

# RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE LA LLUVIA REGISTRADA EN CHAPINGO, MÉXICO

## INTENSITY-DURATION-FREQUENCY RELATIONSHIP OF THE RAINFALL REGISTERED IN CHAPINGO, MEXICO

**Laura Alicia Ibáñez-Castillo\***; Abel Lorenzo Cabrera; Ramón Arteaga Ramírez;  
**Mario A. Vázquez Peña.**

Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.  
Correo-e: libacas@gmail.com (\*Autor para correspondencia)

### RESUMEN

Las ecuaciones intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la lluvia tienen aplicaciones en el diseño de obras urbanas de drenaje, y sirven de apoyo al cálculo de caudales en pequeñas cuencas rurales. En este trabajo se construyeron y compararon las ecuaciones IDF de la lluvia a partir de las tormentas máximas anuales de pluviógrafo y pluviómetro registradas en la Estación Meteorológica Chapingo, Estado de México, durante el periodo de 1975-2005. La metodología de construcción de ecuaciones IDF a partir de pluviógrafo consistió en: a) obtención de las alturas de lluvia en milímetros de las tormentas de la zona de estudio, para las duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 min y para 2, 3, 4, 5, 10, 15 y 24 h, b) transformación de las alturas en intensidades, c) obtención de los periodos de retorno correspondientes a las intensidades, y d) construcción de ecuaciones que representan las ecuaciones IDF a partir de regresiones lineales múltiples. La metodología de construcción de ecuación IDF a partir de pluviómetro fue semejante a la de pluviógrafo, sin embargo; la diferencia estuvo en que a partir de relaciones empíricas, utilizando como dato principal la lluvia en 24 h, se obtuvieron las intensidades para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 min y para 2, 3, 4, 5, 10, 15 y 24 h, cada una para diferentes periodos de retorno. Este último paso en la metodología del pluviómetro conduce a errores importantes en relación a la realidad captada por el pluviógrafo; sin embargo, en muchas partes de México sólo se cuenta con información pluviométrica. Al ser ejecutadas pruebas estadísticas de comparación de ambos métodos se detectó que la ecuación IDF obtenida con pluviómetro subestima a la ecuación IDF real obtenida con pluviógrafo, y que dicho error crece a medida que aumenta el periodo de retorno para el cual se estima la intensidad de la lluvia.

**Palabras clave adicionales:** ecuación IDF de la precipitación, pluviómetro, pluviógrafo.

### ABSTRACT

Intensity-duration-frequency (IDF) equations of rainfall have applications in the design of urban drainage works and are also used in the estimation of flows in small rural watersheds. In the present work rainfall IDF equations were created and compared based on pluviometer and pluviograph information recorded on the weather station of Chapingo during the period of 1975-2005. The methodology of creating IDF equation based on pluviograph consisted of: a) obtaining heights of rainfalls in millimeters of the studied area, for the durations of 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 min and for 2, 3, 4, 5, 10, 15 and 24 h, b) transforming heights to intensities, c) obtaining return periods for each intensity, and d) obtaining multiple linear regression equations. The methodology of creating IDF equation based on pluviometer was similar to the pluviograph, however the difference were the empirical relations, using as a main data the duration 24 h rainfall, the intensities for the durations of 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 min and for 2, 3, 4, 5, 10, 15 and 24 h were obtained, each one for different return periods. In this last step, the methodology of pluviometer carried out important errors related to the data obtained with pluviograph; however in many parts of Mexico only pluviometric information is available. A statistical comparison between both methods was performed and it was observed that IDF rainfall equation obtained with pluviometric underestimate the real IDF equation obtained with pluviograph; this error increases with the return period of the rainfall intensity.

