Determinación de eventos de diseño de funciones bivariadas usando el método de bisección

Getting design events of bivariate functions bymeans of the bisection method

Maritza Arganis Juárez[1] José Luis Herrera Alanís[2] Ramón Domínguez Mora[1]

Recibido 6 de diciembre de 2011, aceptado 8 de marzo de 2013
Received: December 6, 2011 Accepted: March 8, 2013

RESUMEN

En este artículo se presenta la determinación de parejas de valores de caudal y de volumen correspondientes a distintos periodos de retorno para la estación hidrométrica Huites, Sinaloa, México, usando métodos determinísticos cerrados y abiertos de búsqueda de raíces; tal es el caso del algoritmo numérico de bisección y el método de la secante, respectivamente; la función de distribución bivariada de las variables analizadas fue una Gumbel de dos poblaciones cuyos parámetros fueron obtenidos en una investigación previa usando un algoritmo genético. El algoritmo de bisección fue el más eficiente en la estimación de volúmenes, resultando en una herramienta útil y práctica que permitió la estimación de los eventos de diseño con relativa sencillez y es susceptible de ser empleado en funciones que incluyen variables aleatorias.

Palabras clave: Funciones bivariadas, método de bisección, Gumbel de dos poblaciones, caudal, volumen.

ABSTRACT

This paper deals with the calculation of a set of inflow and volume values for several return periods for the hydrometric station Huites, Sinaloa, Mexico, by means of the numerical closed and open methods to find the roots for an equation; in this case the bisection algorithm and the Secant method, respectively. The bivariate distribution function for the analyzed variables was a two population Gumbel whose parameters were obtained in a previous research by using a genetic algorithm. The bisection algorithm showed to be the most efficient in estimating volume, resulting in a useful tool which allowed for the estimation of the design events with relative simplicity and could be applied in functions of random variables.

Keywords: Bivariate functions, bisection method, two population Gumbel distribution function, inflow, volume.

INTRODUCCIÓN

El análisis de eventos extremos para determinar eventos de diseño, correspondientes a una obra hidráulica, ha sido motivo de diversas investigaciones en las que [1-2]; muchas veces se debe considerar la dependencia entre los caudales y los volúmenes que históricamente se han presentado en el sitio analizado. A veces es necesario analizar no sólo por separado a las variables, a través de sus funciones de distribución marginal, sino también hay que analizarlas en forma conjunta, considerando una función de distribución bivariada. La determinación de los parámetros de dicha función es un problema que ha sido abordado por distintos autores usando diversos métodos de optimización como son el algoritmo de

[1] Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Edificio 5 Cub. 403 Av. Universidad 3000 Copilco Coyoacán, México, D.F. CP 04360. E-mail: MArganisJ@iingen.unam.mx; rdm@pumas.iingen.unam.mx
[2] Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Grupo de Ingeniería Hidrológica. San Rafael Atlixco Nº 186 Col Vicentina CP 09340. Iztapalapa, México, D.F. E-mail: jlha@xanum.uam.mx

Rosenbrock, los métodos del tipo Newton Raphson o regresiones por mínimos cuadrados [3-13]. Una vez que los parámetros se han determinado, el siguiente problema es la obtención de los eventos de diseño para posteriormente construir el hidrograma de diseño. Debido a la naturaleza aleatoria de las variables y a la definición del periodo de retorno conjunto existe toda una familia de parejas de valores de caudal y de volumen que satisfacen al periodo de retorno correspondiente a la obra y finalmente la selección del mejor valor dependerá del tipo de estructura hidráulica que se esté analizando.

La representación analítica de las funciones de distribución bivariadas es elaborada y ello trae consigo que el problema de la búsqueda de soluciones (en este caso parejas de valores gasto, volumen, dado una probabilidad de no excedencia) es un problema que requiere de la aplicación de algoritmos numéricos eficientes

En este trabajo se aplicaron dos algoritmos numéricos de búsqueda tradicional de raíces como herramienta para determinar los valores de caudal y de volumen correspondientes a eventos de diseño: dichos métodos fueron el de bisección tradicional, que es de tipo cerrado, es decir, que maneja un intervalo de búsqueda, y el método de la secante que es de tipo abierto y que no requiere necesariamente de contar con un intervalo que encierre a la raíz buscada [14]. En este trabajo se obtuvo que el de mayor eficiencia desde el punto de vista de la estabilidad y convergencia fue el algoritmo de bisección y se destaca su uso práctico en un problema importante de ingeniería hidrológica.

