

INTRODUCCIÓN

1 Generalidades

Desde tiempos geológicos muy remotos, las condiciones atmosféricas de la faz de la tierra han sido modificadas, en menor o mayor grado, ya sea por procesos o eventos naturales y también como consecuencia de la actividad humana.

Estos cambios traen, entre otros resultados, la alteración de los fenómenos climatológicos, como lo son las precipitaciones. Alteraciones en cantidad, tiempo y espacio, que afectan al desarrollo natural de los seres vivos, en toda la superficie terrestre.

En México, debido a sus características particulares de orografía, topografía y ubicación geográfica, se pueden identificar dos zonas generales con distinto comportamiento de las precipitaciones. Una zona norte del país, donde las lluvias son escasas y una zona sur donde las precipitaciones son abundantes. Pero independientemente de estas diferencias, las alteraciones en las condiciones atmosféricas han vuelto un tanto irregulares las ocurrencias de lluvias en todo el país, dejando largos periodos de estiaje en algunas zonas y temporadas de avenidas torrenciales en otras.

Los excesivos escurrimientos que llegan a generarse en cada cuenca, pueden derivar en daños tanto materiales como humanos para la población residente en la zona. Pero, la ocurrencia de lluvias abundantes en contraparte, también trae beneficios para la población, ayudando a la producción agrícola, recarga de mantos acuíferos y cuerpos de agua que son aprovechados como fuente de abastecimiento para agua potable.

Ya sea para protección o para aprovechamiento, el ser humano debe construir obras hidráulicas en el lugar que mejor convenga de acuerdo a la necesidad que se requiera cubrir. Cualquier obra de este tipo; un canal de desvío de un río, un pozo de bombeo, una presa de almacenamiento o de control de avenidas, debe diseñarse para que funcione adecuadamente y de forma segura en las condiciones más desfavorables que pudieran presentarse, ya que la ocurrencia de un evento extraordinario podría llevar a la falla parcial o total de la obra, dejando innumerables pérdidas.

En el caso de las presas, las dimensiones y características de las distintas obras que se desarrollan, deben tener la capacidad suficiente para funcionar con los gastos extraordinarios máximos, que pudieran presentarse. Dicho gasto será producto del paso de la llamada avenida de diseño, una avenida que se obtiene de la aplicación de una metodología, la cual se asocia a un periodo de retorno. Y es la que determina el diseño de las obras hidráulicas, en cuanto a materiales y dimensiones.

La obtención de la avenida de diseño, proporciona una mayor seguridad en la determinación de las características de las obras, pues toma en consideración la probabilidad de ocurrencia de un evento extraordinario. Disminuyendo los riesgos, pero no eliminándolos, de que se presente una contingencia por la falla de la obra. En el diseño se busca que la obra siga funcionando dentro de un rango de seguridad, al tener que trabajar con gastos y volúmenes de agua generados por una hipotética avenida que ocurriera.

1.1 Aspectos generales sobre avenidas de diseño

La avenida de diseño puede definirse como el evento de precipitación que genera el gasto máximo que podría admitirse en una presa y que siga funcionando de manera satisfactoria, sin que se generen daños en la obra o exista grave riesgo en la estabilidad de la misma.

Se considera que la seguridad o confiabilidad de cualquier estructura, estará determinada por la respuesta de la estructura, ante un evento que pudiese presentarse o pudiera ser excedido con una cierta probabilidad de ocurrencia.

El proceso de estimar una avenida de diseño tiene como uno de sus objetivos obtener las características de una avenida como son: el gasto pico, el volumen total y la forma del hidrograma (Referencia 5). Así como también determinar de la mejor forma posible la magnitud de un evento correspondiente a un cierto nivel de riesgo aceptable. Y esta avenida se usará para determinar las dimensiones o revisar el funcionamiento de una obra hidráulica.