**Additional key words:** IDF equation of precipitation, pluviometer, pluviograph.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Jacob (2004), los cambios intensos desde los años de 1950 a la actualidad en la cuenca del Valle de México presentan un incremento continuo del volumen de agua de lluvia que tiene que ser captada, controlada y conducida para evitar afectaciones por inundaciones. Es decir, el diseño de obras de drenaje urbano es una actividad común y necesaria. Por otra parte metodologías para usar el método racional en la estimación de caudales en pequeñas cuencas rurales es un tema de interés del ingeniero (Campos-Aranda, 2008; Campos-Aranda, 2010; Martínez y Campos, 2010). Para realizar ambas actividades es necesario contar con curvas intensidad-duración-frecuencia de la lluvia, y es recomendable que se generen a partir de información de pluviógrafo (Programa Hidrológico Internacional, 2007) lo cual no siempre ocurre en México, incluyendo el hecho de que con las que se cuenta tampoco son siempre las más actualizadas (SCT, 2010; Campos-Aranda, 2010). Con un buen diseño y construcción de las curvas IDF se ayuda a tomar medidas o decisiones que pueden reducir el daño y riesgos ocasionados por lluvias extremas, permitiendo a los ingenieros realizar diseños más confiables de las obras públicas relacionadas con las vías terrestres y los sistemas de alcantarillado municipal y doméstico (SCT, 2010; Cervantes y Landeros, 2004).

La manera más confiable de obtener las curvas IDF de la lluvia es a partir de la información histórica registrada por los pluviógrafos de por lo menos 25 años (Aparicio, 2006), pero en México la red pluviográfica es escasa; aunque es posible que la red de pluviógrafos sea un poco más densa porque centros de enseñanza e investigación cuentan con ellos. El gobierno del Distrito Federal, México, cuenta con una red de 70 estaciones pluviométricas en el área metropolitana. En el año 2000, el servicio meteorológico nacional (SMN, 2010) arrancó un programa de instalación de estaciones automáticas que reportan la precipitación en tiempo real para periodos de 10 min, información que podría ser un sustituto de la información de pluviógrafo. Sin embargo, hasta el momento la información obtenida por este medio tiene una longitud de registro muy corto, que impide que sea utilizada para obtener ecuaciones IDF de la lluvia.

Dado que a nivel nacional la red pluviográfica es escasa y resulta difícil obtener ecuaciones IDF a partir de pluviógrafos, existen métodos empíricos para obtenerlas a partir de la información histórica de pluviómetros que reportan la precipitación cada 24 h (Campos, 1998). Aunque dichos métodos fueron desarrollados a partir del análisis de información de otros países, son usados en México confiando en ellos. En este trabajo se tuvo como objetivo generar una ecuación IDF de la precipitación a partir de pluviógrafos y otra a partir de pluviómetros, y comparar así qué tan bien la relación empírica a partir de pluviómetro se ajusta a la realidad de la de pluviógrafo. Se eligió la estación meteorológica Chapingo, México, México, para la realización de esta investigación porque dicha estación cuenta con longitudes simultáneas de registro de lluvia medida con pluviógrafo y pluviómetro de más de 20 años, lo cual, según la bibliografía, es una longitud de registro confiable.

La estación Chapingo se encuentra en funcionamiento en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México, México, y sus límites territoriales son: al norte, Tepetlaoxtoc, Papalotla, Chiautla y Chiconcuac; al sur, Chimalhuacán, Chicoloapan e Ixtapaluca; al oeste, Atenco; y al este, los estados de Tlaxcala y Puebla; las coordenadas geográficas de la estación son: latitud: 19° 50' y longitud: 98° 88'. Cabe mencionar que el municipio se encuentra dentro de la Región Hidrológica 26 (Alto Pánuco) y una pequeña parte en la Región Hidrológica 18 (Río Balsas) (Centro Nacional de Desarrollo Municipal, 2001). Chapingo se caracteriza por tener un clima templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9 °C, con heladas escasas y una precipitación pluvial media anual de 624 mm con lluvias concentradas entre los meses de abril a octubre (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2009). La precipitación máxima histórica en 24 h fue de 84.5 mm y ocurrió el 14 de octubre de 1959; para el periodo analizado, 1975-2005, la máxima fue de 61.6 mm y ocurrió el 12 de octubre de 1990.