METODOLOGÍA

Función de distribución doble Gumbel bivariada
La función de distribución doble Gumbel bivariada se puede expresar como [10]:

$$F(x,y) = exp\left\{-\left[(-In\ F(x))^m + (-In\ F(y))^m\right]^{1/m}\right\} \quad (1)$$

Donde

$$F(x) = exp\left\{-exp\left(-\frac{x+a_1}{c_1}\right)\right\} p_x + exp\left\{-exp\left(-\frac{x+a_2}{c_2}\right)\right\}(1-p_x) \quad (2)$$

$$F(y) = exp\left\{-exp\left(-\frac{y+a_3}{c_3}\right)\right\} p_y + exp\left\{-exp\left(-\frac{y+a_4}{c_4}\right)\right\}(1-p_y) \quad (3)$$

$$m = \sqrt{\frac{1}{1-r_{xy}}} \quad (4)$$

F(x), F(y) son las funciones marginales de F(x,y)
a_1, a_2, c_1, c_2, p_x son los parámetros de la función marginal F(x) supuesta como una función Gumbel de dos poblaciones univariada.

a_3, a_4 , c_3, c_4, p_y son los parámetros de la función marginal F(y) supuesta como una función tipo Gumbel de dos poblaciones univariada.

m es el parámetro de asociación que depende de la correlación cruzada existente entre las variables x, y.

Los parámetros de esta función de distribución se pueden determinar utilizando el método de máxima verosimilitud, que emplea la función de distribución y un algoritmo de optimización.

En este trabajo se utilizaron los parámetros obtenidos por Domínguez, Fuentes, Arganis y Mendoza [13] que maximizaron el logaritmo de la función de verosimilitud L, detallada en dicha referencia, usando un algoritmo genético simple.

Periodo de retorno conjunto de las variables caudal y volumen
Para una variable aleatoria que corresponde a valores máximos anuales, el periodo de retorno T, en años, se define como el lapso de tiempo promedio en años, en que se presente la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada; equivale al inverso de la probabilidad de que un evento se presente o sea superado en un año determinado:

$$T = \frac{1}{P(X > x)} \quad (5)$$

Es decir, el inverso de dicho periodo de retorno, en términos de la probabilidad de no excedencia, es:

$$\frac{1}{T} = P(X > X) = 1 - F(x) \quad (6)$$

Para el caso de una función bivariada, el periodo de retorno conjunto T, en años, que es el lapso de tiempo en que un evento "x" sea igualado o excedido y, simultáneamente otro evento "y" sea igualado o excedido, puede definirse como el inverso de la probabilidad de que simultáneamente los eventos x, y sean excedidos (Figura 1) [10]:

$$T = \frac{1}{P(X > x, Y > y)} \tag{7}$$

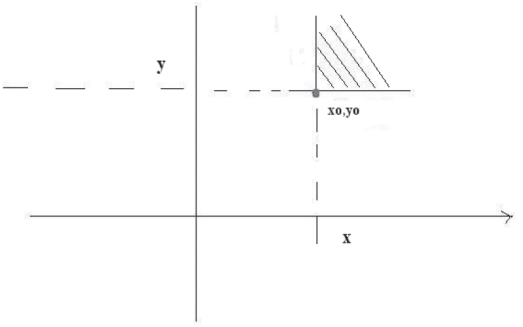

Figura 1. Región para la estimación del periodo de retorno conjunto.

De acuerdo con la Figura 1, en este caso, el inverso de dicho periodo de retorno, en términos de la función de distribución conjunta y de las funciones marginales se obtiene como [10]:

$$\frac{1}{T} = P(X > X, Y > y) = 1 - F(x) - F(y) + F(x, y) \tag{8}$$

Debido a que las funciones de distribución de probabilidades (en este caso la función bivariada doble Gumbel) son siempre crecientes, dado un valor de x, la ecuación (8) tiene una solución única.

