

AVENIDA DE DISEÑO UTILIZANDO EL MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO INSTANTANEO

Domitilio Pereyra Díaz
Universidad Veracruzana

Irma Zitácuaro Contreras
Dirección General de Asuntos Ecológicos

Armando Hernández Trujillo
División Hidrométrica Golfo C.F.E.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el cálculo de la "avenida de diseño" para Espinal, Veracruz, lugar ubicado dentro de la cuenca del río Tecolutla; para esto se utilizó el modelo del hidrograma unitario instantáneo (h.u.i.). Este modelo permite conocer la "avenida de diseño" cuando es alimentado con las precipitaciones máximas que se puedan presentar en la región. Para conocer estas precipitaciones se seleccionaron 11 de las tormentas más desfavorables que se han presentado, en toda la cuenca, en los últimos 20 años. Los valores más desfavorables de cada estación, se maximizaron para duraciones de uno a cinco días, utilizando el modelo estadístico de Gumbel, con estas precipitaciones se generó la curva intensidad-duración-frecuencia de la cuenca. Estos valores se utilizaron para construir el hietograma de diseño. Este hietograma sirvió para alimentar el hidrograma unitario, de la tormenta registrada del 23 al 31 de agosto de 1981, representativo de las tormentas más desfavorables de la cuenca.

El modelo pronostica una avenida con un máximo de $29,063.7 \text{ m}^3/\text{s}$, para un período de retorno de 1000 años. Este valor es ligeramente mayor al gasto de $26,500 \text{ m}^3/\text{s}$ calculado por Pereyra y Hernández (1988) utilizando el modelo del hidrograma unitario tradicional.

INTRODUCCION:

Cuando se va a diseñar una obra de aprovechamiento o de protección, en muchas ocasiones el diseñador se encuentra que existe poca o ninguna información de mediciones directas que le permitan conocer la historia de los escurrimientos en el sitio de interés, por lo que tiene que recurrir a estimarlos a partir de los datos de precipitación.

La relación entre la precipitación y el escurrimiento es compleja, depende por una parte de las características fisiográficas de la cuenca y por otra de la distribución espacial y temporal de la lluvia en la misma.

Debido a lo complejo del fenómeno y a que la cantidad y la calidad de la información disponible varía de un lugar a otro, se han desarrollado una gran cantidad de métodos para relacionar la precipitación con el escurrimiento.

Dichos métodos van desde simples fórmulas empíricas, hasta modelos extremadamente desarrollados, basados en principio físicos (Viessman, et al., 1977; Raudikivi, 1979; Domínguez et al., 1980; Fuentes et al., 1981; Aparicio, 1989).

En este trabajo se estima la "avenida de



diseño" para Espinal, Ver., sitio ubicado dentro de la cuenca del río Tecolutla (fig.1). Debido a que no se cuenta con registros hidrométricos para el lugar del proyecto, se recurrió a estimar la avenida, en base a la precipitación máxima probable, utilizando el modelo del hidrograma unitario instantáneo (h. u. i.).

Modelo del hidrograma unitario instantáneo.

Este método se basa en el principio del hidrograma unitario tradicional (Fuentes et al., 1981; Pereyra y Hernández, 1988), y supone además, que la intensidad de la lluvia es variable en el tiempo (Fuentes, et al., 1981; Aparicio, 1989).

Supongase, que en una cuenca dada se dispone de información sobre la precipitación media para intervalos de tiempo Δt y que se conoce el hidrograma unitario asociado a una tormenta de la misma duración Δt . De acuerdo con la teoría del hidrograma unitario, si se presentará una tormenta compleja formada por varias tormentas, esta generaría un hidrograma que sería una superposición de los hidrogramas unitarios generados por cada una de ellas.

En términos generales puede decirse que si $U_1, U_2, \dots, U_{NQ}$ son las ordenadas del hidrograma unitario correspondiente a una duración de lluvia efectiva Δt ; el escurrimiento directo que produce una tormenta alimentada por un hietograma de ordenadas $P_1, P_2, \dots, P_{NP}$, correspondientes a intervalos de tiempo Δt , se puede estimar como

$$Q_i = \sum_{k=1}^i U_k P_{i-k+1}; i = 1, 2, \dots, NQ$$

Siendo, Q_i gasto del escurrimiento directo para el i -ésimo intervalo de tiempo, NQ número de ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo, NP número de ordenadas de precipitación y $NU = NQ - NP + 1$, número de ordenadas del hidrograma unitario.