Los datos de intensidad de la lluvia se obtuvieron a partir de pluviogramas comprendidos entre 1975 y 2005. Los pluviogramas son gráficos en los cuales se puede leer la lluvia al detalle de incrementos de tiempo de 10 min. Las series de datos de la información pluviométrica, para el desarrollo de este trabajo, correspondiente a las lluvias máximas anuales en 24 h para el periodo de 1975 - 2005, fueron obtenidas en la base de datos climatológica ERIC III (Extractor Rápido de información Climática) y comprobados mediante consulta directa de los registros que se tienen en la propia estación meteorológica. Desde luego que en lugares donde no se cuenta con pluviógrafos y que por cuestiones burocráticas sea difícil obtener la información directamente de la estación meteorológica, es confiable usar la base de datos ERIC III, que es muy fácil de obtener y de amplia difusión y circulación entre los ingenieros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de alturas máximas de precipitación anual del pluviógrafo

En esta etapa se analizaron las bandas de registro de los pluviógrafos, para lo cual se realizaron diversos muestreos en la estación meteorológica para el periodo de estudio, donde se tomaron las gráficas diarias de cada mes y se observó la precipitación con mayor pendiente, es decir, aquellas bandas donde las alturas de intensidad eran máximas en menor duración, se partió con mediciones de 08:00 de la mañana de un día hasta las 08:00 h del día siguiente, para una duración de 24 h; luego fue necesario desplazarse en intervalos de tiempo de forma discreta y estable, con el propósito de ir seleccionando para cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 min y para 2, 3, 4, 5, 10, 15 y 24 h.

### Obtención de la ecuación IDF a partir de pluviógrafo

Las alturas máximas de precipitación leídas en los pluvio-

gramas se transformaron en intensidades para cada duración de la lluvia (Ecuación 1):

$$i = \frac{P}{D} \quad (1)$$

Donde  $i$  es intensidad de la lluvia en mm h<sup>-1</sup>;  $P$  es tirante o altura de lámina de lluvia, y  $D$  es duración de la lluvia en h. Una vez realizado lo anterior, se ordenaron los datos de intensidad en forma descendente y se procedió a asignar un periodo de retorno  $T$  con la Ecuación (2), también conocida como Fórmula de Weibull.

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (2)$$

Donde  $n$  es el número de años con registros de intensidades de lluvia, y  $m$  el número de orden del dato de intensidad de lluvia ordenado de mayor a menor. El producto final de procesar la información de pluviógrafo fue una tabla con tres columnas: intensidad (obtenida a partir de las láminas leídas en pluviogramas), duración (escogidas varias duraciones comprendidas entre 5 y 1,440 min) y periodo de retorno correspondiente calculado con la Ecuación (2). Una vez procesados los pluviogramas y contando con dicho producto final informativo, se realizó el ajuste de regresión lineal múltiple a los datos anteriores, teniendo un sistema como el de la Ecuación (3) (Aparicio, 2006; Programa Hidrológico Internacional, 2007):

$$\begin{aligned} \sum y &= Na_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 \\ \sum(x_1 y) &= a_0 \sum x_1 + a_1 \sum(x_1^2) + a_2 \sum x_1 x_2 \\ \sum(x_2 y) &= a_0 \sum x_2 + a_1 \sum(x_1 x_2) + a_2 \sum(x_2^2) \end{aligned} \quad (3)$$

donde  $N$  es el número de datos y las incógnitas son  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ ;  $x_1$ ,  $x_2$  y  $y$  son los logaritmos del periodo de retorno, duración y la intensidad. Una vez que se pudo plantear el sistema de ecuaciones lineales (3) con la información obtenida a partir de la lectura de pluviogramas de la estación Chapingo, dicho sistema fue resuelto, con lo cual se encontraron los valores de los coeficientes de  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ . A partir del planteamiento del problema es factible demostrar las siguientes relaciones (Aparicio, 2006; Programa Hidrológico Internacional, 2007):

$$\begin{aligned} a_0 &= \log k \\ a_1 &= m \\ a_2 &= -n \end{aligned} \quad (4)$$

De esta manera se obtuvieron los valores de  $k$ ,  $m$  y  $n$  para construir la relación de intensidad-duración-frecuencia de la precipitación (Ecuación 5), siendo estos parámetros constantes;  $d$  es la duración de la precipitación o lluvia en minutos u horas,  $i$  es la intensidad en mm/h y  $T$  es el periodo de retorno.

$$i = \frac{kT^m}{d^n} \quad (5)$$

Al graficar la Ecuación (5) se dio lugar a una familia de curvas que relacionan duración con intensidad de la lluvia, donde cada curva corresponde a un periodo de retorno. Por otro lado, si dichas curvas son graficadas en escala logarítmica (Programa Hidrológico Internacional, 2007) se convierten en una familia de rectas.

