

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Los caudales que escurren por un río varían continuamente a través del tiempo, existen épocas de varios meses en que los escurrimientos son reducidos y otras en que fluyen de manera abundante. La única forma de almacenar, regular, controlar y aprovechar esos escurrimientos es mediante una adecuada operación de su obra de excedencias, sólo de esta manera es posible garantizar durante varios meses el abastecimiento de agua y el control de avenidas ocasionadas en épocas de severas precipitaciones, evitando de esta manera inundaciones que afecten el patrimonio de las poblaciones asentadas aguas abajo de la presa.

La regulación que ofrece el sistema Grijalva es fundamental para evitar mayores daños a la población, ya que de no existir las presas del complejo Grijalva se presentarían volúmenes de magnitud importante adicionales a los que comúnmente afectan a la planicie tabasqueña, situación que sería sumamente devastadora para la infraestructura y economía del estado de Tabasco. Se pueden evitar daños mayores si se contara con infraestructura hidráulica (construcción de presas) en los ríos de Usumacinta y La Sierra, de ser así se controlarían los eventos de este tipo con mayores márgenes de seguridad.

La generación de energía eléctrica anual que produce el complejo Grijalva es uno de los más importantes del país, ya que aporta el 44% de generación hidroeléctrica nacional (SENER 2009); la cual es una de las formas más limpias de generar electricidad ya que el caudal queda disponible para usos posteriores aguas abajo de las presas, toda la energía

que así se produce evita que sea generada quemando hidrocarburos o utilizando combustible nuclear. La óptima operación de las cuatro presas del Sistema Grijalva es una variable de vital importancia para dotar al país de este vital recurso.

Es muy importante tener un monitoreo constante de la operación del sistema de presas del Grijalva, en lo que se refiere a la operación de sus obras de excedencias ya que una mala operación de las compuertas de una presa puede provocar una inundación, dando como resultado pérdidas humanas, deterioro de la infraestructura, economía en descenso y el desplazamiento de personas hacia los albergues teniendo una calidad de vida insalubre. Estos problemas se pueden contrarrestar analizando diferentes alternativas en la política de operación de los vertedores de las presas.

En la cuenca del Río Grijalva-Usumacinta específicamente el Sistema de Presas del Grijalva se deben realizar estudios hidrológicos de manera constante para el manejo óptimo de las presas, debido a que en los últimos años se han presentado eventos extremos cada vez con periodos de retorno muy cercanos, los científicos consideran que pueden deberse a cambios climáticos en el orbe.

Un tema de vital importancia en la actualidad es la afectación del medio ambiente mediante las presas, se requiere que las autoridades y gobiernos tomen conciencia de la necesidad de invertir en estudios previos de impacto ambiental que deben realizarse con varios años de anticipación a la construcción de una presa, dicho estudio se ve como un autentico trámite más que como una necesidad, debido a que el presupuesto destinado a este tipo de estudios es sumamente bajo. Por lo tanto se debe llegar a la conclusión de que las obras hidráulicas no deben ser únicamente para el hombre; deben ser contribuyentes e importantes para la vida. Esto implica un cambio de paradigmas en todas aquellas personas relacionadas con la planeación, diseño, construcción y operación de las presas, **ya que deben ser los principales defensores de la naturaleza.**

Estudios hidrológicos como las avenidas de diseño que se definen por su gasto de pico y su volumen total, son de vital importancia para el diseño de los aprovechamientos hidráulicos, especialmente para las obras de control, ya que éstas son las que determinan la capacidad de descarga. Otro estudio es el tránsito de avenidas, por medio de este estudio se conoce la evolución de los niveles en el vaso y el gasto de salida por la obra de excedencias, con el tránsito de avenidas se puede estimar la elevación máxima de agua en el embalse y revisar para un cierto periodo de retorno que la elevación máxima de agua en el embalse no rebase el NAME, de lo contrario se tiene que modificar la política de operación en los vertedores de la presa.