Debido a la sensibilidad de la ec. 1 con respecto a las primeras ordenadas del hietograma de precipitación media de la cuenca, valores que no son tan exactos al ser estimados, y en menor grado a la no linealidad de la relación lluvia escurrimientos, las ordenadas del hidrograma unitario pueden tomar valores ilógicos. Este problema se reduce considerablemente al minimizar el error $e = \sum (e_i)^2$ que se conoce al estimar el escurrimiento directo. La minimización del error genera el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\sum_{i=1}^{NQ} U_i \phi_{PP}(i-j) = \phi_{PQ}(j-1); j = 1, 2, \dots, NU \quad (2)$$

donde:

$$\phi_{PP}(\sigma) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{NP} P_i P_{i+\sigma} + \sigma \\ 0 \end{cases}$$

, para $\sigma = 0, 1, 2, \dots, NP-1$

, para $\sigma \geq NP$

$$\phi_{PP}(\tau) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{NQ} P_i Q_{i+\tau} + \tau \\ 0 \end{cases}$$

, para $\tau = 0, 1, 2, \dots, NP-1$

, para $\tau \geq NU$

con $\phi_{PP}(-\tau) = P_{PP}(\tau)$, y considerando $P_i = 0$ para $i > NP$

Hidrograma unitario instantáneo para Espinal, Ver.

Después de analizar los hidrogramas generados por las tormentas más desfavorables, registradas en la cuenca del río Tecolutla, en los últimos 20 años, se considera como representativo de la región al hidrograma generado por la tormenta ocurrida del 24 al 31 de agosto de 1981, así también por ser la avenida

más grande registrada.

En las figs. 2 y 3 se muestra el hietograma de precipitación media efectiva y el hidrograma de escurrimiento directo generado por la tormenta de 1981. Lo anterior indica que $NP = 4$, $NQ = 7$ y $NU = 4$. Con estos valores y simplificando se obtuvo el sistema de ecuaciones (2a) para el Remolino, Ver. Ecuaciones que se consideraron representativas del Espinal, Ver., sitio del proyecto hidroeléctrico, por encontrarse este lugar a muy poca distancia aguas arriba

$$\begin{cases} 8.1U_1 + 5.5U_2 + 2.9U_3 + 0.73U_4 = 712.9 \\ 5.5U_1 + 8.1U_2 + 5.5U_3 + 2.9U_4 = 644.7 \\ 2.9U_1 + 5.5U_2 + 8.1U_3 + 5.5U_4 = 457.7 \\ 0.73U_1 + 2.9U_2 + 5.5U_3 + 8.1U_4 = 217.7 \end{cases} \quad (2a)$$

al resolver el sistema de ec. (2a) se obtuvieron las ordenadas del hidrograma unitario, el cual se muestra en la figura 4.

Avenida de diseño estimada.

Las precipitaciones máximas esperadas en un período de retorno $T_m = 1000$ años, según el modelo Gumbel, se muestra en las figs. 5 y 6. A las precipitaciones mostradas en la fig. 6, se les restó la infiltración media estimada por Pereyra y Hernández (1988), $\phi = 32.3$ mm/día, habiéndose obtenido con ello la precipitación efectiva de diseño (fig. 7).

Al alimentar la ecuación 1 con las ordenadas del hidrograma unitario (fig. 4) y las precipitaciones efectivas de diseño (fig. 7) se obtuvo el hidrograma de diseño (fig. 8).

CONCLUSIONES

La avenida de diseño estimada por el modelo del hidrograma unitario instantáneo generó un gasto máximo de $29.063.7 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que es ligeramente mayor al calculado por Pereyra y Hernández (1988) utilizando el modelo del hidrograma unitario tradicional, lo que

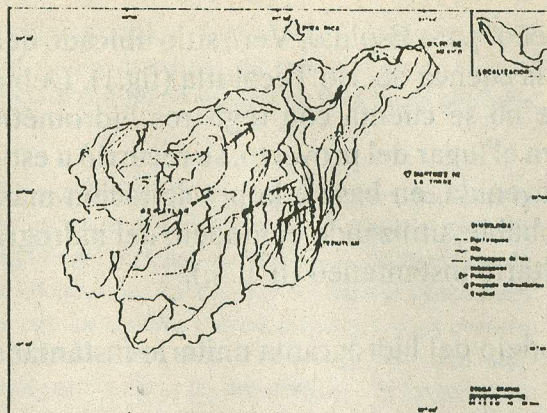


Fig. 1. Cuenca del río Iecolutia y sus principales subcuencas.