### Obtención de la ecuación IDF a partir de pluviómetro

Chen (1964), citado por Campos (1998), desarrolló un método empírico basado en observaciones de sitios meteorológicos de Estados Unidos de América que contaba con registros simultáneos de lluvia obtenidos con pluviógrafo y pluviómetro. Así, la principal aportación de Chen fueron relaciones empíricas y algunas gráficas que captaban ese empirismo y que podían ser utilizadas en otros lugares del mundo. Por ello, la parte de este trabajo de obtener una ecuación IDF a partir de información de pluviómetro estuvo basada en dicha metodología.

Con respecto a la información de pluviómetro, la obtención de datos se realizó para un intervalo de tiempo de 24 h a partir de los registros directamente en la estación meteorológica. Se eligió el mismo periodo de datos como aquella obtenida en pluviógrafos: 1975 al 2005. La secuencia para obtener la ecuación IDF a partir de pluviómetro fue la siguiente (Chen, 1964 citado por Campos, 1998):

- Se propusieron los periodos de retorno ( $T$ ) requeridos.
- Se determinaron las magnitudes de precipitación máxima diaria para los periodos de retorno requeridos ( $P_{24}^T$ ) a partir de los datos pluviométricos y se ajustaron los datos a una función de distribución tipo I Gumbel (Linsley *et al.*, 1977). Aun cuando Linsley *et al.* (1977) recomienda esta distribución para ajustar los datos de precipitación en 24 h, previamente se puede realizar una prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.
- Las precipitaciones obtenidas se multiplicaron por 1.13, debido a la corrección por el intervalo fijo de observación (Campos, 1998)
- Se determinó la lluvia de una hora y periodo de retorno 2 años ( $P_1^2$ ) a partir de la Figura 1 (Chen, 1964, citado por Campos 1998). En dicha figura cada curva está relacionada a un número de días con tormentas convectivas. Y fue obtenida empíricamente por Chen (1964, citado por Campos 1998).
- Se obtuvo el cociente lluvia-duración ( $R$ ), el cual resultó de dividir la lluvia de una hora de duración ( $P_1^2$ ) entre la lluvia de 24 horas ( $P_{24}^2$ ), ambas con un periodo de retorno  $T$  de 2 años (Ecuación 6):

$$R = \frac{P_1^2}{P_{24}^2} \quad (6)$$

Donde  $(P_1^2)$  y  $(P_{24}^2)$  son la lluvia de 1 y 24 horas de duración con periodo de retorno T igual a 2 años.

- Se calcularon los tirantes de lluvia, para diferentes

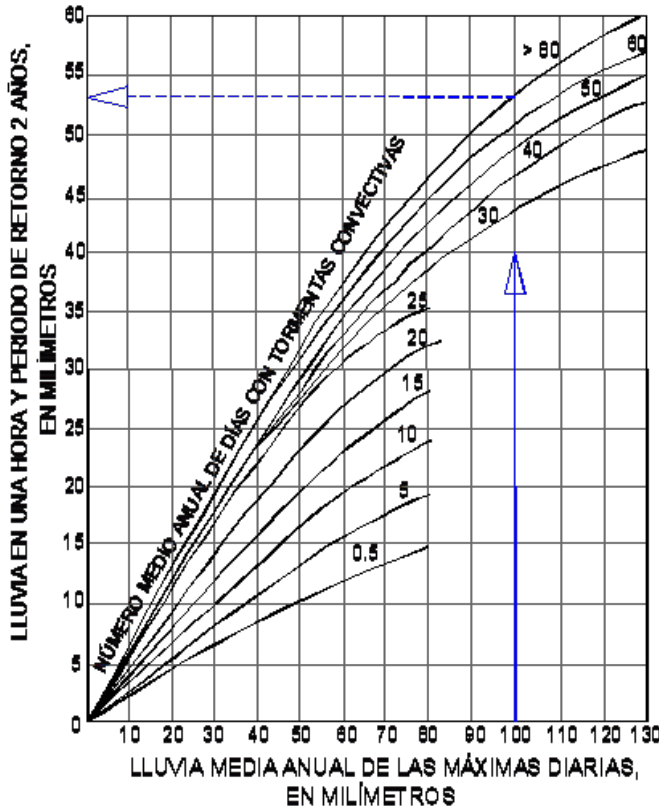


FIGURA 1. Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno de dos años

duraciones y periodos de retorno basados en la fórmula de Chen (Ecuación 7):

$$P_t^T = \frac{aP_1^{10} \log(10^{2-X} T^{X-1}) \cdot t}{60 \cdot (t + b)^c} \quad (7)$$