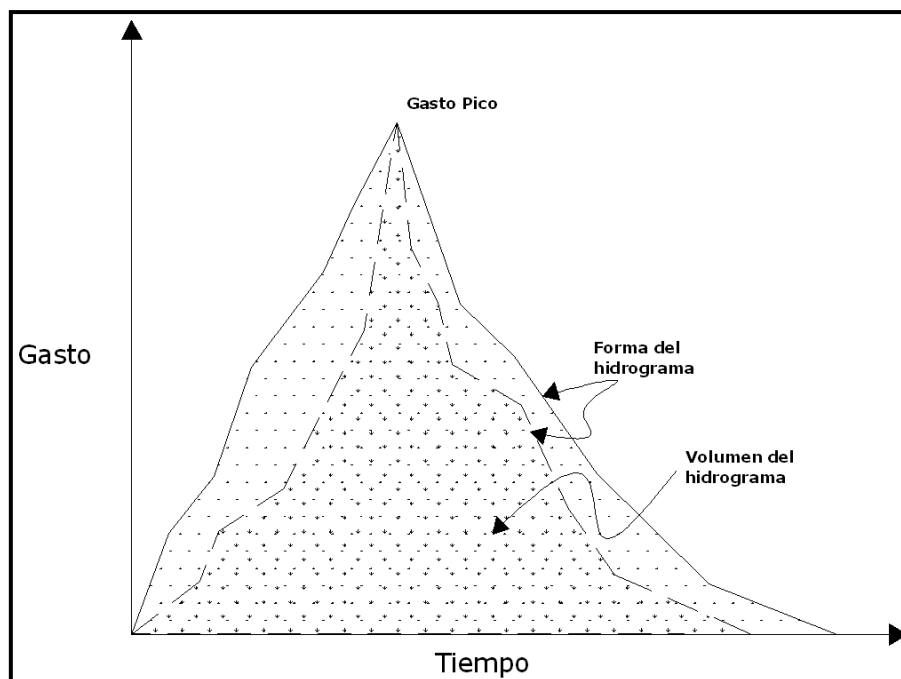


Figura 1. Características importantes de un hidrograma.

Aunque en la Figura 1, ambos hidrogramas presentan un mismo gasto pico, existen grandes diferencias en su duración y sobre todo en su volumen, de ahí que es importante la elección de un método que aparte de proporcionarnos el gasto pico, nos de un volumen o forma del hidrograma, que nos permita realizar un diseño más confiable.

La determinación de una avenida de diseño idónea, de acuerdo a las características del sitio y la obra, es imprescindible para llegar a un diseño confiable de la obra de excedencias. Para llegar a determinar esta avenida, existen varios métodos o técnicas, que van desde las que consideran la avenida histórica más desfavorable, hasta métodos más elaborados donde se consideran técnicas de probabilidad multivariada (Referencias 1 y 5). Los métodos mayormente utilizados en México para la obtención de la avenida de diseño son (Referencia 6):

- Método Tradicional de Mayoración.
- Método Sudafricano.
- Método estadístico de volúmenes históricos.
- Método de correlaciones.
- Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM

1.2 Descripción e importancia de las obras de excedencias. Descarga libre y controlada

La obra de excedencias es una de las obras hidráulicas inherentes a las presas, ya sea que tengan propósitos de almacenamiento, derivación, control de avenidas, etc. Debido a que la obra de excedencias es la que permitirá la salida de los volúmenes de agua que ingresen al almacenamiento y que excedan el volumen del aprovechamiento. Lo anterior implica necesariamente que para que entre en operación la obra de excedencias ya se han satisfecho la capacidad de operación del aprovechamiento, o sea que el volumen del embalse esté en su nivel de conservación o máximo de operación antes de que se inicien los desfogues por la obra de excedencias.

La capacidad de la obra de excedencias está determinada, como se mencionó anteriormente, por la avenida de diseño, así como también por las características propias del embalse y de igual manera la política de operación ejecutada en dicha obra. La obra de excedencias deberá diseñarse para un gasto máximo de descarga, previamente establecido y obtenido por algún método, y se revisará el funcionamiento para gastos menores, considerando el efecto del vaso regulador (Tránsito de avenida).

Además de que esta obra debe tener suficiente capacidad, debe ser hidráulicamente adecuada y con las descargas localizadas de tal suerte que no se vea afectado el pie de la presa u otras estructuras que existan aguas abajo de la descarga. Cuando así lo requiera el proyecto, se deberá construir algún dispositivo que disipe la energía cinética que conserva el agua en el extremo inferior de la descarga.

Un implemento extra que en ocasiones se requiere colocar sobre el vertedor, y que trabajará en conjunto con éste para el control de la descarga, son las compuertas, las cuales vienen a ser puertas o barreras mecánicas móviles que se colocan justo en la cresta del vertedor para detener el agua, cuando ya ha rebasado el nivel de la cresta, o controlar la cantidad de agua que se quiere descargar.

1.2.1 Obras de excedencias con descarga libre

Este tipo de estructuras, necesitan tener obras que encaucen el agua de manera no turbulenta, hacia el vertedor, por ejemplo mediante un canal de acceso. Donde el gasto descargado estará en función de la ecuación de descarga del propio vertedor, sin ninguna otra restricción más que la determinada por la carga hidráulica existente sobre la cresta en cada instante.

