

Deducción probabilística de avenidas de diseño en grandes presas

Raúl de la Peña Salazar

Unidad de Estudios Civiles. CFE

Ramón Domínguez Mora

Instituto de Ingeniería. UNAM

Jaime Kajomovitz Rubinstein

Heraclio Salvador Acha

Departamento de Hidrometeorología. CFE

La definición de la estrategia para regular las avenidas de una presa parte casi siempre de una avenida histórica importante de donde se calcula la avenida de diseño asociada a un periodo de retorno. El proceso típico consiste en mayorar ésta, lo que supone la existencia de una relación lineal entre el gasto y el volumen, supuesto frecuentemente en contradicción con los hechos observados. En este artículo se plantea un procedimiento para deducir avenidas de diseño a partir de los volúmenes registrados: consiste en realizar un análisis estadístico de la sucesión de volúmenes máximos registrados para duraciones de uno, dos, tres hasta n días, asociándolos a valores de probabilidad de ocurrencia.

Las técnicas habituales para definir avenidas de diseño asociadas a ciertos valores de probabilidad o periodos de retorno recurren tradicionalmente a una avenida histórica importante que se *mayora*; esto significa que se multiplica cada ordenada del hidrograma registrado por una constante, de forma tal que el pico del hidrograma resultante sea igual al gasto máximo asociado con el periodo de retorno deseado. Este procedimiento parte de que existe una proporción directa entre el gasto pico y el volumen, suposición que se contradice con los hechos registrados.

La ventaja principal del procedimiento aquí propuesto para deducir las avenidas de diseño a partir de los volúmenes registrados radica en permitir que se cumplan simultáneamente las relaciones estadísticas entre gastos máximos y volúmenes máximos, lo cual evita los errores inherentes al método tradicional, como se mostrará en los ejemplos de aplicación. La propuesta consiste en realizar un análisis estadístico de la

sucesión de volúmenes máximos registrados para duraciones de uno, dos, tres hasta n días, y asociarlos con valores de probabilidad de ocurrencia. Al igual que en otros métodos estadísticos, la variable en el tiempo es de un año.

Los resultados así obtenidos se aplican cuando la característica que interesa de la avenida es el volumen y no el gasto pico, lo que casi siempre ocurre en presas de gran capacidad de regulación. Debido a que el análisis es puramente estadístico, se requiere del máximo de información para obtener un resultado confiable. Esta se refiere al volumen diario escurrido, así como al gasto medio diario, dato que en general proporcionan las dependencias oficiales que tienen a su cargo la operación de la red de medición.

Metodología

En su primera parte, igual que las demás técnicas en hidrología, la metodología consiste en depurar

la información existente. En este caso se trata de verificar que los gastos máximos instantáneos no difieran notablemente del gasto medio diario en que ocurrieron. Del registro de cada año se encuentra el máximo volumen en un día, después en dos días sucesivos, en tres consecutivos hasta llegar a n días. El valor de n depende de las condiciones de cada cuenca y determina la duración de la avenida. Es conveniente realizar el análisis para una duración mayor que la que corresponde a las avenidas típicas del lugar, a fin de garantizar que incluya todas las condiciones que podrían resultar críticas para la obra analizada.

Como se trata de un análisis en esencia estadístico, no es necesario que el volumen sucesivo para distintas duraciones corresponda a la misma avenida; así, por ejemplo, si el volumen máximo para duraciones de uno y dos días corresponde a una avenida, el máximo asociado a una duración de cinco días puede corresponder a otra.

En los métodos tradicionales los gastos máximos anuales se ajustan a una distribución de probabilidad, mientras que en este caso los volúmenes máximos para cada duración se relacionan con su periodo de retorno mediante el ajuste a funciones de probabilidad. En general, se recomienda el mismo tipo de función probabilística para todas las duraciones. Es importante notar que cuanto mayor sea el número de años del registro de análisis, mejor será la extrapolación para obtener el volumen asociado al periodo de retorno seleccionado.

Los resultados obtenidos de los ajustes con volúmenes acumulados probables, de los que se parte para establecer una avenida cuyas características estadísticas se cumplan para cualquier duración. Se debe esperar que la avenida resultante sea única y que corresponda a la forma típica de las avenidas históricas medidas en la región.