Donde:  $P_t^T$  = intensidad de lluvia en mm h<sup>1</sup>, correspondiendo a un periodo de retorno T años y una lluvia de t minutos de duración;  $P_1^{10}$  = intensidad de lluvia asociada a 10 años de periodo de retorno y una duración de 1 hora; a, b, c = parámetros que dependen del cociente de lluvia  $P_1^{10}/P_{24}^{10}$ , se determinaron por medio de la Figura 2 (Chen 1964 citado por Campos, 1998);

X, relación de frecuencia es calculada como  $X = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}}$

Donde  $P_{24}^{100}$  = Tirante de precipitación de 24 h de duración y periodo de retorno de 100 años y  $P_{24}^{10}$  = Tirante de precipitación de 24 h de duración y periodo de retorno de 10 años. Ambas

variables obtenidas previamente en el paso b de esta secuencia.

- Los tirantes de lluvia obtenidos del punto anterior se convirtieron a intensidades (Ecuación 1) con sus respectivos periodos de retorno.
- Se construye el sistema de ecuaciones (Ecuación 3) y se solucionó mediante regresión lineal múltiple de manera semejante a como se hizo para la información obtenida a partir de pluviógrafo, y que ya se explicó en párrafos anteriores.

**Obtención del error entre ecuaciones IDF de pluviógrafo y de pluviómetro**

En este trabajo se partió del supuesto que la ecuación IDF obtenida a partir del pluviógrafo es la más confiable, ya que

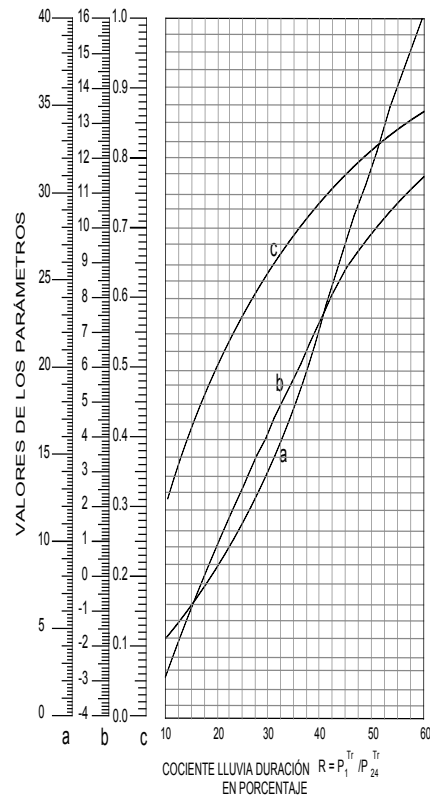


FIGURA 2. Parámetros a, b y c para la ecuación empírica de Chen para estimar curvas IDF con pluviómetro

dicho aparato y forma de medición de la lluvia permiten sacar con fidelidad las intensidades de la lluvia para cualquier intervalo de tiempo, lo cual no ocurre con el método del pluviómetro, el cual sólo tiene el dato de precipitación diaria en 24 h y a partir de ese dato único y relaciones empíricas obtiene las intensidades para duraciones menores a 24 h. Por ello, para conocer el error existente entre intensidades obtenidas a partir de pluviógrafo e intensidades estimadas a partir del pluviómetro se midió el error del método del pluviómetro.