Método de bisección

El método de bisección [14] es un algoritmo numérico cerrado para obtener raíces de funciones algebraicas o trascendentes de la forma:

$$f(x) = 0 \tag{9}$$

El algoritmo de bisección consiste en proponer un intervalo inicial cerrado $[x_i, x_s]$ en el que se sospecha que existe una raíz; lo cual se aprecia con el cambio de signo de la función; dicho cambio se puede verificar si el signo del producto de las imágenes $f(x_i)*f(x_s)<0$; el método propone como aproximación a la raíz el punto medio del intervalo de búsqueda, es decir:

$$x_p = \frac{x_i + x_s}{2} \tag{10}$$

Una vez obtenida la aproximación a la raíz, se redefinen los extremos del nuevo intervalo de búsqueda, por comparación en el cambio de signo de la función; de la siguiente manera:

Si $f(x_i)*f(x_p)<0$, la raíz se encuentra entre x_i y x_p y cambia el límite superior $x_s=x_p$

Si $f(x_i)*f(x_p)>0$, la raíz se encuentra entre x_p y x_s y cambia el límite inferior, $x_i=x_p$

Si $f(x_i)*f(x_p)=0$, la raíz es x_p y termina el proceso.

Una vez que se define el nuevo intervalo de búsqueda se repite el procedimiento de cálculo del valor de prueba x_p, así como la redefinición del intervalo, hasta que se cumpla que el tamaño del intervalo es menor o igual que una tolerancia o bien que el valor absoluto de la función, valuada en el valor de prueba, sea menor o igual que una tolerancia previamente establecida; el último valor de prueba x_p se considera la aproximación numérica a la raíz buscada.

Método de la secante

El método de la secante [14] es muy utilizado para encontrar las raíces de funciones algebraicas y trascendentes; tiene una velocidad de convergencia mayor que el método de la bisección y no es necesario calcular derivadas como en el método de Newton-Raphson.

El método de la secante, al igual que el método de la bisección, necesita dos puntos iniciales con los que genera una recta y se determina el punto en que esta recta corta al eje de las abscisas con lo que se determina el nuevo punto:

$$x_i = x_{i-1} - \frac{f(x_{i-1})(x_{i-1} - x_{i-2})}{f(x_{i-1}) - f(x_{i-2})} \tag{11}$$

Selección del método de búsqueda de raíces

La selección del método para la búsqueda de las raíces del problema presentado se realizó por medio de probar el comportamiento de los dos métodos descritos.

Por una parte, el método de bisección, a pesar de ser lento, numéricamente hablando, casi siempre es segura su convergencia. Por otro lado, el método de la secante presentó problemas de estabilidad y se observó que es muy sensible a los valores iniciales. Al graficar la función g(x) de la ecuación (12) (con un valor fijo del gasto de pico) presenta en forma general el siguiente comportamiento (Figura 2).

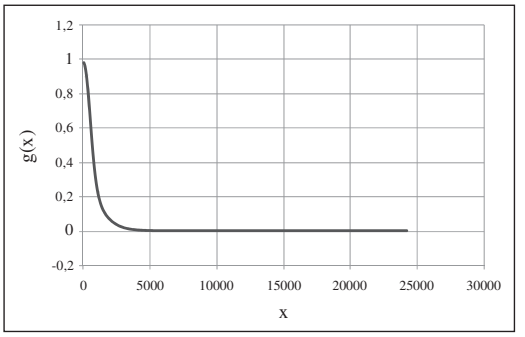

Figura 2. Comportamiento de la función g(x), ecuación (12).

Como se observa en la Figura 2, la curva desciende rápidamente, para después ser paralela al eje de las abscisas. Esta característica hace que el método de la secante no siempre encuentre la solución, ya que los valores iniciales deben ser muy cercanos a la raíz. En el caso del método de la bisección, aun con valores iniciales muy alejados entre sí, en todos los casos hubo convergencia.

