

FÓRMULA DE BELL AJUSTADA PARA EL CÁLCULO DE LAS CURVAS I-D-T_R A PARTIR DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Marcelino Del Ángel González y Ramón Domínguez Mora

Asociación Mexicana de Hidráulica del Sur de Tamaulipas
5ª Ave. No. 102, Col. Monteverde, Cd. Madero, Tam. 89420/ Circuito Escolar, Ciudad Universitaria,
Delegación Coyoacán. México 04510 D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería.
E-mail: mdag53@yahoo.com.mx/ rdm@pumas.iingen.unam.mx

Introducción

La Zona Conurbada del Sur de Tamaulipas se forma por los municipios de Tampico, Madero y Altamira, sobre la margen izquierda de la desembocadura del río Pánuco en el Golfo de México y las lagunas del Chairel y de Champayán que deben su origen al río Tamesí, afluente del río Pánuco en su desembocadura.

Se caracteriza por estar rodeada de agua por los los sistemas de lagunas que forma el río Tamesí en el Poniente, la desembocadura del río Pánuco al Sur, y el Golfo de México al Oriente. Por estas características, cuando ocurren las lluvias de verano, la zona se ve afectada por fuertes inundaciones que producen encharcamientos en sus avenidas y calles, hasta inundar amplias zonas habitacionales y comerciales, constituyendo un grave problema el desalojo de las aguas pluviales.

En este trabajo se resalta la importancia de contar con herramientas útiles para el cálculo de precipitaciones pluviales e intensidades de corta duración mediante métodos que hacen uso de registros de precipitaciones máximas en 24 hrs. Se utilizan los coeficientes que presenta un Mapa de la República Mexicana (Baeza, 2007), figura 1, para la determinación de precipitaciones máximas en una hora y se determinan las intensidades mediante la fórmula de Bell ajustada a lluvias regionales para la construcción de las curvas i-d-Tr.

El análisis tiene como objetivo, determinar las precipitaciones máximas para duraciones cortas, de 10 a 120 minutos principalmente, y se establece un criterio para el diseño de obras de protección contra inundaciones aplicable a cualquier región ajustando la fórmula a las lluvias regionales.

Ecuación original de Bell

Bell (1969) propuso una fórmula para determinar las curvas Intensidad-Duración-Período de retorno, a partir de las lluvias con duraciones hasta de 120 minutos, y permiten estimar la altura de lluvia para una cierta duración entre 5 y 120 minutos y período de retorno entre 2 y 100 años, si se conoce la altura de lluvia con duración de una hora.

La ecuación es la siguiente:

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_2^{60} [1]$$

La ecuación es válida para $2 \text{ años} \leq T \leq 100 \text{ años}$ y $5 \text{ minutos} \leq t \leq 120 \text{ minutos}$

Donde:

P_T^t , precipitación en mm para una duración de t minutos y período de retorno de T Años.

P_2^{60} , precipitación en mm para una duración de 60 minutos y período de retorno de 2 años.

t, duración de la lluvia entre 5 y 120 minutos, en minutos.

T, período de retorno en años.

La ecuación de Bell se puede separar en factores por duración y por período de retorno como se muestra más adelante.

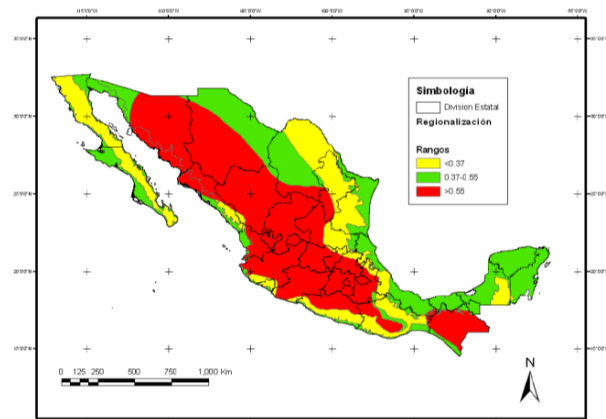


Figura 1.- Valores de K para la República Mexicana propuestos por Baeza Ramírez. Fuente: Baeza, 2007.

Ajuste de precipitaciones a una función de distribución

Los registros de lluvias de la estación climatológica Tampico, de la Zona Sur del Estado de Tamaulipas, México, fueron utilizados para el estudio, y mediante el programa AX.EXE del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 1997), para el ajuste de funciones de distribución de probabilidad, se encontró que la función de distribución que mejor se ajusta a la estación es:

Tampico: Gumbel Simple

En la tabla 1, se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas, ajustadas para la estación en estudio para diferentes períodos de retorno.