El error de estimación del pluviómetro se midió con el estadístico llamado la Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del



Error (RCCME) o también denominado Error Medio Cuadrático (EMC), lo cual se expresa con la Ecuación (8):

$$RCCME = \sqrt{\frac{Sr}{n-1}} \quad (8)$$

donde:  $Sr$  = suma de los cuadrados de los residuos entre los datos de intensidad estimados con pluviógrafo y los datos estimados con pluviómetro;  $n$  = número de datos. RCCME tiene las unidades de los datos comparados, en este caso,  $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Ahora la proporción de la varianza de los datos observados explicados por el modelo estimado se da por el coeficiente de eficiencia (Ecuación 9):

$$CE = 1 - \frac{Sr}{So} \quad (9)$$

Donde  $So = \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2$  y  $\bar{x}$  = media de las intensidades estimadas con pluviógrafo. CE es adimensional.

Medeiros *et al.* (2005), en un análisis estadístico menciona un Porcentaje de Error Relativo (RE), cuya expresión es la Ecuación (10):

$$RE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i)^2} \right]^{0.5} * 100 \quad (10)$$

donde:  $O_i$  = valor observado;  $E_i$  = es el valor estimado. RE es adimensional. En esta ecuación de nuevo lo "observado" fue la intensidad estimada con la ecuación obtenida a partir de pluviógrafo, y lo "estimado" fue lo estimado a partir de la ecuación obtenida con datos de pluviómetro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el procedimiento descrito anteriormente se obtuvieron las ecuaciones IDF para el método de pluviógrafo y pluviómetro, y ambas ecuaciones fueron comparadas. Al sustituir los parámetros como se indica en las Ecuaciones (4) y (5), se tiene la ecuación de las curvas IDF para datos de pluviógrafo de la estación Chapingo en el periodo 1975-2005 (Ecuación 11):

$$i = \frac{375.79T^{0.399}}{d^{0.806}} \quad (11)$$

Donde:  $i$  = intensidad de la precipitación, en  $\text{mm}/\text{h}$ ;  $T$  = Frecuencia o Periodo de retorno, en años;  $d$  = duración de la lluvia, en min. La Ecuación (12) representa las curvas IDF para datos de pluviómetro de la estación Chapingo en el periodo 1975-2005:

$$i = \frac{4136.942T^{0.164}}{d^{0.717}} \quad (12)$$

La Figura 3 muestra la familia de rectas IDF generadas por el método del pluviógrafo. La Figura 4 muestra la familia de rectas IDF generadas por el método del pluviómetro. En general, existe una recta para cada periodo de retorno  $T$ . A medida que se incrementa la duración de la tormenta ( $D$ ) disminuye la intensidad ( $i$ ), y a medida que se incrementa el periodo de retorno crece el valor de intensidad.

A manera de resumen general, la Figura 5 presenta el comportamiento de las estimaciones del error de generar la ecuación IDF con el pluviómetro en lugar de hacerlo con el pluviógrafo. El error (RCCME y RE) de estimar las curvas IDF con pluviómetro en lugar de con pluviógrafo crece a medida que crece el periodo de retorno. Asimismo, la eficiencia (CE) del método del pluviómetro disminuye a medida que se incrementa el periodo de retorno.

En México para diseñar drenaje es muy común utilizar periodos de retorno de 20, 50 y 100 años. La Figura 6 muestra un comparativo entre estimar intensidad con la ecuación del pluviómetro y con la ecuación del pluviógrafo para periodo de retorno  $T = 50$  años. Por otra parte, para diseño de estructuras carreteras de cruce un tiempo de concentración del exceso de agua comúnmente duraría unos 15 min. Así que si se usan las rectas IDF de la Figura 6 de 50 años de periodo de retorno, se entra con duración de 15 min, usando la ecuación del pluviógrafo implicaría usar para diseño una intensidad de  $202 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ; usando la ecuación del pluviómetro implicaría usar para diseño una intensidad de  $116 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ . Se puede apreciar en la Figura 6 que la ecuación obtenida a partir de pluviómetro subestima la real del pluviógrafo. En este punto es importante recordar que las relaciones empíricas del método de Chen para pluviómetro fueron desarrolladas bajo condiciones de los Estados Unidos de América, por lo que no son confiables para México. Así que las conclusiones parecen encaminarse a: a) desarrollar un nuevo método para el pluviómetro basado en datos mexicanos, b) se demanda la necesidad de información pluviográfica con una longitud de registro mínima de 20 años (Aparicio, 2006), o c) usar las relaciones IDF del pluviómetro para periodos de retorno de hasta unos 20 años cuando el error no es tan crítico todavía.