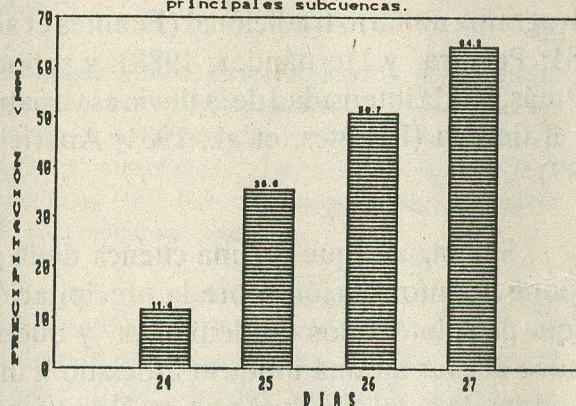


Fig. 2. Hietograma de precipitación media efectiva de la tormenta registrada

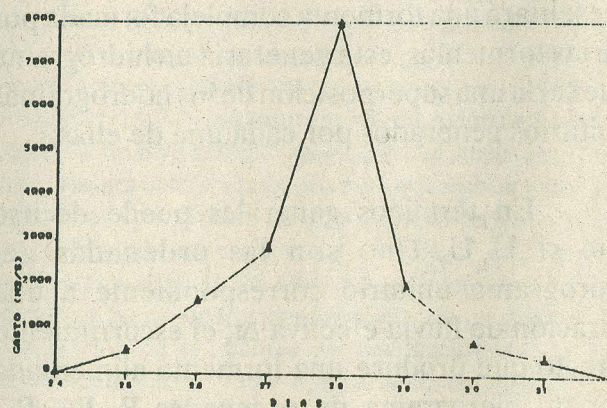


Fig. 3. Hidrograma de escurrimiento directo generado por la tormenta ocurrida en agosto de 1981.

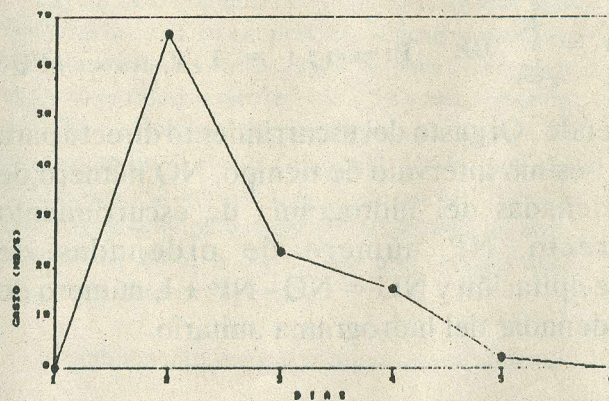


Fig. 4. Hidrograma unitario generado por la tormenta de 1981.

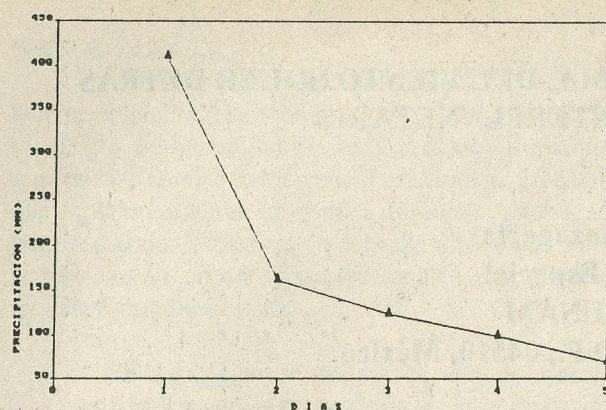


Fig. 5. Curva de intensidad-duración-frecuencia para $T_m=1000$ años.

