

# Capítulo 1

## Antecedentes

### 1.1. Aspectos generales sobre Avenidas de Diseño

Las avenidas son escurrimientos que pueden ser naturales, como los que son consecuencia de eventos de tormentas, derretimiento de depósitos de nieve (glaciares) o de lluvias ocasionadas por ciclones; pero también pueden ser inducidas por el hombre, ante una inadecuada operación de una obra hidráulica. Cuando los escurrimientos presentan condiciones extremas importantes de manera excesiva, pueden ocasionar desbordamiento en los ríos provocando inundaciones en las poblaciones cercanas; dando como resultado pérdidas de vidas humanas, pérdidas de vida silvestre, daños a la agricultura y a la industria, dichas catástrofes generan problemas serios en el ámbito socioeconómico; para disminuir el riesgo de su ocurrencia, el ingeniero civil es el encargado de diseñar y construir obras hidráulicas de control que permitan almacenar el agua en exceso, a fin de disponer de ella en forma regular (Alvarado, C.A.J., 1993), (Aparicio, M.F.J., 2005).

Una de las primeras y principales obras de control creadas en la ingeniería civil es la construcción de presas, su propósito principal es retener el curso de un río con el fin de controlar el caudal de agua. Las presas pueden tener usos diversos como son: almacenar agua para riego, consumo humano, generación de energía eléctrica, regulación de ríos, control de inundaciones, etc. Durante la etapa de planeación y diseño de una presa, para

garantizar de manera segura y eficaz el desalojo de los volúmenes excedentes presentes en el embalse, el diseño final debe evitar derrames catastróficos y permitir una adecuada operación de la presa por ello el ingeniero diseña una estructura llamada obra de excedencia para proteger la presa y el sobre-almacenamiento para disminuir las descargas hacia aguas abajo. Para ello utiliza un diseño hidrológico llamado avenida de diseño y posteriormente transitar dicha avenida (Domínguez et al., 1981).

Uno de los objetivos más importantes de la ingeniería hidrológica es la obtención de la avenida de diseño. La avenida de de diseño es la que determina la capacidad de descarga y dimensionamiento de un vertedor u obra de excedencia. Para diseñar una obra de excedencia se necesita determinar las avenidas que podrían pasar por el vertedor, ya sea determinando las avenidas que se presentan únicamente en condiciones extraordinarias, o aquéllas que frecuentemente se tendrán que manejar. Además para obtener un buen dimensionamiento del vertedor se consideran dos variables de suma importancia, por un lado el costo de la construcción de la obra y por otro los daños que causarían en caso de que ésta fallara (Vázquez, C.M.T., 1995).

La información hidrológica necesaria para la obtención de la avenida de diseño, consiste en registros de la variación del gasto respecto al tiempo (hidrograma), en el sitio donde estará la presa, así como registros de la variación en el tiempo respecto a las alturas de lluvia (hietograma) en la cuenca que drena hacia el sitio de la presa. Para poder diseñar modelos que pudiesen presentarse en el futuro es necesario contar con datos de escurrimientos y precipitaciones producidas por tormentas ocurridas en el pasado y así poder realizar una confiable estimación de avenidas de diseño.

La posición geográfica (influenciada por la precipitación y temperatura, sujeta o no a la acción de huracanes) y la fisiografía (topografía e infiltración) de la cuenca, muestran una gran variedad de condiciones climáticas que influyen en la magnitud de la avenida, lo que da lugar a una diversidad de métodos con los que se puede calcular la avenida de diseño del vertedor.

En la literatura relacionada con el cálculo de avenidas de diseño generalmente se conocen dos métodos que se utilizan con mayor frecuencia en el mundo. Uno de ellos es el método estadístico y por otro lado los métodos hidrometeorológicos o también llamados de relación de lluvia-escurrimiento. Los métodos estadísticos describen el comportamiento de los gastos picos ocasionados por una avenida, dichos gastos quedan registrados en una estación hidrométrica. Estos registros de gastos se comportan mediante fenómenos aleatorios de tipo continuo. Los métodos hidrometeorológicos se desarrollan en dos pasos: cálculo de la tormenta de diseño, que a su vez se transformara en la avenida mediante un modelo de relación lluvia-escurrimiento (Monsalve, S.G., 1999).