## CONCLUSIONES

Al comparar las ecuaciones IDF de pluviómetro y pluviógrafo, los errores de estimar intensidades con la ecuación IDF del pluviómetro se incrementan a medida que se incrementa el periodo de retorno. Las intensidades que se obtienen de la ecuación de pluviómetro para la construcción de curvas IDF, subestiman a las obtenidas por la ecuación de pluviógrafo. Dado que el método de Chen fue desarrollado para condiciones de Estados Unidos de América, se recomienda desarrollar un nuevo método para el pluviómetro basado en datos mexicanos. Existe una clara demanda de información pluviográfica con una longitud

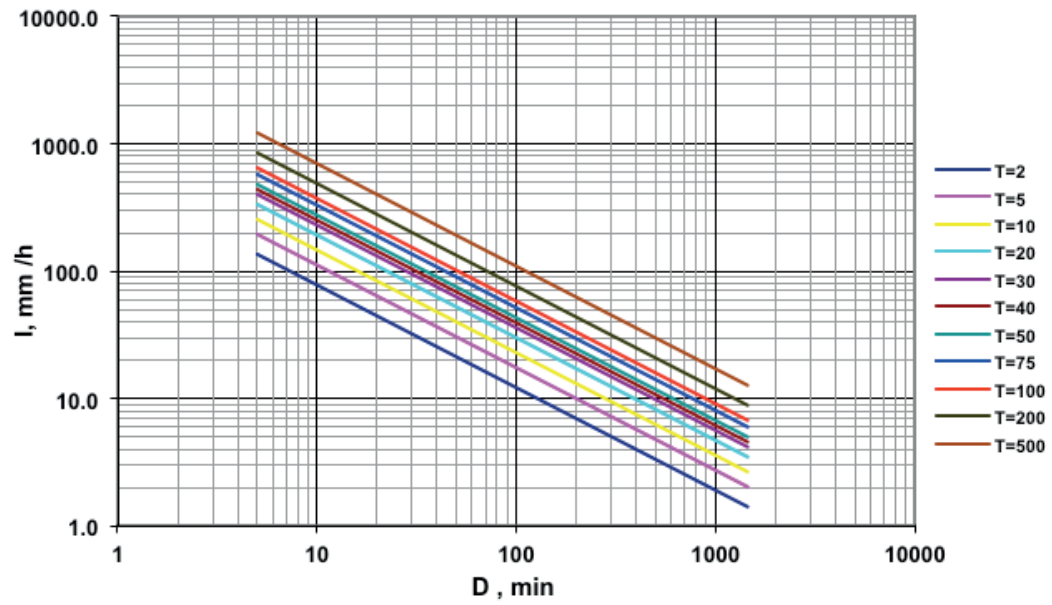


FIGURA 3. Familia de curvas IDF para la Estación Meteorológica Chapingo a partir de información pluviográfica

