilas que se opone al flujo, empleando la n de Manning de 0.030, quedando las ecuaciones de la siguiente manera:

Margen izquierda

$$Q_{MI} = 5.0648H_p^2 - 84.055 H_p + 252.45$$

Margen derecha

$$Q_{MD} = 6.6069H_p^2 - 113.68 H_p + 382.82$$

Las leyes de descarga obtenidas en dicha Tesis, tiene como base dos puntos fundamentales: uno de ellos es el empleo de la teoría del flujo unidimensional gradualmente variado, para hacer el cálculo de perfiles hidráulicos en régimen

permanente; el otro consiste en la disponibilidad de un modelo físico de la estructura de control, que permitió obtener de manera experimental un coeficiente empírico para calcular el efecto de remanso producido por la presencia de pilas en cada uno de los canales de la estructura.

3 Descripción del sitio de estudio

La estructura se encuentra en las coordenadas geográficas 17°57'28.13" latitud norte y 93°16'52.15" longitud oeste, cerca de la comunidad Ranchería el Macayo 2° Sección, Municipio de Reforma, Chiapas. Aproximadamente a 37 km en línea recta al oeste de Villahermosa, Tabasco, con acceso por la Carretera Federal Villahermosa-Cárdenas o por el bordo-camino Huimanguillo-Villahermosa por la margen derecha del río, localizándose a 1.3 km de la bifurcación sobre el río Carrizal.

Los escurrimientos que transitan hacia la estructura de control El Macayo están en función del comportamiento en la distribución de los gastos del río Mezcalapa, que a su vez, dependen de las aportaciones provenientes de las extracciones de la C. H. Ángel Albino Corzo (ubicada a 76 km aproximadamente de la Estructura de Control) y de los afluentes por cuenca propia que se localizan aguas abajo de dicha presa.

3.1 Características de la estructura

La estructura de control El Macayo, consta de dos canales sobre las márgenes separadas por una cortina permeable de enrocamiento, en la margen izquierda el canal incluye tres compuertas radiales y sobre la margen derecha el canal consta de cuatro compuertas radiales, así como caminos de acceso. Por la margen izquierda, se controla el gasto de 350 m³/s y por la margen derecha 500 m³/s. Ver Imagen 3.1.



Imagen 3.1.- Vista panorámica de la Estructura de Control El Macayo.

Cortina

El cuerpo de la cortina está formado por bolsas de cimbra textil rellenas de mortero o bolsacreto, estas bolsas están rellenas de mortero en estado plástico con una resistencia de 80 kg/cm^2 . El bolsacreto fue colocado a partir de la cota 11 msnm, que es la cota alcanzada al terminar el pedraplén. Ver Imagen 3.2.



Imagen 3.2.- Vista panorámica de la Cortina de la Estructura de Control El Macayo.

Esta es una cortina permeable, con una elevación de 22.0 msnm, con una longitud de 169 m y un ancho de corona de 11.04 m, es el elemento que cerró el cauce del río Carrizal. El talud aguas abajo y aguas arriba es de 2:1. A continuación se presenta en el gráfico 3.1 la sección transversal de la cortina.

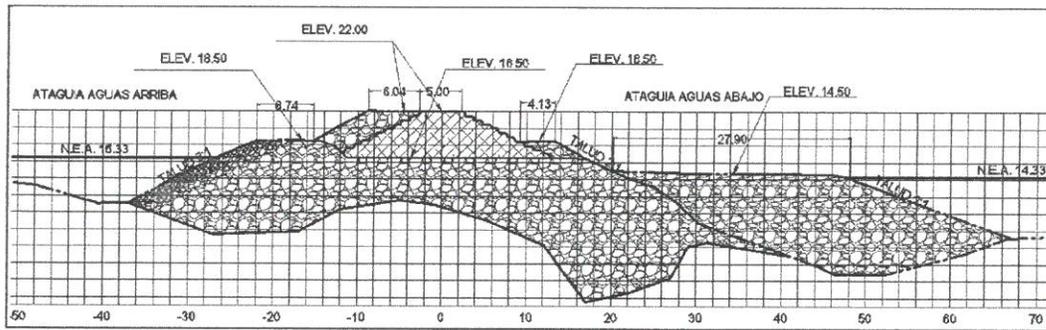


Gráfico 3.1.- Sección transversal de la cortina.

Canal Margen izquierda.

La estructura de control en la margen izquierda está compuesta por un canal, zona de compuertas, una caseta oleodinámica, casa de máquinas, cuarto de control, un cuarto de control automático, planta de emergencia, dos grúas pórtico, cuarto del operador, almacén, helipuerto, patio de maniobras, puente vehicular y caseta de vigilancia.



Imagen 3.3.-Vista aguas arriba del canal de la margen izquierda.

El canal tiene una longitud total de 229.50 m, en la entrada tiene un ancho de 52 m, reduciéndose progresivamente hasta un ancho de 16.97 m en la zona de compuertas, aguas abajo de las compuertas el canal de salida tiene un ancho de 31.36 m. En la zona de compuertas, se tienen dos pilas centrales de 1.0 m de espesor, que soportan tres compuertas radiales de acero estructural de 5 m de ancho por 8 m de alto, con un peso de 22 ton cada una. Las compuertas son izadas y controladas por la operación de 6 servomotores alimentados con aceite hidráulico por medio de tres centrales oleodinámicas, que a su vez son controladas manualmente por medio de tres tableros de control local y automáticamente por un sistema experto.

Canal Margen derecha.

La estructura de control en la margen derecha está compuesta por un canal, zona de compuertas, una caseta oleodinámica, caseta de operación, caseta de control de accesos, dos grúas pórtico y tres plataformas de maniobras.

Esta margen consta del canal de llamada, tanque amortiguador y el canal de salida, se colocaron sobre este canal cuatro compuertas de 5 m de ancho por 10 m de alto, con un peso de 26 ton cada una, soportadas por tres pilas centrales de espesor de 1.5 m.



Imagen 3.4.-Vista aguas abajo del canal de la margen derecha.

El canal tiene una longitud total de 240 m, en la entrada tiene un ancho de 68 m, reduciéndose en el área de compuertas a 24.50 m de ancho, aguas abajo de las compuertas el canal de salida tiene un ancho de 36.50 m.

4 Comportamiento de la distribución del gasto líquido en la bifurcación del Río Mezcalapa

4.1 Obras que han impactado en la distribución del gasto en la bifurcación del río Mezcalapa.

Antes de 1999

La distribución del gasto en la bifurcación del río Mezcalapa se comportaba del 40 a 50 % sobre el río Carrizal y el resto por el río Samaria. Cabe señalar, que en este periodo el flujo transitaba de manera libre, debido a que no existía infraestructura hidráulica que modificara su morfología, como se aprecia en la imagen 4.1 que se presenta a continuación.



Imagen4.1.- En esta ortofoto se observa el río Carrizal sin obras, año 1996.

1999

Por la conjunción de las ondas tropicales 26 a la 30, la depresión tropical 11 y los frentes fríos 4 y 7, provocaron la ocurrencia de un cambio morfológico en la bifurcación del río Mezcalapa, que incrementó el gasto hacia el río carrizal al 60 % del caudal que transitaba sobre el río Mezcalapa.