## **1.2. Importancia de actualizar Avenidas de Diseño**

El cálculo de avenidas de diseño resulta ser un estudio de vital importancia debido a que dichas avenidas son las que se transitan por el vaso de una presa para determinar la regulación del gasto de descarga en las compuertas (políticas de operación de vertedores), así como el diseño de obras de excedencias y por lo tanto, permiten diseñar obras más seguras contra inundaciones.

Un mal diseño puede causar daños materiales, económicos y pérdidas humanas debido a inundaciones aguas abajo de la presa, las cuales varían en magnitud según si la zona donde se ubique es de tipo urbana, industrial, agrícola o bien una combinación de ellas.

En las zonas donde frecuentemente se presentan depresiones tropicales y frentes fríos como puede ser el sureste y golfo de México. Estos fenómenos aleatorios generan lluvias extremas y continuas que son las que llegan a producir inundaciones y aunado a eso, si se tienen vertedores mal diseñados, entonces ocurren verdaderas catástrofes.

Es de suma importancia actualizar las avenidas de diseño ya que de ellas depende el buen funcionamiento en los vertedores debido a eventos extremos de esta índole; determinar una adecuada política de operación que permita disminuir el riesgo de una inundación o evitar que las presas alcancen elevaciones que pongan el riesgo a la cortina, lo cual sería el peor daño causado. Una buena política de operación en los vertedores de descarga debe estar apoyada en una estimación correcta de la avenida de diseño (Domínguez et al., 1981).

La actualización de las avenidas de diseño de las obras de excedencia de grandes presas, es muy importante debido a que dichas obras fueron diseñadas con un registro histórico de un determinado número de años, y así, conforme se incrementan los años, la naturaleza se comporta de manera aleatoria y en los escurrimientos producen variaciones que hacen indispensable actualizar las avenidas de diseño para hacer una verificación de que la obra de excedencias siga funcionando adecuadamente.

### **1.3. Estudios realizados anteriormente sobre avenidas de diseño en el sistema de presas del Río Grijalva**

#### **1.3.1. Primeros estudios realizados**

Durante la época de construcción y diseño en las presas del complejo del Grijalva se disponía de una escasa cantidad de datos, entre ellos están: la presa Malpaso (primera presa en construirse), solamente se contó con 17 años de registros hidrométricos (1952-1969); para la presa La Angostura, se disponía de 23 años de registro hidrométrico (1952-1975); para Chicoasén, se disponían 28 años y para la presa Peñitas se contaba con 35 años de registro (1952-1987). Dichas estimaciones hidrológicas de eventos máximos, básicamente se realizaron con métodos empíricos y estadísticos, extrapolados con periodos de retorno de diez mil años (Marengo et al., 2003).

En los años ochentas, específicamente en 1987, se efectuaron una serie de revisiones con métodos hidrometeorológicos. Utilizándose el método de la precipitación máxima probable (PMP), no se consideraron confiables dichos resultados, ya que no se tenía información válida de temperaturas de bulbo seco y húmedo durante varios años y sólo se efectuaron transposiciones de tormentas que ponen en duda los resultados obtenidos.

Los datos originales de gastos picos de entrada y de salida de las avenidas de diseño de cada presa se muestran en la tabla 1.1, las capacidades máximas de descarga no cambian, ya que están asociadas con el nivel máximo extraordinario (NAME) de las presa, de modo que todas las presas del complejo Grijalva tienen una gran capacidad de descarga en sus vertedores (Marengo et al., 2003).