1.2.2 Obra de excedencias con descarga controlada

Para controlar el gasto descargado mediante la obra de excedencias, como ya se mencionó, se usan compuertas o válvulas operadas con dispositivos electromecánicos. El controlar una descarga permite mantener un gasto menor al máximo de diseño, sin importar el gasto de ingreso, también permite mantener en el vaso un "nivel de conservación", cuando se requiera.

Para poder controlar una descarga se debe disponer de un programa de operación del vertedor, de acuerdo a los propósitos definidos por, seguridad y estabilidad, generación de energía, abastecimiento de agua. Los programas de operación, pueden estar en función del tiempo de la avenida, de la elevación en el vaso, del volumen de almacenamiento en el vaso o hasta de la época del año.

1.3 Eventos ciclónicos en el país

Una definición proporcionada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para el fenómeno natural conocido como ciclón, es la siguiente: un ciclón tropical es un sistema atmosférico cuyo viento circula en dirección ciclónica, esto es, en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. Como su nombre lo indica, el ciclón tropical se origina en las regiones tropicales de nuestro planeta. Como la circulación ciclónica y bajas presiones atmosféricas relativas normalmente coexisten, es común usar los términos ciclón y baja, de forma indistinta.

La situación geográfica de la República Mexicana, con extensos litorales aproximadamente del orden de los 11 000 km y el hecho de que el territorio Mexicano se encuentre parcialmente rodeado por los océanos, y situado en la zona del Trópico de Cáncer, lo convierte en una zona de gran incidencia de ciclones, por los océanos; Atlántico y Pacífico año con año se producen cerca de las costas Mexicanas entre 9 y 16 ciclones de gran magnitud respectivamente.

Estos eventos naturales, al presentarse en las aguas de dichos océanos e impactar en territorio nacional, han dejado a través de la historia, gran cantidad de daños, tanto materiales como humanos, poniendo a prueba cada vez más dura, la capacidad de respuesta de la población a las contingencias derivadas de los estragos causados por los ciclones. Pero es importante señalar que la magnitud de los ciclones ha sido cambiante, siendo verdaderamente devastadores en los últimos

años, dejando torrenciales precipitaciones y excesivos volúmenes de agua, que llegan a inundar comunidades enteras.

La magnitud de los ciclones se determina por una escala adoptada para clasificarlos, la escala Saffir-Simpson, que ha sido utilizada por personal oficial de los E.U.A, como una estimación de los daños probables debido a vientos y mareas.

Tabla 1. Clasificación de ciclones

Categoría	Presión Central [mb]	Velocidad de vientos [Km/h]	Características
Perturbación Tropical	1008.1 a 1010.0		Ligera circulación de vientos
Depresión Tropical	1004.1 a 1008.0	<62.0	Localmente destructivo
Tormenta Tropical	985.1 a 1004.0	62.1 a 118.0	Tiene efectos destructivos
Huracán categoría 1	980.1 a 985.0	118.1 a 154.0	Altamente destructivo
Huracán categoría 2	965.1 a 980.0	154.0 a 178.0	Altamente destructivo
Huracán categoría 3	945.1 a 965.0	178.1 a 210.0	Extremadamente destructivo
Huracán categoría 4	920.1 a 945.0	210.1 a 250.0	Extremadamente destructivo
Huracán categoría 5	<920.0	>250.0	El más destructivo.

En el registro histórico de la Comisión Nacional del Agua, en el periodo comprendido entre los años 1970 a 2008, se considera un total de 170 ciclones de distinta magnitud, que alcanzaron a impactar en las costas Mexicanas, cuya lista se presenta en la Tabla 2. Y se agregaron algunos de los años 2009 y 201