El problema principal de esta metodología consiste en pasar de los volúmenes acumulados correspondientes al periodo de retorno seleccionado a las ordenadas del hidrograma de la avenida. Para solucionarlo se aconseja extender el análisis para duraciones más allá de la esperada para la avenida, y recurrir a una forma típica de las avenidas históricas, colocando el volumen máximo para un día en la posición del gasto máximo registrado: para la segunda ordenada, del valor obtenido del ajuste para dos días se resta el de un día, y este volumen se acomoda antes o después del anterior, dependiendo de la forma típica adoptada. El proceso se repite para tres, cuatro días, etcétera.

En cada caso se comprueba que la sucesión de volúmenes cumpla con los requisitos estadísticos dados por la curva de volúmenes acumulados. El proceso descrito se muestra gráficamente en la ilustración 1. Con objeto de hacer más clara la aplicación de la metodología propuesta se exponen dos ejemplos y se comparan sus resultados con los de la técnica tradicional.

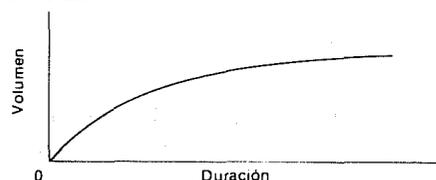
Ejemplos

Avenida de diseño por cuenca propia de la presa Malpaso (México) para un periodo de retorno de 100 años

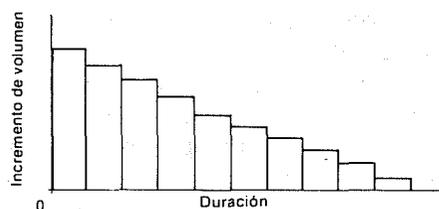
Debido a las condiciones de los embalses al inicio de la temporada de lluvias de 1985 en el río Grijalva y en la etapa de construcción de la Presa Peñitas, fue necesario determinar un nivel en el vaso de Malpaso que garantizara tanto la seguridad de la obra en construcción como la de sus instalaciones. Para ello se realizó un análisis de las crecientes históricas para la cuenca propia de la presa Malpaso, de las que se pudo obtener una avenida asociada a un cierto riesgo o bien a un periodo de retorno que, al ser transitada por el vaso, permitiera determinar el nivel al cual la extracción má-

1. Secuencia gráfica del método propuesto

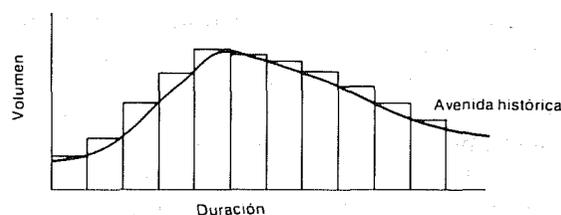
a) Relación duración-volumen para el periodo de retorno seleccionado



b) Incremento de volumen en orden decreciente



c) Incrementos de volumen distribuidos según la forma típica de las avenidas históricas



xima no sobrepasara la capacidad de la obra de desvío de Peñitas. No es el objetivo del presente artículo entrar en los detalles numéricos de los tránsitos en el vaso, sino ejemplificar la metodología empleada para deducir la avenida requerida.