Sobre el tiempo de cálculo, en ambos casos fue menor a un segundo, lo que hace que no sea un factor importante en la decisión. Esto se debe a que el número de iteraciones para encontrar la solución fue entre 30 y 60. En general, el comportamiento esperado entre las iteraciones y los errores es el siguiente (Figura 3).

La Figura 3 se construyó con valores iniciales para el método de la bisección de 1.000 y 40.000, y para el método de la secante los valores iniciales fueron

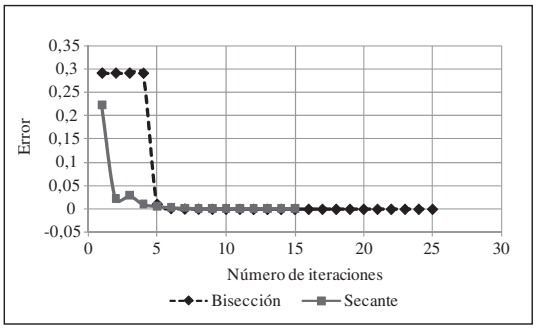

Figura 3. Variación del error vs el número de iteraciones.

de 1.000 y 2.000. Como se observa, el intervalo en el método de la bisección es alrededor de 40 veces más grande que en el método de la secante, mientras que el número de iteraciones solo fue de 1,6 veces mayor.

Dadas las ventajas que mostró el método de la bisección sobre el método de la secante, se utilizó el primero para la estimación de eventos.

Estimación de eventos de diseño aplicando el método de bisección

Si se desea obtener una pareja de valores de caudal de pico y volumen, dado un periodo de retorno T para una obra, se puede proponer el valor del caudal de pico Q_p y aplicar la ecuación (8) vista como una función exclusivamente del volumen V, que se puede igualar a cero y resolver por el método de bisección, es decir:

$$g(x) = 1 - F(Qp) - F(V) + F(Qp,V) - \left(\frac{1}{T}\right) = 0 \quad (12)$$

Para un periodo de retorno T se proponen distintos valores del caudal Q_p, para cada uno se obtiene el valor del volumen V y se pueden construir gráficas que asocien a Q_p vs. V, para distintos periodos de retorno.

APLICACIÓN

Datos de la estación Huites, Sin., México

La estación hidrométrica Huites operaba en el sitio de la presa Huites, ubicada en el río Fuerte, Sin., México, hasta antes de la construcción de la misma (Figura 4).

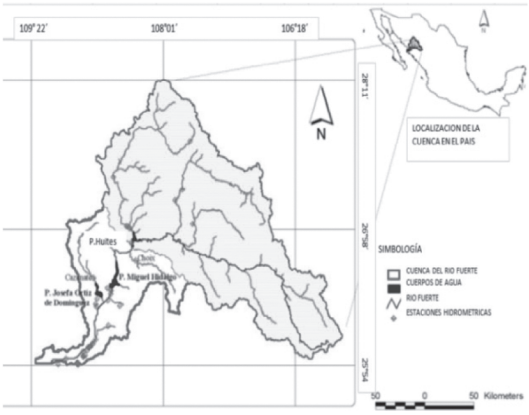

Figura 4. Sitio de Estudio. Estación hidrométrica Huites. En el Río Fuerte, Sin., México.

Se consideraron los 52 datos reportados por Ramírez y Aldama [10], desde 1942 hasta 1992 en que dejó de operar dicha estación (Tabla 1). Los gastos de pico registrados corresponden al gasto máximo instantáneo reportado para cada año por el organismo operador, en este caso La Comisión Federal de Electricidad.

Domínguez, Fuentes, Arganis y Mendoza [13] utilizaron una función doble Gumbel bivariada para ajustar los datos de la estación Huites, Sin., México, los parámetros de dicha distribución fueron obtenidos con el método de máxima verosimilitud y un método de optimización vía algoritmos genéticos como una alternativa al algoritmo de Rosenbrock empleado por Ramírez y Aldama [10]. Los parámetros de la función doble Gumbel se presentan en la Tabla 2.