Tabla 2. Eventos ciclónicos importantes en México

Año	Océano	Nombre	Categoría	Estados afectados
2010	Atlántico	Alex	H2	Tamaulipas, Nuevo León
2009	Pacífico	Jimena	H2	Baja California
2008	Pacífico	Odile	TT	Gro, Mich, Col
	Pacífico	Norbert	H2	BCS, Son, Chih
	Atlántico	Marco	TT	Ver, SLP, Hgo, Pue
	Pacífico	Lowell	DT	BCS, Sin, Son
	Pacífico	Julio	TT	BCS
	Atlántico	Dolly	TT	Q Roo, Yuc, Tamps, NL, Coah, Chih
	Pacífico	DT 5E	DT	Mich
2007	Atlántico	Arthur	TT	Q Roo, Camp, Tab
	Atlántico	Lorenzo	H1	Ver, Pue, Hgo
	Pacífico	Henriete	H1	BCS, Son
	Atlántico	Dean	H5	Q Roo, Camp, Ver, Pue, Hgo, Qro
2006	Pacífico	Barbara	TT	Chis
	Pacífico	Paul	DT	Sin, BCS
	Pacífico	Norman	DT	Col, Mich, Jal
	Pacífico	Lane	H3	Sin, Col
2005	Pacífico	John	H2	BCS
	Atlántico	Wilma	H4	Q Roo, Yuc
	Atlántico	Stan	TT	Q Roo, Yuc, Ver, Oax, Camp, Chis
	Atlántico	josé	TT	Ver, Pue, Tlax, Mex, DF
	Atlántico	Gert	TT	Ver, SLP, Tamps, NL
	Atlántico	Emily	H4	Q Roo, Yuc, Tamps, NL
	Pacífico	Dora	TT	Gro, Mich, Col
2004	Atlántico	Cindy	DT	Q Roo, Yuc
	Atlántico	Bret	TT	Ver, Tamps, SLP, Hgo
	Pacífico	DT 16E	DT	Sin
	Pacífico	Lester	TT	Gro
2003	Pacífico	Javier	DT	BCS, Son
	Pacífico	Nora	DT	Sin
	Pacífico	Olaf	TT	Jal, Col, Nay
	Atlántico	Larry	TT	Ver, Tab, Chis, Camp

	Pacífico	Marty	H2	BCS,Son,BC
	Pacífico	Ignacio	H2	BCS
	Atlántico	Erika	H1	Tamps,NL,SLP,Coah
	Atlántico	Claudette	TT	Q Roo,Tamps,NL,Coah,Yuc
	Pacífico	Carlos	TT	Oax,Gro
2002	Pacífico	Kenna	H4	Nay,Jal,Sin,Dgo,Zac
	Pacífico	Julio	TT	Gro,Mich,Col,Jal
	Atlántico	Isidore	H3	Q Roo,Yuc,Camp
2001	Pacífico	Juliette	H1	BCS,Son,BC
	Atlántico	Chantal	TT	Q Roo,Camp,Tab,Chis
	Atlántico	Iris	DT	Chis
2000	Pacífico	Rosa	TT	Oax
	Atlántico	Keith	TT	Q Roo,Camp,tamps,NL,SLP,Ver
	Pacífico	Norman	TT	Mich,Col,Jal,Sin
	Pacífico	Miriam	TT	BCS
	Atlántico	Gordon	DT	Q Roo,Yuc
	Atlántico	Beryl	TT	Tam,NL,Coah
1999	Atlántico	DT11	DT	Ver,Tab,Pue,Hgo
	Pacífico	Greg	H1	Gro,Col,Mich,Jal,Sin,BCS,Son
	Atlántico	DT7	DT	Tam,Ver,NL
	Atlántico	Katrina	DT	Q Roo,Camp,Yuc
	Atlántico	Bret	DT	Tam,NL,Coah
	Atlántico	DT2	DT	Ver,Tam,SLP,Hgo
1998	Atlántico	Mitch	DT	Chis,Tab,Camp,Yuc
	Pacífico	Isis	TT	BCS,Sin,Son,Chih
	Atlántico	Charley	DT	Coah
	Pacífico	Frank	TT	BCS
1997	Pacífico	Rick	H1	Oax,Chis,Gro
	Pacífico	Pauline	H3	Oax,Gro,Mich,Jal
	Pacífico	Olaf	TT	Oax,Col,Chis
	Pacífico	Nora	H1	BCS,BC,Son
	Pacífico	Andres	TT	Chis
1996	Pacífico	Hernan	H1	Jal,Mich,Col,Nay
	Pacífico	Fausto	H1	BCS,Sin,Chih,Son
	Atlántico	Dolly	H1	Q Roo,Yuc,Camp,Ver,Tam,SLP,Zac
	Pacífico	Cristina	TT	Oax,Gro,Chis
	Pacífico	Boris	H1	Gro,Mich,Jal,Nay
	Pacífico	Alma	H2	Gro,Mich,Jal,Col
1995	Atlántico	Roxanne	H3	Q Roo,Yuc,Camp,Tab,Ver
	Atlántico	Opal	DT	Camp,Yuc,Q Roo,Tab
	Pacífico	Ismael	H1	Sin,Son
	Pacífico	Henriette	H2	BCS,Sin
	Atlántico	Gabrielle	TT	Tamp,SLP,NL
	Atlántico	DT6	DT	Ver,Hgo,Tamps,SLP
1994	Pacífico	Rosa	H2	Sin,Nay,Dgo,Coah
	Atlántico	DT5	DT	Tam,SLP,Ver
1993	Atlántico	Gert	TT	Q Roo, Camp,Ver,SLP,Hgo,Qro,Gto
	Pacífico	Lidia	H2	Sin,Dgo,Coah
	Pacífico	Hilary	TT	BCS,Son
	Pacífico	Calvin	H2	Col,Jal,BCS
	Pacífico	DT 3E	DT	BCS
	Pacífico	Beatriz	TT	Oax,Chis,Tab
1992	Pacífico	Winifred	H2	Mich,Col,Jal
	Pacífico	Virgil	H2	Mich,Col,Jal
	Pacífico	Lester	H1	BCS, Son
	Pacífico	Ignacio	TT	Mich,Col,Gro
1991	Atlántico	DT2	DT	Tam,SLP,Ver
	Pacífico	DT5E	DT	Oax,Chis,Tab
	Pacífico	Rachel	TT	BCS,Sin,Chih
1990	Atlántico	Diana	TT	Q Roo,Yuc,Cam,Ver,Slp,Qro,Gto,Jal,Nay
1989	Pacífico	Raymond	TT	BCS,Son
	Pacífico	Kiko	H3	BCS
	Pacífico	Cosme	H1	Gro,Mor,Mex,DF,Hgo,SLP,Tam
1988	Atlántico	Keith	TT	Q Roo
	Atlántico	Gilbert	H5	Q Roo,Yuc,Tam,NL,Coah
	Atlántico	Debby	H1	Ver,Hgo,Mex,DF,Pue,Mich,Jal
1987	Pacífico	Norma	DT	BCS
	Pacífico	Eugene	H1	Jal
1986	Pacífico	Roslyn	H1	Sin,Nay
	Pacífico	Paine	H1	Sin
	Pacífico	Newton	H1	Son
1985	Pacífico	Waldo	H2	Sin
1984	Pacífico	Polo	DT	BCS,Sin
	Pacífico	Norbert	TT	BCS