**Tabla 1.1. Datos originales de la avenidas de diseño y de los vertedores de la presas del complejo Grijalva.**

Presa	Gasto pico de entrada (m <sup>3</sup> /s)	Volumen de las Avenidas (Mm <sup>3</sup> )
La Angostura	23,000	8,980
Chicoasén	17,400	15,000
Malpaso	20,000	16,933
Peñitas	22, 877	18,700

### 1.3.2. Estudio realizado en 1993 por la CFE y el IIUNAM

Para los años noventa, la CFE (Comisión Federal de Electricidad) decidió incrementar el nivel máximo de operación de la presa La Angostura, a fin de tener un mayor almacenamiento e incrementar la reserva de energía del país.

En **1993** se revisó la información hidrológica recopilada hasta **1991** de todo el complejo Grijalva y se llegó a la conclusión de actualizar avenidas de diseño mediante un estudio hidrológico global del sistema, llegando a la siguiente conclusión: El nivel máximo de operación (NAMO) del embalse de la presa, que es la que regula todo el funcionamiento hidroeléctrico del complejo, paso de la elevación original que se tenía de 523.60 (msnm) a 533.00 (msnm); según las políticas de operación, solamente La Angostura y Malpaso tienen capacidad de regulación, mientras que Chicoasén y Peñitas deben operar con el gasto turbinado por las centrales de aguas arriba, ya que carecen de capacidad para manejar avenidas (Domínguez et al., 1993), (Marengo et al., 2003).

En la tabla 1.2 se muestran las avenidas de diseño correspondientes al estudio del año 1993; utilizando el método estadístico de escurrimientos, considerando un periodo de retorno  $Tr=10,000$  años y una duración de 15 días para las presas de La Angostura, Chicoasén y Malpaso, en el caso de Peñitas se usó una duración de 5 días; en la tabla 1.3 se muestran los gastos pico de entrada y volúmenes de las avenidas obtenidas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) (Domínguez et al., 1993).

**Tabla 1.2. Hidrogramas de diseño del complejo Grijalva.  $Tr=10,000$  años (Estudio 1993 IIUNAM).**

t (día)	La Angostura	Chicoasén	Malpaso	Peñitas
	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	1724	990	1480	284
2	1829	962	1954	10828
3	1668	783	199	4212
4	2528	1267	867	470
5	2665	2170	1377	906
6	2610	5459	4206	
7	3254	3043	8192	
8	4144	1434	15866	
9	3312	1784	12305	
10	3245	2028	3258	
11	2953	1288	3156	
12	2777	922	705	
13	3012	925	2565	
14	2104	1361	1169	
15	1712	934	1873	

Tabla 1.3. Gastos pico y volúmenes de avenidas (Estudio 1993).

Presa	d (días)	IIUNAM	
		Gasto pico de entrada (m <sup>3</sup> /s)	Volumen de las Avenidas (Mm <sup>3</sup> )
La Angostura	15	4144	3286
Chicoasén	15	5459	2178
Malpaso	15	15866	4926
Peñitas	5	10828	1578

### 1.3.3. Estudio realizado en el 2000 por la CFE, CNA y el IIUNAM

Durante los meses de septiembre y octubre de 1998 se presentaron importantes precipitaciones en la costa del estado de Chiapas, lo que causó severos daños a la población y a la infraestructura del estado. En el vaso de la presa La Angostura se registró un gasto medio diario de 5,252 (m<sup>3</sup>/s) ocurrido el 9 de septiembre de 1998. La temporada de lluvias del año 1999 afectó severamente el sureste mexicano. Así las presas La Angostura y Malpaso se llenaron por completo, y en el caso de Chicoasén y Peñitas se vertieron importantes volúmenes de agua. Los eventos extremos que ocurrieron durante el mes de octubre llevaron a que se presentara un nivel máximo de 538.20 (msnm), cuando la elevación inicial en la presa de Angostura se mantiene en los 533 (msnm); Ello obligó nuevamente a realizar la actualización de las avenidas en el año **2000** con registros medidos hasta **1999** (Domínguez et al., 2000).