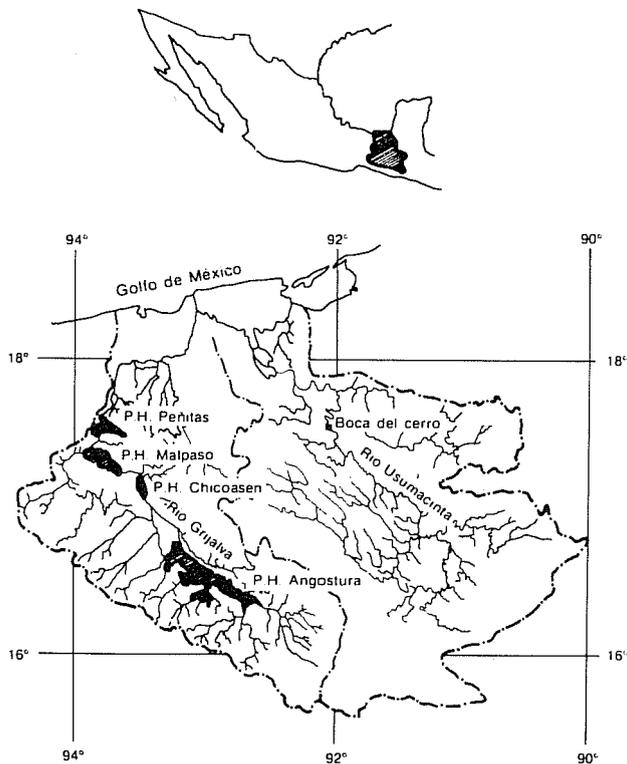
Descripción hidrográfica

En este estudio se considera como cuenca propia del vaso de Malpaso o Nezahualcóyotl al área entre el desfogue de la presa La Angostura y la cortina de la de Malpaso, con una superficie de 16 861 km². En este tramo, los afluentes más importantes del río Grijalva son, por la margen izquierda, Santo Domingo, Suchiapa y La Venta y, por la derecha, Hondo, Chicoasén y Yamonho. Esta descripción y el sistema Grijalva-Usumacinta se muestran en la ilustración 2.

Información utilizada

De los registros de gastos medios diarios de 1948 a 1984 se seleccionaron los 30 días sucesivos de máximo volumen año con año. Con estos datos se analizó desde el máximo volumen para un día, hasta el de 30 días (véase cuadro 1). Para simplifi-

2. Descripción hidrográfica de las cuencas de los ríos Grijalva-Usumacinta



car, en él se muestran sólo los valores asociados a duraciones múltiples de cinco días. Para cada una de ellas se ajustaron los valores anteriores a una distribución de probabilidad, que en este caso fue la de Gumbel. Estos ajustes aparecen en forma gráfica en la ilustración 3, que debe interpretarse como la relación entre el volumen acumulado para cada duración y el periodo de retorno correspondiente.

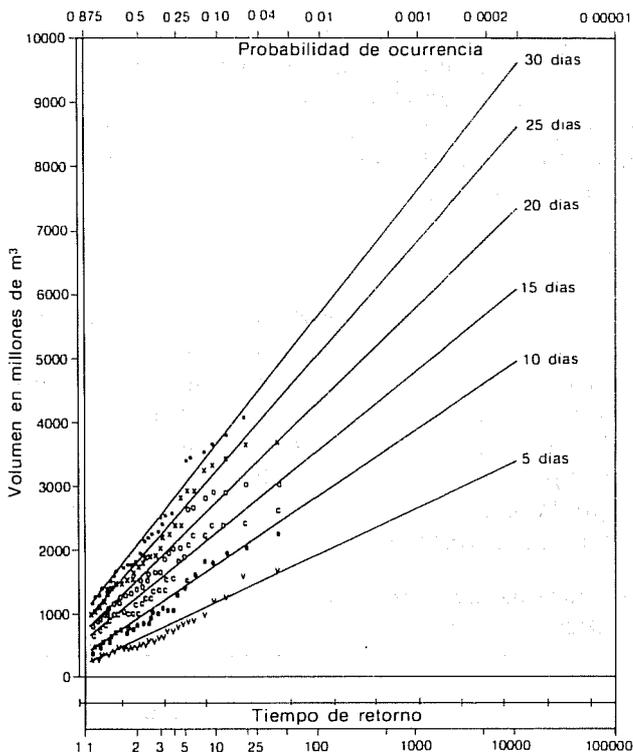
Deducción de la avenida

Al seleccionar el periodo de retorno de 100 años, de los ajustes se obtuvieron los volúmenes acumulados para todo el rango de duraciones estudiadas. A partir de estos valores se calcularon las diferencias entre duraciones sucesivas, hasta obtener una curva como la de la ilustración 1B. En seguida, dichos valores se ordenaron en la posición que corresponde a la avenida histórica de