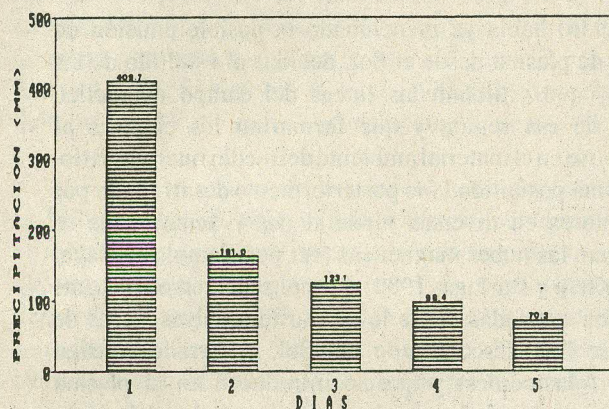


Fig. 8. Histograma de precipitación máxima esperada para $T_m=1000$ años.

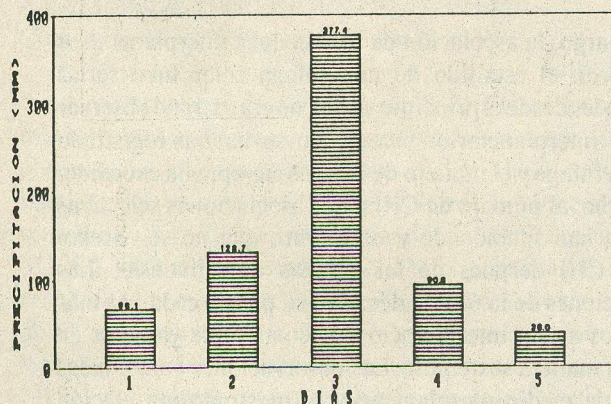


Fig. 7. Histograma de diseño.

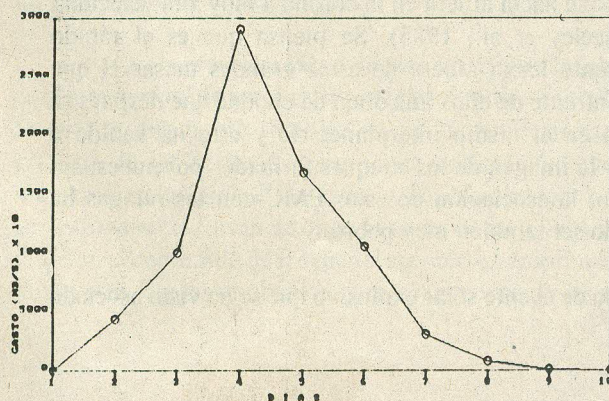


Fig. 8. Hidrograma de diseño

muestra la congruencia de los dos modelos.

En la fig. 8 se puede ver que el gasto máximo desaparece rápidamente, esto se debe a la fuerte pendiente que presenta la cuenca en su parte alta. Es recomendable que para diseñar la cortina, las compuertas y el vertedor de la obra, se tome muy en cuenta este gasto.

Lo anterior muestra conservadoramente, que si se puede utilizar el modelo del hidrograma unitario instantáneo para intervalos de tiempo Δt de un día; lo que permite aprovechar, en el diseño hidráulico, los registros de precipitación con que cuenta generalmente México. Quedando la opción de usar intervalos de tiempo menores a 24 horas para las regiones que cuenten con pluviógrafos.

REFERENCIAS:

Aparicio, M.F.J.; 1989: Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México.

Domínguez M. R., Fuentes M. O. y Franco V.;1980: Avenida de diseño. Manual de diseño de obras civiles, sección hidrotecnia. Comisión Federal de Electricidad. México.

Fuentes M. O., Domínguez M. R. y Franco V.; 1981 Relación entre precipitación y escurrimiento. Manual de diseño de obras civiles, sección hidrotecnia. Comisión Federal de Electricidad, México.

Pereyra D. D. y Hernández T. A.; 1989:
Avenida de diseño para el proyecto
hidroeléctrico Espinal, Ver. Memorias de la
reunión anual 1988 de la Unión Geofísica
Mexicana. Colima, México.

Raudikivi, A. J.; 1978: Hydrology : an advance introduction to hydrological processes and modelling. Pergamos press. Great Britain.