RESULTADOS

Se consideraron los periodos de retorno de 1.000 y 5.000 años y para cada uno se fijaron distintos valores del gasto de pico Q; en cada caso se propuso un intervalo de búsqueda y se valuó la función igualada a cero de la ecuación (12). Para aplicar el método de bisección de manera sistemática se utilizó una tabla de cálculo como la que se presenta a manera de ejemplo en la Tabla 3, para el caso de T=1.000 años, con Q_p=500 m^3/s. Se consideró como criterio de terminación del método cuando el valor absoluto de la función valuada en la aproximación al volumen fuera igual a cero con un redondeo simétrico a seis decimales, debido a que este criterio es contundente en el sentido de que la imagen de la función se está

Tabla 1. Registros históricos de la Estación Huites, Sin., México [10].

Año	Q_p (m^3/s)	V(hm^3)	Año	Q_p(m^3/s)	V(hm^3)
1941	2.085	458	1967	2.506	593
1942	2.531	1.302	1968	1.534	1.706
1943	14.376	1.928	1969	1.508	837
1944	2.580	871	1970	1.558	1.001
1945	1.499	684	1971	2.200	905
1946	1.165	720	1972	2.225	442
1947	1.127	435	1973	7.960	1.250
1948	3.215	344	1974	3.790	607
1949	10.000	2.966	1975	1.095	1.768
1950	3.229	644	1976	2.677	565
1951	677	111	1977	1.135	601
1952	1.266	474	1978	4.790	1.245
1953	1.025	163	1979	6.860	986
1954	955	596	1980	1.496	1.076
1955	4.780	787	1981	4.828	992
1956	696	513	1982	2.450	351
1957	593	69	1983	8.275	1.625
1958	3.010	740	1984	5.580	1.258
1959	1.908	352	1985	3.585	1.092
1960	15.000	1.842	1986	1.349	1.185
1961	1.396	689	1987	1.429	766
1962	1.620	437	1988	1.866	683
1963	2.702	885	1989	1.868	428
1964	1.319	384	1990	11.558	2.930
1965	1.944	305	1991	2.563	653
1966	2.420	2.716	1992	2.025	601

Tabla 2. Parámetros de la función bivariada Gumbel de dos poblaciones [13].

a_1	–1516,39
c_1	680,94
a_2	–5729,79
c_2	3140,6
p_x	0,7383
a_3	–560,35
c_3	314,77
a_4	–2000
c_4	686,07
p_y	0,9056
m	1,6668

Tabla 3. Determinación del volumen de diseño por el método de bisección. T=1.000 años y Qp=500 m^3/s. Estación Huites, Sin., México.

i	V_i	V_p	V_s	$g(V_i)$	$g(V_p)$	$g(V_p)$
0	1.000	20.500	40.000	0,28567	–0,001	–0,001
1	1.000	10.750	20.500	0,2857	–0,0010	–0,0010
2	1.000	5.875	10.750	0,2857	–0,0007	–0,0010
3	1.000	3.437,5	5.875	0,2857	0,0100	–0,0007
4	3.437,50	4.656,25	5.875	0,0100	0,0009	–0,0007
5	4.656,25	5.265,63	5.875	0,0009	–0,0002	–0,0007
6	4.656,25	4.960,94	5.265,63	0,0009	0,0003	–0,0002
7	4.960,94	5.113,28	5.265,63	0,0003	0,0000	–0,0002
8	5.113,28	5.189,45	5.265,63	0,0000	–0,0001	–0,0002
9	5.113,28	5.151,37	5.189,45	0,0000	0,0000	–0,0001
10	5.113,28	5.132,32	5.151,37	0,0000	0,0000	0,0000
11	5.113,28	5.122,80	5.132,32	0,0000	0,0000	0,0000
12	5.113,28	5.118,04	5.122,8	0,0000	0,0000	0,0000
13	5.113,28	5.115,66	5.118,04	0,0000	0,0000	0,0000
14	5.115,66	5.116,85	5.118,04	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla 4. Determinación del volumen de diseño por el método de bisección. T=5.000 años y Qp=28.000 m^3/s. Estación Huites, Sin., México.