Considerando las avenidas extraordinarias ocurridas en 1999, 2005 y 2010 en el Sistema de Presas del Río Grijalva, el Instituto de Ingeniería de la UNAM actualizó las avenidas de diseño, utilizando registros históricos de escurrimientos medios diarios con datos disponibles hasta el año 2010 para la Presa La Angostura y con datos actualizados hasta el año 2008 para las Presas Chicoasén, Malpaso y peñitas, lo cual motivó a la realización de este trabajo. Se estimaron avenidas de diseño de las cuencas propias de cada una de las cuatro presas.

De los resultados del análisis de las avenidas de diseño estimadas para periodos de retorno (Tr) de 10, 50, 100, 500, 1000, 5,000 y 10,000 años correspondientes a la cuenca propia de la **Presa La Angostura**, se observó que ante las nuevas avenidas presentadas en el año

2010, el gasto pico de entrada reportó un valor de 29,750 (m^3/s) que es 16.64% mayor a los 25,505 (m^3/s) obtenidos en el estudio del año 2006 para $\text{Tr}=5,000$ años, para $\text{Tr}=10,000$ años el gasto pico de entrada fue de 32,489 (m^3/s) siendo 17.20% mayor a los 27,720 (m^3/s) reportados en el estudio del 2006. El volumen de la avenida estimado con $\text{Tr}=5,000$ años tuvo un valor de 13,997 (Mm^3) que es 4.01% mayor a los 13,457 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006, mientras que para $\text{Tr}=10,000$ años se obtuvo un volumen de 14,826 (Mm^3) que es 4.08% mayor a los 14,245 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006.

Uno de los motivos por el cual se presentó un incremento en los gastos pico y volúmenes de las avenidas fue el evento ocurrido el 2 de septiembre del 2010, que fue de 10,610 (m^3/s), registrándose como el segundo evento máximo del registro histórico de la cuenca propia de la Presa La Angostura.

De los resultados del análisis de los tránsitos de avenidas estimados para periodos de retorno de 100, 5,000 y 10,000 años correspondientes a la cuenca propia de la Presa La Angostura, de acuerdo a la tabla 5.14 se observó que ante las nuevas avenidas presentadas en el año 2010 y la política de operación utilizada en los vertedores, se podría tener riesgo de rebasar el NAME con las avenidas estimadas para $\text{Tr}=5,000$ y 10,000 años. En el primer caso podría excederse en **26 (cm)**, para el segundo caso se rebasaría en **1.03 (m)**. Con la avenida de diseño manejando un $\text{Tr}=5,000$ años, después de estimar el tránsito de la avenida, quedaría un bordo libre respecto a la corona de 3.24 (m), mientras que la avenida de diseño con $\text{Tr}=10,000$ años quedaría un bordo libre respecto a la corona de 2.47 (m).

Por lo tanto debido al análisis presentado se propone la posibilidad de aumentar la ley de descarga en los vertedores de la presa La Angostura con el fin de disminuir el volumen total y por lo tanto reducir la elevación máxima, lo que conllevaría a tener un margen de seguridad mayor de que el agua no rebase el nivel permisible que el NAME.

Del análisis de las avenidas de diseño estimadas para periodos de retorno (Tr) de 10, 50, 100, 500, 1000, 5,000 y 10,000 años correspondientes a la cuenca propia de la **Presa Chicoasén**, se observó que ante las nuevas avenidas presentadas en el año 2008, el gasto pico de entrada para $\text{Tr}=10,000$ años reportó un valor de 10,047 (m^3/s) que es 3.86% menor a los 10,450 (m^3/s) obtenidos en el estudio del año 2006. El volumen de la avenida estimado con $\text{Tr}=10,000$ años tuvo un valor de 2,078 (Mm^3) que es 10.01% mayor a los 1,889 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006. Al considerar la descarga continua de 2000 (m^3/s) provenientes de La Angostura en el instante en que se presentaron las avenidas en Chicoasén, el gasto pico de entrada estimado para $\text{Tr}=10,000$ años sería de 12,047 (m^3/s) que es 3.23% menor a los 12,450 (m^3/s) reportados en el estudio del año 2006. El volumen de la avenida estimado con $\text{Tr}=10,000$ años sería de 4,670 (Mm^3) que es 4.22% mayor a los 4,481 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006.