1. Volúmenes máximos en la Cuenca de la Presa Malpaso (Millones de m³)

Año	5 Días	10 Días	15 Días	20 Días	25 Días	30 Días
1948	401	703	989	1 161	1 299	1 407
1949	492	799	1 036	1 344	1 549	1 818
1950	522	956	1 320	1 586	1 786	1 938
1951	475	863	1 263	1 614	1 901	2 263
1952	990	1 812	2 394	2 881	3 442	3 798
1953	897	1 414	1 746	2 002	2 291	2 547
1954	796	1 312	1 893	2 428	2 974	3 399
1955	876	1 578	2 252	2 810	3 640	4 060
1956	880	1 629	2 090	2 636	2 955	3 532
1957	440	793	1 156	1 421	1 782	2 092
1958	493	883	1 178	1 550	1 939	2 180
1959	735	1 062	1 352	1 540	1 627	1 701
1960	295	550	773	1 029	1 221	1 431
1961	511	811	976	1 058	1 435	1 651
1962	608	1 007	1 529	1 910	2 278	2 565
1963	1 554	2 300	2 620	3 012	3 268	3 403
1964	423	628	855	992	1 197	1 380
1965	642	933	1 048	1 367	1 791	1 926
1966	205	291	444	526	629	716
1967	398	677	858	1 036	1 261	1 432
1968	292	481	705	886	989	1 119
1969	482	756	939	1 229	1 503	1 767
1970	1 192	1 769	2 213	2 913	3 691	4 302
1971	436	766	1 066	1 396	1 573	1 725
1972	142	262	368	476	568	658
1973	1 222	1 967	2 370	3 003	3 355	3 639
1974	429	480	877	1 004	1 170	1 309
1975	343	585	824	985	1 135	1 233
1976	271	430	518	599	695	727
1977	279	371	464	518	580	628
1978	316	505	675	835	1 033	1 295
1979	736	1 174	1 568	1 928	2 370	2 759
1980	1 699	2 065	2 438	2 653	2 748	2 838
1981	506	738	1 024	1 295	1 532	1 782
1982	479	716	973	1 259	1 409	1 515
1983	507	875	1 226	1 657	1 960	2 228
1984	557	1 073	1 365	1 763	2 043	2 363

3. Análisis de volúmenes máximos anuales (por el método de Gumbel para diferentes duraciones. (Cuenca propia de la Presa Malpaso)



1963, cuidando de que al hacerlo se cumpliera con los valores estadísticos. El resultado se presenta en la ilustración 4, donde se compara la avenida propuesta, que satisface las condiciones estadísticas de sucesión de volumen para cualquier duración, con la obtenida al *mayorar* una avenida histórica. Para 30 días, la proporción del

volumen es de más del doble y para el periodo de retorno equivaldría a más de 10 000 años.

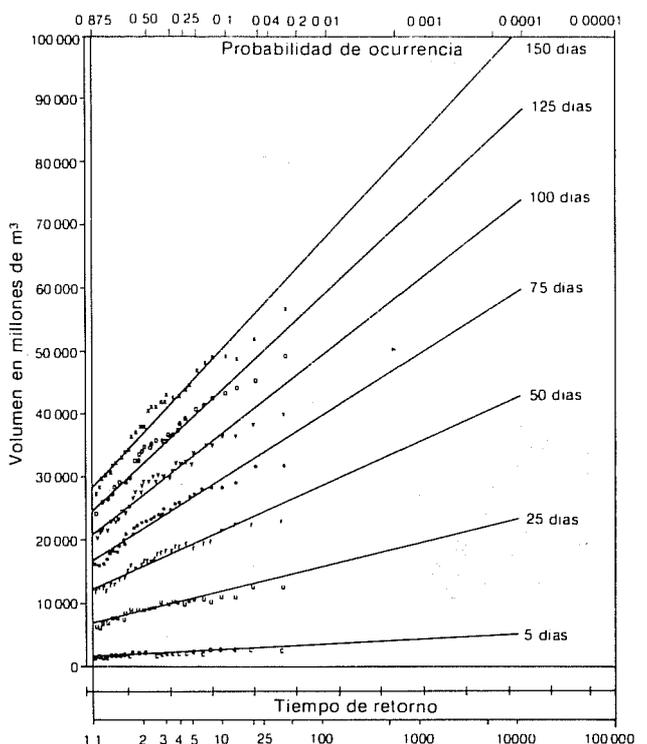
Si el análisis se hubiera realizado para duraciones hasta de 10 días, el resultado sería el que se observa entre las líneas punteadas de la ilustración 4. Sin embargo, como la avenida de diseño no es un evento aislado, para obtener un resultado realista, fue necesario prolongar el análisis hasta duraciones de 30 días.