i	V i	V p	Vs	$g(V_i)$	$g(V_p)$	$g(V_p)$
0	1.000	25.500	50.000	0,000017	–0,00020	–0,00020
1	1.000	13.250	25.500	0,000017	–0,00020	–0,00020
2	100	7.125	13.250	0,000017	–0,00016	–0,00020
3	1.000	4.063	7.125	0,000017	0,00000	–0,00016
4	4.063	5.593,75	7.125,00	0,000001	–0,00005	–0,00016
5	4.063	4.828,13	5.593,75	0,000001	–0,00002	–0,00005
6	4.063	4.445,31	4.828,13	0,000001	–0,00001	–0,00002
7	4.063	4.253,91	4.445,31	0,000001	0,00000	–0,00001
8	4.062,50	4.158,20	4.253,91	0,000001	0,00000	0,00000
9	4.062,50	4.110,35	4.158,20	0,000001	0,00000	0,00000

aproximando a cero. Usando este criterio se obtuvo un valor del volumen V=5.116,8518 millones de m^3. En la Tabla 4 se ejemplifica el caso para T=5.000 años y Qp=28.000 m^3/s, con el que se obtuvo un volumen V=4.110,3516 millones de m^3.

Los eventos de diseño obtenidos con los dos periodos de retorno se resumen en la Tabla 5. Con estos valores se construyeron curvas Gasto pico-Volumen-Periodo de retorno que se muestran en la Figura 5, en la que también se indican los eventos críticos para el caso particular de la presa de Huites.

CONCLUSIONES

El método de bisección resultó ser útil y práctico para la determinación de eventos de diseño correspondientes a caudales de pico y volúmenes, considerándolos variables aleatorias con una distribución de probabilidades conjunta, en los que,

Tabla 5. Eventos de diseño para la estación Huites, Sin., México.

T=1000 años		**T=5000 años**	
Qp (m^3/s)	**V (hm^3)**	**Qp (m^3/s)**	**V (hm^3)**
500	5.116,85	500	6.222,53
1.000	5.116,26	1.000	6.222,53
5.000	5.107,33	5.000	6.220,15
10.000	5.090,67	10.000	6.215,39
18.000	4.934,75	18.000	6.173,14
19.000	4.869,89	19.000	6.160,64
20.000	4.771,7	20.000	6.142,79
21.000	4.601,5	21.000	6.117,8
22.000	4.242,07	25.000	5.886,84
23.000	2.723,39	26.000	5.722,35
23.100	2.028,32	27.000	5.390,38
		28.000	4.110,35
		28.250	1.617,19

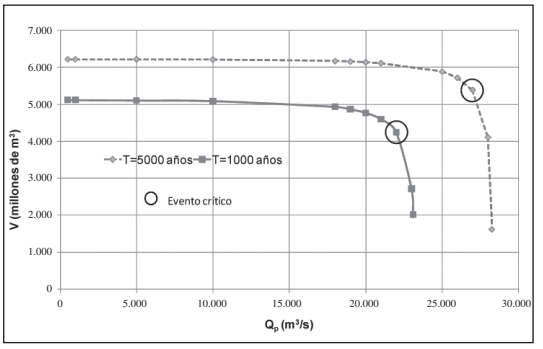

Figura 5. Gráficas Gasto de pico-Volumen-Periodo de retorno. Estación Huites, Sin., México.

para un periodo de retorno, y dado el valor de una de las variables (en este caso el gasto pico) solo hay un valor de la otra que satisface la ecuación (12). La aplicación del método de bisección mostró que su comportamiento es muy estable y en todos los casos permitió encontrar la solución, lo que no ocurrió con el método de la secante, utilizado con fines de comparación.

Se obtuvieron parejas de valores de caudal de pico y de volumen para distintos periodos de retorno, los cuales se dibujaron para dos periodos de retorno distintos, resultando en gráficas que pueden aplicarse para el diseño de una obra hidráulica. La pareja de valores a seleccionar dependerá de las características de la obra de excedencias, ya que en algunos casos está restringida por el volumen disponible para regulación y en otros por el caudal máximo que puede conducir el vertedor. En el caso particular de la presa Huites el caudal máximo que puede conducir el vertedor es relativamente limitado, por lo que la condición crítica corresponde a avenidas de ingreso con un gasto de pico grande, como se muestra en la Figura 5.