De forma general, si se compara los estudios realizados en **2006** y **2009**, se llega a la conclusión de que no precisamente por presentarse un gasto pico mayor en el estudio **2006** que el obtenido en el estudio **2009**, forzosamente el volumen de la avenida del estudio **2006** tiene que ser mayor que el obtenido en el estudio **2009**, de modo que puede presentarse un gasto pico excesivo y no tener un volumen en la avenida tan grande.

Del análisis de los tránsitos de avenidas que se estimaron para periodos de retorno de 100, 5,000 y 10,000 años correspondientes a la cuenca propia de la **Presa Chicoasén** (tabla

5.27), se reportó que ante las nuevas avenidas presentadas en el año 2008 y considerando descargas continuas de 2000 (m^3/s) provenientes de La Angostura en el instante en que se presentaron las avenidas en Chicoasén, además de tomar en cuenta la ley de descargas utilizada en los vertedores, no se tendría riesgo de rebasar el NAME con las avenidas estimadas para $\text{Tr}=5,000$ y $10,000$ años, de modo que para el segundo caso el nivel quedaría 5 (cm) por debajo del NAME, quedando un bordo libre respecto a la corona de 10.05 (m).

En todos los casos analizados no se observó el riesgo de que la elevación máxima estimada con el tránsito de la avenida rebasara el NAME. Se tiene que tomar en cuenta que al transitar la avenida con $\text{Tr}=10,000$ años y analizando la condición extrema de la operación constante de La Angostura hacia Chicoasén, se tenga una diferencia de tan solo 5 (cm) de rebasar el NAME, por lo tanto se sugiere que se analice otras alternativas en las políticas de operación para ampliar el margen de seguridad y evitar que se exceda el nivel del NAME.

Del análisis de las avenidas de diseño estimadas para periodos de retorno (Tr) de 10, 50, 100, 500, 1000, 5,000 y 10,000 años correspondientes a la cuenca propia de la **Presa Malpaso**, se observó que ante las nuevas avenidas presentadas en el año 2008, el gasto pico de entrada para $\text{Tr}=10,000$ años tomó un valor de 16,857 (m^3/s) que es 1.0% mayor a los 16,691 (m^3/s) obtenidos en el estudio del año 2006. El volumen de la avenida estimado con $\text{Tr}=10,000$ años sería de 10,972 (Mm^3) que es 1.83% menor a los 11,177 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006. Al considerar una extracción constante de 2000 (m^3/s) provenientes de La Angostura en el instante en que se presentaron las avenidas en Malpaso, el gasto pico de entrada estimado para $\text{Tr}=10,000$ años tuvo un valor de 18,857 (m^3/s) que es 0.89% mayor a los 18,691 (m^3/s) reportados en el estudio del año 2006. El volumen de la avenida estimado con $\text{Tr}=10,000$ años fue de 21,442 (Mm^3) que es 0.95% menor a los 21,648 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006.

Realizando un balance de los tránsitos de avenidas respecto a los estudios analizados en el 2006 y 2008 con periodos de retorno de 1000, 5000 y 10000 años para la Presa Malpaso y manejando la condición de que en la Presa La Angostura se esté descargando en todo momento un gasto de 2000 (m^3/s), se determina que en ambos estudios no existe un incremento importante tanto en los volúmenes totales obtenidos como en los gastos pico.

De acuerdo a la tabla 5.40, la elevación del NAME de la presa Malpaso es de 188 (msnm) y su corona está a 192 (msnm), con forme a estos parámetros establecidos los resultados de los tránsitos se analizan de la siguiente manera; **cuando no se restringe el gasto máximo descargado**, el NAME no sería rebasado para avenidas con periodos de retorno hasta 5000 años en ambos estudios; para una avenida con periodo de retorno de 10,000 años correspondiente al estudio del 2008, el NAME podría excederse hasta 22 (cm), de modo que aún queda un bordo libre respecto a la corona de 3.78 (msnm). Debido al análisis presentado anteriormente se propone la posibilidad de aumentar la ley de descarga y así disminuir el volumen total y por lo tanto reducir la elevación máxima.