Avenidas de diseño en Boca del Cerro, Usumacinta

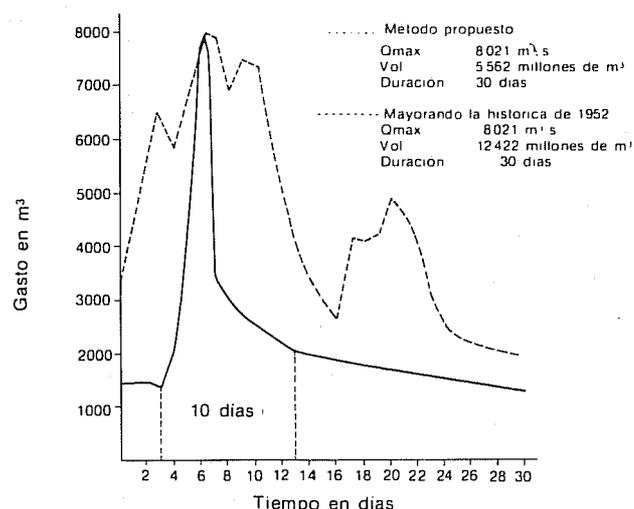
El segundo ejemplo de aplicación de la metodología se realizó en un sitio de proyecto del río Usumacinta, que coincide con una estación hidrométrica llamada Boca del Cerro y que opera desde 1949 (véase ilustración 2). A diferencia del proyecto anterior, las avenidas máximas anuales tienen duraciones de 50 días o más, por lo que el análisis es más extenso.

En virtud de que el procedimiento es exactamente igual al del ejemplo anterior, sólo se presentan las ilustraciones con los principales resultados. Los ajustes gráficos de probabilidad se muestran en la ilustración 5 y, por último, las ave-

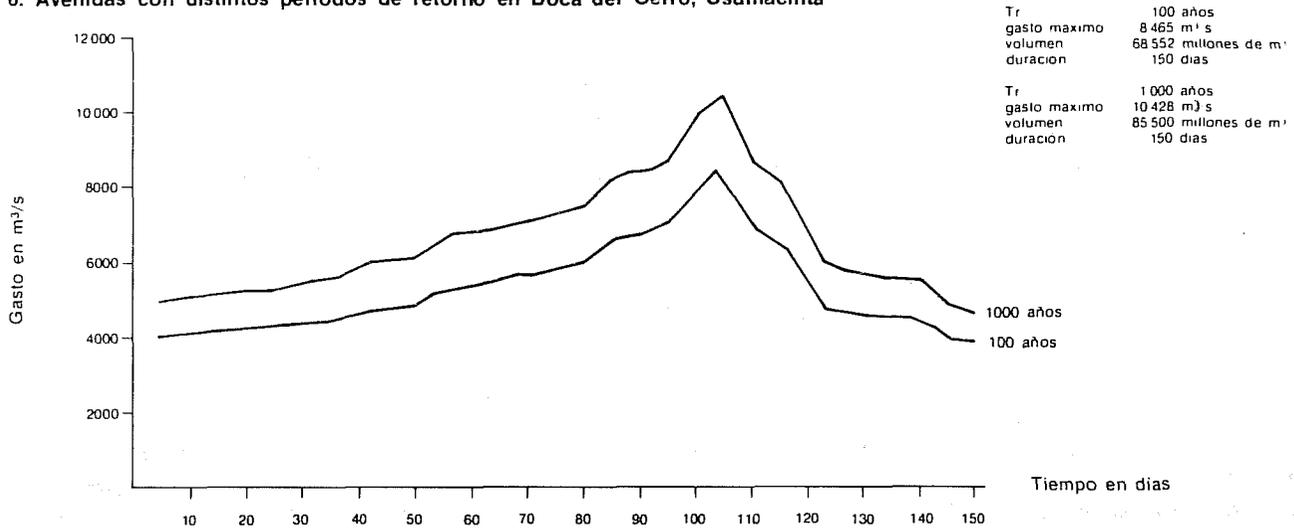
5. Análisis de volúmenes máximos anuales por el método de Gumbel para diferentes duraciones. Boca del Cerro, Usumacinta



4. Avenidas en la cuenca propia de la Presa Malpaso, con periodo de retorno de 100 años



6. Avenidas con distintos periodos de retorno en Boca del Cerro, Usumacinta



nidas resultantes para distintos periodos de retorno, en la ilustración 6.

Conclusiones y recomendaciones

El análisis depende de la cantidad de información disponible, por lo que se recomienda no utilizar

este método si no se tiene un registro extenso. La segunda recomendación es extender el análisis a un mayor número de días de lo que típicamente duran las avenidas.

Por último, es necesario comprobar que la avenida propuesta cumpla con las condiciones estadísticas determinadas con la metodología.