Es importante mencionar que cada año el Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas (integrado por la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM)) establece niveles de seguridad para el comportamiento de las presas en México.

Las dependencias que realizaron estudios hidrológicos en el 2000 fueron: Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional del Agua y el Instituto de Ingeniería de la UNAM. En la tabla 1.4 se muestra la comparación de resultados de gastos pico y volúmenes de avenidas y en la tabla 1.5 se indican las avenidas de diseño obtenidas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) (Domínguez et al., 2000).

Las presas como La Angostura y Malpaso son mucho más sensibles al ingreso de volúmenes que a gastos grandes; mientras que en Chicoasén y Peñitas, los gastos pico son más significativos que los volúmenes (Marengo et al., 2003).

Tabla 1.4. Gastos pico y volúmenes de avenidas. Tr=10,000 años (Estudio 2000).

Presa	CFE			IIUNAM		
	d (días)	Gasto pico de entrada (m <sup>3</sup> /s)	Volumen de las Avenidas (Mm <sup>3</sup> )	d (días)	Gasto pico de entrada (m <sup>3</sup> /s)	Volumen de las Avenidas (Mm <sup>3</sup> )
La Angostura	60	9724	14649	50	10114	12858
Chicoasén	10	7009	2120	15	14607	2454
Malpaso	60	18038	12320	50	18023	9788
Peñitas	5	11360	2482	10	7536	1550

Tabla 1.5. Hidrogramas de diseño del complejo Grijalva.  
Tr=10,000 años (Estudio 2000 IIUNAM).

La Angostura				Malpaso				Chicoasén		Peñitas
t (día)	Q (m <sup>3</sup> /s)	t (día)	Q (m <sup>3</sup> /s)	t (día)	Q (m <sup>3</sup> /s)	t (día)	Q (m <sup>3</sup> /s)	t (día)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	2244	26	7014	1	1189	26	12511	1	478	1056
2	2310	27	2436	2	1283	27	6694	2	551	914
3	2270	28	1354	3	928	28	3370	3	0	1277
4	2642	29	3569	4	1062	29	1469	4	0	2106
5	2420	30	3669	5	1196	30	1229	5	0	7536
6	2192	31	3156	6	1316	31	578	6	1585	1502
7	2300	32	3080	7	1452	32	1198	7	3600	1574
8	2551	33	2894	8	1432	33	1991	8	14607	913
9	2642	34	2598	9	1586	34	1435	9	4593	1052
10	2733	35	2302	10	1740	35	879	10	2200	1086
11	2733	36	3078	11	1619	36	1961	11	349	
12	2837	37	2968	12	1815	37	1689	12	0	
13	2913	38	2890	13	1554	38	1912	13	0	
14	3023	39	2785	14	1825	39	1717	14	420	
15	3133	40	2680	15	2096	40	1522	15	513	
16	2450	41	2688	16	1157	41	1663			
17	2746	42	2596	17	1713	42	1509			
18	3126	43	2354	18	771	43	1520			
19	2968	44	2246	19	728	44	1384			
20	3600	45	2138	20	950	45	1248			
21	3667	46	2383	21	2059	46	1129			
22	3981	47	2307	22	2673	47	995			
23	2120	48	2343	23	4048	48	1330			
24	7316	49	2277	24	6924	49	1236			
25	10114	50	2211	25	18023	50	1142			

#### 1.3.4. Estudios realizados en 2006 y 2009 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM)

Para el 2006 se volvió a realizar una actualización de las avenidas de diseño, debido a que en el año 2005 se presentaron avenidas extraordinarias, como consecuencia de estos fenómenos se identificaron condiciones desfavorables en las presas La Angostura, Chicoasén y Malpaso (Domínguez et al., 2006).

En el año 2009, la Comisión Federal de Electricidad solicitó la actualización de las avenidas de diseño del sistema hidroeléctrico del río Grijalva. Lo cual motivó la realización de este trabajo.