Al transitar las avenidas de diseño que se estimaron con periodos de retorno de 50, 100 y 10,000 años correspondientes a la cuenca propia de la **Presa Peñitas** y tomando en cuenta el criterio conservador que en la Presa Malpaso se esté descargando en todo momento por sus turbinas un gasto de 1440 (m^3/s), se observó que ante las nuevas avenidas presentadas en el año 2008, el gasto pico de entrada para $\text{Tr}=10,000$ años tuvo

un valor de 22,624 (m^3/s) que es 7.71% mayor a los 21,005 (m^3/s) reportados en el estudio del año 2006. El volumen de la avenida estimado con $\text{Tr}=10,000$ años tomó un valor de 3,140 (Mm^3) que es 2.75% mayor a los 3,056 (Mm^3) obtenidos en el estudio del 2006. Las avenidas de diseño que se estimaron tienen la forma del pico de la avenida histórica del año 2003, debido a que en el momento de transitarlas éstas reportaron los casos más críticos.

Según la tabla 5.49, la elevación del NAME de la presa Peñitas es de 93.5 (msnm) y su corona está a 98 (msnm), con forme a éstos parámetros, los resultados de los tránsitos se analizan de la siguiente manera; para avenidas con periodos de retorno hasta de 10,000 años no se rebasaría el NAME, el nivel del agua quedaría aproximadamente 1.14 (m) por debajo del NAME, de modo que aún queda un bordo libre respecto a la corona de 5.64 (m), en ningún caso se tendría riesgo de rebasarse la corona de la presa.

En este trabajo solamente se discutieron los casos que representan las condiciones más críticas, como son los eventos para periodos de retorno de 5,000 y 10,000 años, incluidas las correspondientes descargas de la Presa La Angostura hacia las Presas Chicoasén y Malpaso, de igual manera con la Presa Malpaso hacia la Presa Peñitas.

Se sabe que las Presas La Angostura y Malpaso tienen mayor capacidad de almacenamiento, de acuerdo a este panorama, es conveniente continuar con un análisis más detallado para determinar políticas de operación óptimas en sus vertedores. Según los resultados de los tránsitos de avenidas estimados en los estudios de los años 2006 y 2009, el nivel del embalse en la Presa La Angostura podría rebasar el NAME para periodos de retorno de 5,000 y 10,000 años, en tanto que en la Presa Malpaso sucedería algo similar para un periodo de retorno de 10,000 años.

Para la Presa Chicoasén no se debe de descartar la posibilidad de tener otra alternativa en la política de operación, ya que la diferencia entre el NAME y la elevación máxima que se estimó es pequeña para $\text{Tr}=10,000$ años. En lo que respecta a la Presa Peñitas no existen problemas aún de que el nivel del embalse rebase el NAME.

Se recomienda que en los embalses de las hidroeléctricas La Angostura y Malpaso se disminuya su volumen de almacenamiento en algunos metros, como margen de seguridad para evitar que en temporada de lluvias se realicen desfuegos de urgencia hacia la planicie tabasqueña.

Se recomienda implementar un sistema de alerta contra crecientes, para dar avisos a la población y de éste modo evitar daños catastróficos a la comunidad.

En cuanto a los métodos de cálculo para estimar avenidas de diseño, se sabe que la descarga máxima sobre el vertedor no sólo depende del gasto pico, sino también del volumen total, la duración y la forma del hidrograma de entrada. Es por ello, que las técnicas que son capaces de modelar más de una componente de los hidrogramas podrán proporcionar avenidas de diseño con una incertidumbre inherente más baja, de modo que es importante implementar análisis de distribuciones multivariadas (bivariadas, trivariadas) y hacer comparaciones entre los resultados para tomar la mejor decisión respecto a la selección de la avenida de diseño.