	Pacífico	Odile	TT	Mich,Gro
	Atlántico	Edouard	TT	Ver
1983	Pacífico	Tico	H3	Sin,Nay,Dgo
	Atlántico	Barry	H1	Tamps,NL,Coah
	Pacífico	Adolph	TT	Jal,Nay
1982	Pacífico	Paul	H2	BCS,Sin,Chis
	Atlántico	Alberto	DT	Q Roo
1981	Pacífico	Otis	TT	Sin,Nay,Jal
	Pacífico	Norma	H2	Sin,Dgo
	Pacífico	Lidia	TT	BCS,Sin
	Pacífico	Knut	TT	Sin
	Pacífico	Irwin	DT	BCS,Col
1980	Atlántico	Hermine	TT	Q Roo,Camp,Ver,Oax
	Atlántico	Danielle	DT	Coah,Chih
	Atlántico	Allen	H3	Tamps,NL,Coah,Q Roo
1979	Pacífico	Ignacio	TT	Col,Mich
	Atlántico	Henriette	DT	Col,Mich
	Pacífico	Andres	H1	Mich,Col,Jal
1978	Pacífico	Paul	DT	Sin,Dgo
	Pacífico	Olivia	TT	Chis
	Atlántico	Greta	DT	Chis
	Atlántico	Bess	TT	Ver
	Atlántico	Amelia	DT	Tamps
	Pacífico	Aletta	TT	Gro,Mich
1977	Pacífico	Glenda	DT	BCS
	Atlántico	Anita	H5	Tamps,SLP,Zac,Ags
	Pacífico	Doreen	H1	BCS
1976	Pacífico	Naomi	TT	Sin,Dgo,Coah
	Pacífico	Madeline	H4	Gro,Mich
	Pacífico	Liza	H4	BCS,Sin,Son
	Pacífico	Kathleen	TT	BCS,BC
1975	Pacífico	Olivia	H3	Sin,Dgo
	Atlántico	Eloise	TT	Q Roo,Yuc
	Atlántico	Caroline	H3	Q Roo,Tamps,NL
	Pacífico	Eleanor	DT	Col,Jal
1974	Pacífico	Orlene	DT	Oax,Gro,Sin,Dgo,Chih
	Atlántico	Fifi	TT	Chis,Oax,Gro,Mich
	Pacífico	Norma	TT	Gro,Mich
	Atlántico	Carmen	H4	Q Roo,Camp,Yuc
	Pacífico	Aletta	TT	Col,Jal
1973	Pacífico	Jennifer	DT	Sin,Dgo
	Pacífico	Irah	H1	BCS,Sin,Dgo
	Atlántico	Delia	DT	Coah
	Pacífico	Heather	DT	Oax
	Atlántico	Brenda	DT	Q Roo,Yuc,Cam,Chis
	Pacífico	Claudia	TT	Gro,Mor
	Pacífico	Bernice	TT	Gro,Mich
1972	Pacífico	Joanne	TT	BC, Son
	Pacífico	Hyacinth	DT	BC
	Atlántico	Agnes	DT	Yuc,Q Roo
	Pacífico	Annette	TT	Col,Mich
1971	Pacífico	Priscilla	TT	Nay,Jal
	Pacífico	Olivia	DT	BCS
	Atlántico	Fern	TT	Tamps,NL
	Atlántico	Edith	TT	Q Roo,Camp,Tamps
	Pacífico	Lily	H1	Jal,Col
	Atlántico	Chloe	DT	Q Roo
	Pacífico	Katrina	DT	Sin
	Pacífico	Bridget	TT	Oax,Gro,Mich,Col,Jal
Pacífico	Agatha	H1	Mich,Gro	
1970	Atlántico	Greta	DT	Yuc,Camp,Tamps,SLP,NL
	Atlántico	Ella	H5	Q Roo,Yuc,Tamps,NL
	Pacífico	Orlene	DT	Chis
	Pacífico	Norma	DT	BCS
	Atlántico	Celia	TT	Coahuila
	Pacífico	Eileen	TT	Nay,Dgo,Zac

Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/historia/ciclones1970-2008>

En la tabla anterior se observa una mayor incidencia de impacto de ciclones en las costas del océano Pacífico.

Los años en lo que se registraron ciclones de mayor magnitud, son los años; 2007, 2005, 1999, 1996, 1988, 1977, 1975 y 1974. Aunque también existen algunos de los últimos 2 años que han rebasado cifras registradas, como el caso del huracán Alex en el año 2010, que provocó graves daños en el estado de Nuevo León y Tamaulipas. Posteriormente se hace notar las repercusiones de dichos eventos en las precipitaciones registradas para los sitios de estudio de este trabajo.

La ocurrencia de estos eventos tan extremos, traen consigo la necesidad de revisar el comportamiento de las obras, ya que pueden estar en riesgo de recibir volúmenes que su diseño no los permita, lo que obliga a modificar las condiciones de operación.

Anualmente México recibe alrededor de los 1 500 miles de millones de m³ de agua en forma de precipitación. De la cual aproximadamente el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmosfera, el 22.1% escurre por ríos o arroyos, y el 4.8% se infiltra al subsuelo recargando acuíferos (Referencia 3).

La precipitación normal del país entre 1971-2000 fue de 760 mm. Y como se muestra en la Figura 2, el 68% de la precipitación ocurre entre junio y septiembre.

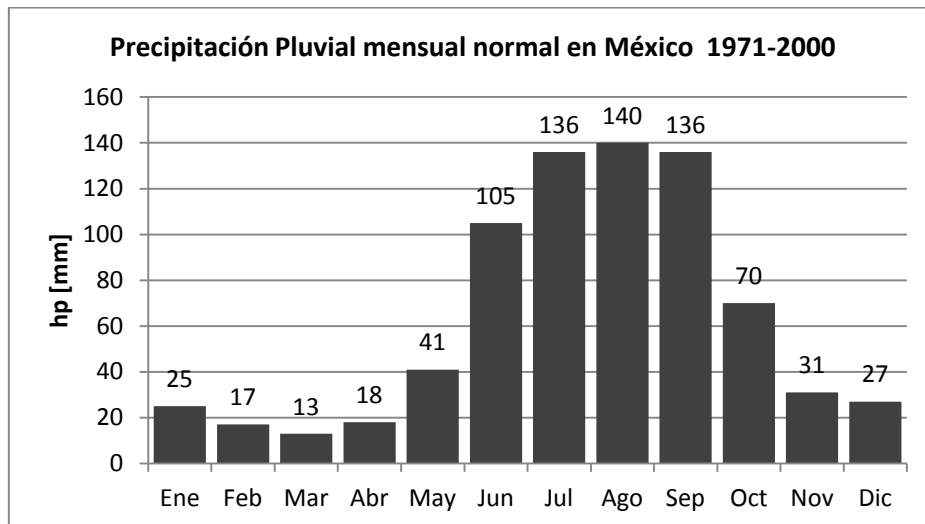


Figura 2. Precipitación pluvial normal en México.

Para años más recientes se tienen los siguientes valores, los cuales ya no entran en el registro anterior, debido a los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial [OMM].

Tabla 3. Registros recientes de precipitación media anual.