La aplicación del método de bisección es útil en una etapa intermedia de un análisis bivariado que permite obtener de hidrogramas de diseño de presas de gran capacidad de regulación. En este caso se presentó el análisis para datos de la Estación Huites, Sin., México, pero recientemente ya se ha aplicado al caso de otras cuencas, por ejemplo, en la cuenca propia de la presa Malpaso, Chiapas, México [15].

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la estudiante de Ingeniería Civil Ariadna Drust Nacarino su apoyo en la edición de tablas de este documento.

REFERENCIAS

[1] L.V.A. Hiemstra and D.M. Francis. “The Runhydrograph-Theory and Application for Flood Predictions”. Water Research Commission, Pretoria. 1979.

[2] F. Rivera-Trejo y C. Escalante Sandoval. “Análisis comparativo de técnicas de estimación de avenidas de diseño”. Ingeniería del Agua. Vol. 6 Nº 1, pp. 49-54. Marzo, 1999.

[3] F. Rossi, M. Florentino and P. Versace. “Two-Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis”. Water Resources Research.Vol. 20, Issue 7, pp. 847-856. July, 1984.

[4] V.J.A. Raynal and J.A. Salas. “Multivariate extreme value distributions in hydrological analyses”. Water for the Future: Multivariate extreme value distributions Hydrology in Perspective (Proceedings of the Rome Symposium). IAHS Publ. Nº 164, pp. 111-119. April, 1987.

[5] B. Bacchi, G. Becciu and N.T. Kottegoda. “Bivariate exponential model applied to

intensities and durations of extreme rainfall". Journal of Hydrology. Vol. 155, pp. 225-236. March, 1994

[6] S. Yue, T.B.J.M Ouarda, B. Bobeé, P. Legendre and P. Bruneau. "The Gumbel mixed model for flood frequency analysis". Journal of Hydrology. Vol. 226, pp. 88-100. 1999.

[7] S. Yue. "The Gumbel mixed model applied to storm frequency analysis". Water Resources Management. Vol. 14, pp. 377-389. 2000.

[8] S. Yue, T.B.M.J. Ouarda and B. Bobeé. "A review of bivariate gamma distributions for hydrological application". Journal of Hydrology. Vol. 246, Issues 1-4, pp. 1-18. 2001.

[9] S. Yue. "The Gumbel logistic model for representing a multivariate storm event". Advances in Water Resources. Vol. 24, Issue 2, pp. 179-185. November, 2000.

[10] I. Ramírez y A. Aldama. "Análisis de frecuencias conjunto para la estimación de avenidas de diseño". AMH/IMTA Avances en Hidráulica. Vol. 7. Morelos, México. 2000.

[11] C. Escalante Sandoval. "Application of bivariate extreme value distribution to flood frecuency analys: A case study of northwestern". Mexico. Nat Hazards. Vol. 42, pp. 37-46. 2007.

[12] C. Escalante Sandoval. "Bivariate distribution with two component extreme value marginals to model extreme wind speeds". Atmósfera. Vol. 21, Issue 4, pp. 373-387. 2008.

[13] R. Domínguez Mora, O.A. Fuentes-Mariles, M.J. Arganis Juárez and A. Mendoza-Reséndiz. "Calculation of Bivariate Double Gumbel probability density function via a Genetic Algorithm: Application to Huites dam basin". Journal of Flood Engineering (IFE). Vol. 1, Issue 1, pp. 41-54. January-June, 2009.

[14] S.C. Chapra y R.P. Canale. "Métodos Numéricos para Ingenieros". Mc Graw Hill. México D.F, México. 2000.

[15] R. Domínguez Morea and M.L. Arganis Juárez. "Validation of methods to estimate design discharge flow rates for dam spillways with large regulating capacity". Hydrological Sciences Journal. Vol. 57, Issue 3, pp. 1-19. 2012.