Tabla 1.- Precipitaciones máximas anuales en 24 horas ajustada a una función de distribución.

| Periodo de retorno | Estación Tampico |
|--------------------|--|
| Tr (años) | F. Distribución Gumbel simple (24 hrs) |
| 2 | 111.40 |
| 5 | 154.30 |
| 10 | 182.71 |
| 20 | 209.97 |
| 50 | 245.24 |
| 100 | 271.67 |
| 200 | 298.01 |
| 500 | 332.75 |

Análisis para duraciones menores que 24 horas

En la tabla 2, se presenta la relación de precipitaciones para un período de retorno y una duración d , y la precipitación para el mismo período de retorno y una lluvia de duración de 60 minutos, para distintos valores del coeficiente K , figura 1, elaborada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, (Domínguez y Franco, 2002).

Tabla 2.- Relación $\frac{P_T^d}{P_T^{60}}$ para diferentes valores de K , para el cálculo de la precipitación máxima en una hora $K = 0.46$; Zonas costeras Tampico-Madero-Altamira.

| D (min.) | K=.15 | K=.20 | K=.30 | K=.35 | K=.40 | K=.46 | K=.60 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.60 |
| 10 | 0.36 | 0.4 | 0.43 | 0.44 | 0.45 | 0.45 | 0.30 |
| 15 | 0.46 | 0.49 | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 0.57 | 0.47 |
| 30 | 0.67 | 0.7 | 0.74 | 0.75 | 0.77 | 0.78 | 0.59 |
| 60 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 120 | 1.49 | 1.41 | 1.32 | 1.28 | 1.25 | 1.23 | 1.18 |
| 240 | 2.23 | 1.99 | 1.72 | 1.62 | 1.53 | 1.47 | 1.34 |
| 360 | 2.81 | 2.44 | 2 | 1.86 | 1.72 | 1.63 | 1.43 |
| 480 | 3.32 | 2.81 | 2.23 | 2.04 | 1.86 | 1.75 | 1.49 |

Los valores de precipitaciones pueden ser generados directamente mediante la relación de $\frac{P_T^d}{P_T^{60}}$ dada en la tabla 2,

con el coeficiente k , o bien, haciendo uso de la ecuación 1. Mediante la ecuación 1, los resultados de su aplicación dependen totalmente de la precipitación en 60 minutos (1 hora) y un período de retorno de 2 años y no toman en cuenta las variaciones con relación al período de retorno que, deben obtenerse de un ajuste directo como el mostrado en la tabla 1, por lo que otra forma de usar esta ecuación y que permite incorporar lo obtenido para las precipitaciones máximas en 24 horas, es usar sólo el segundo término entre paréntesis (lo que depende de la duración) y multiplicarlo por la precipitación de 60 minutos para cada periodo de retorno. De esta forma la fórmula de Bell se convierte en la siguiente expresión (Del Ángel y Domínguez, 2016):

Ecuación propuesta:

$$\text{Donde } P_T^t = (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_T^{60} \quad [2]$$

P_T^t , precipitación en mm para una duración de t minutos y período de retorno de T años

P_T^{60} , precipitación en mm para una duración de 60 minutos y período de retorno de T años

t , duración de la lluvia entre 5 y 120 minutos, en min

T , período de retorno en años

Procedimiento

En este resumen se presenta la fórmula de Bell ajustada a lluvias máximas regionales para la Conurbación del Sur del Estado de Tamaulipas, México. El problema principal en la utilización de la fórmula como fue concebida por su autor, consiste en la obtención de las precipitaciones máximas para una hora de duración.

Para ajustar las precipitaciones mediante la fórmula de Bell, se calculan los valores de las precipitaciones multiplicando el coeficiente k de la tabla 2, por los valores de las diferentes duraciones, obteniendo las precipitaciones para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Determinados los valores de precipitación con el coeficiente k , se procede a ajustar las precipitaciones mediante la ecuación 2 para la estación climatológica en estudio.

Con las precipitaciones se determinan las intensidades y curvas intensidad –duración–período de retorno.

Referencias bibliográficas

- Baeza, R. C.** (2007). *Estimación regional de factores de conectividad para el Cálculo de relaciones intensidad-duración-frecuencia*. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM. Octubre 2007.
- Bell, F. C.** (1969). *Generalized rainfall duration- frequency relationships*. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Vol. 95, 1969, pp. 311-327.
- CENAPRED** (1997). Ajuste de funciones de distribución de probabilidad, Programa AX.EXE. Centro Nacional de Prevención de desastres. México, 1997.
- Domínguez, R. y Franco C.** (2002). *Análisis regional para la obtención de precipitaciones de diseño asociadas a duraciones menores de 2 h*. Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad de la Habana, Cuba, 2002, pp. 234-241.
- Del Ángel, M. y Domínguez, R.** (2016). *Ecuaciones Universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración*. Memorias del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad de Lima, Perú. Sept. 2016.