Año	Precipitación media Anual [mm]
2000	729
2001	705
2008	869
2009	649

1.4 Importancia del periodo de retorno

Dentro del ámbito de la ingeniería, en varias de sus áreas, se ha introducido el concepto de "Periodo de retorno", el cual, a grandes rasgos, hace referencia a la ocurrencia de dos eventos improbables que tendrían efectos catastróficos y devastadores en el ambiente o desarrollo humano, provocado por la falla de una obra de ingeniería (Referencia 2). Este viene a ser un parámetro muy significativo al momento de dimensionar o diseñar una obra.

Una explicación clara de este concepto define al periodo de retorno como, el número de años que en promedio, un evento puede ser igualado o excedido. Esto es, el periodo que tarda en repetirse o ser superado un evento de cierta magnitud.

Este periodo varía en función de la importancia de la obra, ya sea por interés económico, socio-económico, estratégico para el gobierno, e implicaciones de pérdidas materiales y humanas.

Algunos criterios para la determinación del periodo de retorno T_r , en años, para n datos anuales de una muestra son:

- La fórmula de Weibull:

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \dots\dots\dots(1)$$

- La fórmula California (California Department of Public Works, 1923):

$$T_r = \frac{n}{m} \dots\dots\dots(2)$$

- La fórmula de Hazen:

$$T_r = \frac{2n}{m - 1} \dots\dots\dots(3)$$

- La fórmula de Gringorten:

$$T_r = \frac{n + 0.12}{m - 0.44} \dots\dots\dots(4)$$

- La fórmula de Cunnane:

$$T_r = \frac{n + 0.2}{m - 0.4} \dots\dots\dots(5)$$

- La fórmula de Chegadayev

$$T_r = \frac{n + 0.4}{m - 0.3} \dots\dots\dots(6)$$

- La fórmula de Blom:

$$T_r = \frac{n + 0.25}{m - 0.375} \dots\dots\dots(7)$$

➤ La fórmula de Tukey:

$$T_r = \frac{3n + 1}{3m - 1} \dots\dots\dots(8)$$

En las cuales m es el número de orden en una lista de mayor a menor.

El periodo de retorno está asociado con la probabilidad (Pe) de que un evento sea igualado o excedido, de la siguiente forma:

$$T = \frac{1}{Pe} \dots\dots\dots(9)$$

Entre mayor sea el periodo de retorno, menor probabilidad habrá de que sea excedido un evento, por ejemplo:

$$\begin{aligned} Si T = 100 &\Rightarrow Pe = 0.01 = 1\% \\ Si T = 10 &\Rightarrow Pe = 0.10 = 10\% \end{aligned}$$

En este texto, se utiliza la fórmula propuesta por Weibull, por ser la comúnmente utilizada en los procedimientos descritos.

2 Planteamiento del problema

El diseño de gran parte de las presas en México se ha llevado a cabo utilizando información dada por estaciones climatológicas e hidrométricas, que no cuentan con suficientes años registrados o con grandes discontinuidades en su operación, y aunado a la constante incidencia de eventos ciclónicos más severos en intervalos de tiempo más cortos, que afectan directamente y de forma importante el escurrimiento de las cuencas. El hecho de estar actualizando frecuentemente la avenida de diseño de las obras resulta imprescindible, para constatar que las condiciones en las que actualmente opera una obra aún siguen satisfaciendo los requerimientos y en caso contrario proponer una nueva política de operación, para las obras de excedencia o de toma, que ayuden a mantener las estructuras, dentro de un rango de seguridad, a pesar de las crecientes avenidas y de los pocos años de registros que existen para realizar los cálculos probabilísticos y estadísticos.

2.1 Estudios previos sobre avenidas de diseño en presas de México

En México se han realizado análisis a distintas zonas, para llevar a cabo la actualización de las avenidas de diseño de algunas presas, debido a la ocurrencia de eventos extraordinarios que ponen de manifiesto la necesidad de revisar la operación de las obras.

Uno ejemplo de las revisiones que se han hecho en el país, es el elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, para el sistema hidroeléctrico de presas en

cascada del río Grijalva (La Angostura, Chicoasen, Malpaso y Peñitas) (referencia 4), después de los eventos ocurridos en el año 2005 provocados por el huracán Stan (mencionado en la Tabla 2), pues se pudo identificar posibles condiciones desfavorables para la operación de las primeras tres de esas presas. Lo que hizo necesaria la actualización de las avenidas de diseño y transitarlas por su respectivo vaso, así como también se llevó a cabo la simulación conjunta de las cuatro presas. Los estudios y simulaciones se llevaron a cabo con base en los registros históricos de los gastos medios diarios en las cuencas, con los cuales se obtuvo la nueva avenida de diseño y aunado a la propuesta de políticas de operación, se propuso la forma conjunta de operación de turbinas-vertedores, considerando el evento extraordinario que dio origen al estudio.