Para el estudio realizado en el 2006 se utilizaron los registros de los escurrimientos medios diarios hasta el 2005, mientras que para el estudio del 2009 se trabajó con los datos de hasta el año 2008 (IIUNAM). En el presente trabajo se estimaron las avenidas de diseño de la cuatro presas del complejo Grijalva, utilizando el registro histórico de escurrimientos medios diarios hasta el año 2008, además se hizo una comparación de resultados de las avenidas de diseño con las estimadas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en el 2006.

## Referencias

- 1.1. Alvarado, C.A.J. **“Cálculo de Avenidas de Diseño para vertedores de presas de almacenamiento”**. Tesis de Maestría, DEPFI.UNAM.1993.
- 1.2. Aparicio, M.F.J. **“Fundamentos de Hidrología de superficie”**. Limusa, México, 2005.
- 1.3. Campos, A.D.F. **“Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí, México”**. Universitaria Potosina, 2003.
- 1.4. Domínguez M. R., Arganis, J.M.L., **“Cálculo de registros sintéticos de ingresos por cuenca propia de un sistema de presas de la región noroeste de México caracterizada por eventos invernales”**. Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología. Vol. X No. 4, Octubre-diciembre, 2009. pp 353-361
- 1.5. Domínguez, M.R., Arganis, J.M.L., Carrizosa, E.E., Fuentes, M.G.E, Echeverri, V.C.A. **“Determinación de Avenidas de Diseño y ajuste de los parámetros del modelo de optimización de las políticas de operación del sistema de presas del Río Grijalva”**. Informe final del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Para CFE. Diciembre 2006.
- 1.6. Domínguez, M.R., Carrizosa, E.E., Fuentes, M.G.E, Arganis, J.M.L. Estudio de diferentes aspectos sobre el funcionamiento de la obra de excedencias del Proyecto Hidroeléctrico, la Angostura, Chiapas y actualización de la hidrología para el sistema de presas del Río Grijalva. **“Estudio Hidrológico de la Cuenca alta del Río Grijalva”**. Informe final del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Para CFE. Septiembre del 2000.
- 1.7. Domínguez M.R., Fuentes M.O., Franco, V. **“Avenidas de diseño”**, Capítulo A.1.10 del Manual de Diseño de Obras Civiles. CFE. México, 1981.
- 1.8. Domínguez, M.R., Mendoza, R.R., Alvarado, C.A, Márquez, U.L.E. **“Operación integral del sistema hidroeléctrico del Río Grijalva**. Informe final del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Para CFE. Julio de 1993.

- 1.9. Lynsley, R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H. **“Hydrillogy for engineers”**. McGraw-Hill, 1975.
- 1.10. Marengo, M.H., Salinas, U.O. **“Eventos extremos de 1999 en el sureste mexicano. Actualización del análisis hidrológico del complejo hidroeléctrico Grijalva, en Chiapas, México”**. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XVIII, No 4, octubre-diciembre 2003. pp. 87-118.
- 1.11. Márquez, U,L,E. **“Avenidas de Diseño para los Vertedores de la Presas del Río Grijalva”**. Tesis de Licenciatura Facultad de Ingeniería, UNAM. 1993.
- 1.12. Monsalve, S.G. **“Hidrología en la Ingeniería”**. Alfaomega, México, 1999.
- 1.13. Ocegueda, H.V.M. **“Avenidas de Diseño”**. Tesis de Licenciatura Facultad de Ingeniería, UNAM. 1987.
- 1.14. Toledo, A. **“Ríos, costas, mares; Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México”**. Instituto Nacional de Ecología, El colegio de México, El colegio de Michoacán, México, 2003.
- 1.15. Vázquez, C.M.T. **“Procedimiento sistemático para el cálculo de la avenida de diseño en presas con gran capacidad de regulación”**. Tesis de Maestría, DEPFL.UNAM. 1995.