Además, se han elaborado varias tesis, aplicadas a cada una de las presas de este sistema, o para las cuatro en conjunto, como la tesis de la referencia 1, que se aplica a la presa Peñitas.

Otro caso de estudio de avenidas de diseño se muestra en otro trabajo de tesis (referencia 5), en que se presentan los métodos de avenidas de diseño como lo son; el sudafricano, el inglés, el de mayoración y el del Instituto de Ingeniería. Aplicados a la determinación de avenidas de diseño de San Juan Tetelcingo y la presa Aguamilpa. Empleando para la presa la información de la estación Carrizal,

con 46 años de registro. Donde de igual manera se utilizaron estos datos de gastos medios diarios y después de un proceso de ajuste se encontraron las distribuciones de probabilidad más cercanas, y con base en ellas se calcularon avenidas de diseño para distintas duraciones y distintos periodos de retorno.

Los casos mencionados anteriormente, son solo un ejemplo de los trabajos que se han hecho en el país, en este tema. En ambos se utilizan métodos que no solo se ajusten al pico máximo de una avenida probable, sino a la forma que podría tener el hidrograma, para tener un más cercano valor del volumen que pudiese presentar la avenida, con ese gasto pico.

3 Objetivo general

El objetivo principal de esta tesis es, identificar las avenidas históricas relacionadas con eventos de huracán en las presas Marte R. Gómez y El Cuchillo, considerar los registros existentes para actualizar las avenidas de diseño para periodos de retorno de 50,100, 500, 1000 y 10,000 años, además de transitar dichas avenidas bajo distintas políticas de descarga de sus obras de excedencias.

4 Descripción de cada capítulo

En el Capítulo I se presentan los conceptos teóricos necesarios para la comprensión de los métodos utilizados en el desarrollo de este trabajo, mencionando conceptos básicos de estadística y probabilidad como son, las medidas de tendencia central de una muestra y algunas de las principales funciones de distribución de probabilidades usadas en el área de la Hidrología. También se mencionan conceptos sobre vertedores, distintos tipos y características de algunas obras de excedencias. También son presentados algunos métodos para la determinación de avenidas de diseño y el tránsito de avenidas en vasos.

En el Capítulo II se describen las condiciones del sitio de estudio, su ubicación, características hidrológicas y las características de las obras de excedencias (como son: el gasto de diseño, longitud de cresta, descarga máxima registrada, entre otras), para las presas Marte R. Gómez y El Cuchillo.

En el Capítulo III se presenta la aplicación del método del Instituto de Ingeniería, para la determinación de las avenidas de diseño, realizando primero un ajuste probabilísticos de los datos históricos de gastos medios diarios, para cada duración y cada periodo de retorno. Posteriormente se describe la construcción de las avenidas de diseño para los periodos de retorno de 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años.

En el Capítulo IV se presentan, los tránsitos de las avenidas de diseño, a través de los vasos de las presas correspondientes, observando las condiciones de elevación y gasto máximo en el embalse, bajo distintas políticas de operación.

Finalmente en el Capítulo V se expresan las principales conclusiones de este trabajo, así como recomendaciones que se consideran pertinentes.

5 Referencias

1. Alvarado Cuadra, Antonio J. (1993), "Cálculo de Avenidas de Diseño para Vertedores de Presas de Almacenamiento. Aplicación a la Presa Peñitas", Tesis Maestría, DEPFI, UNAM, México.
 2. Aparicio, M. J. "*Fundamentos de Hidrología de Superficie*", México, Limusa, 2008.
 3. CONAGUA (2011) Anuario "Estadísticas del Agua en México". Edición 2011. CNA. SEMARNAT.
 4. Domínguez, Ramón. Arganis Maritza, Carrizosa Eliseo, Fuentes Guadalupe, Echeverri Carlos. "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 para CFE. Proyecto 6327. Instituto de Ingeniería. UNAM, México.
 5. Vázquez Conde, Ma.Teresa (1995), "Procedimiento sistemático para el cálculo de la avenida de diseño en presas con gran capacidad de regulación. Desarrollo y validación", Tesis Maestría, DEPFI, UNAM, México.
 6. Vazquez Ma. Teresa, Jimenez Martin, Dominguez Ramon, Fuentes Oscar. Cuaderno de Investigación, N° 28. "Avenidas de Diseño para Presas de Gran Capacidad". CENAPRED. México. 1996.
-