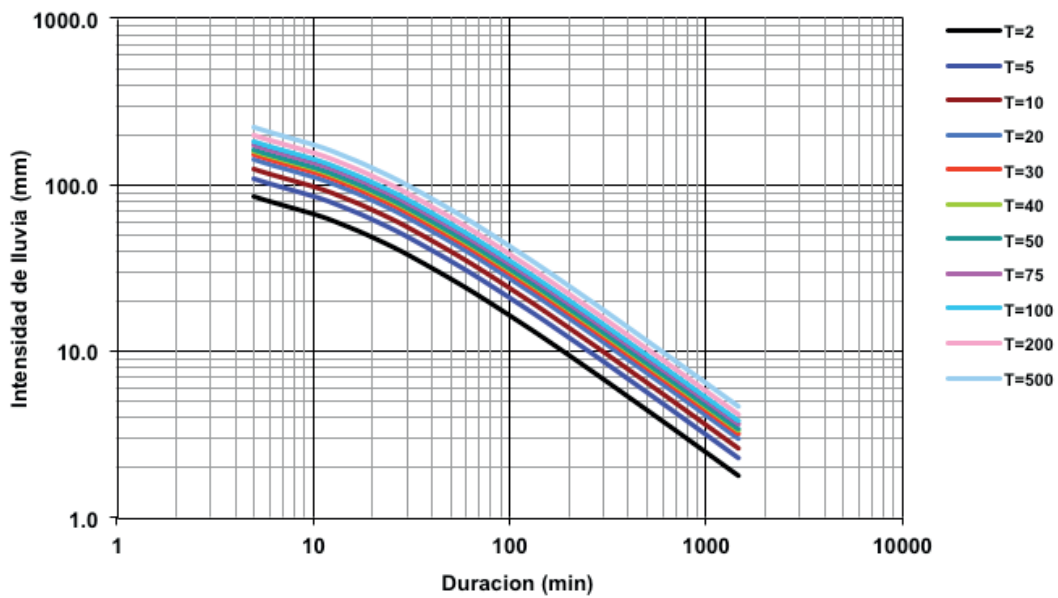


FIGURA 4. Familia de curvas IDF para la Estación Meteorológica Chapingo a partir de información pluviométrica

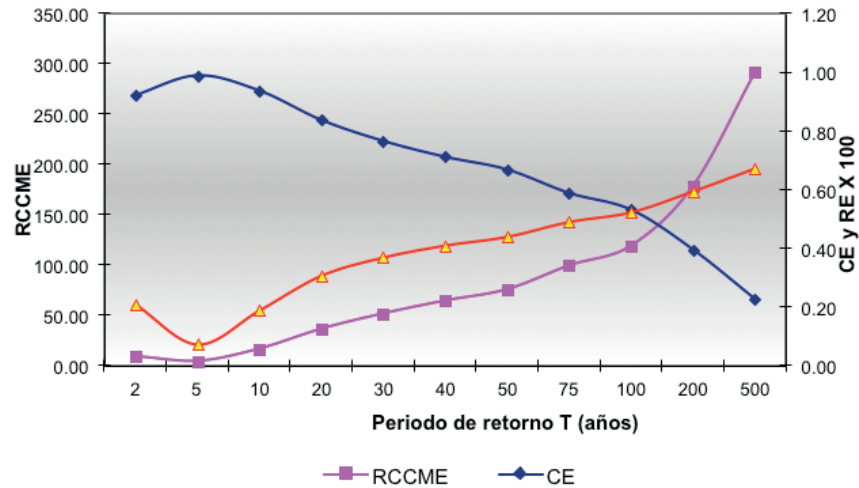


FIGURA 5. El error de las curvas IDF con pluviómetro en ausencia de pluviógrafo.

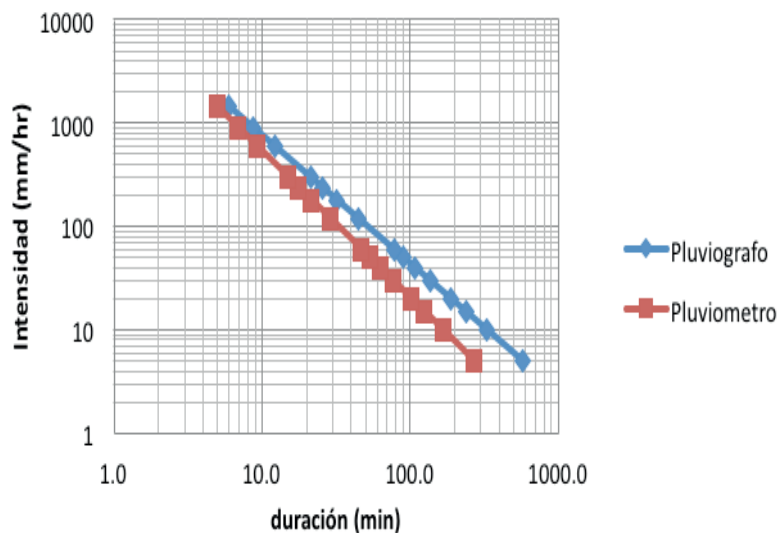


FIGURA 6. Comparación de ecuaciones IDF para periodo de retorno  $T = 50$  años

de registro mínima de 20 años para poder generar ecuaciones IDF confiables. El modelo de curva IDF para pluviómetro no tiene diferencia con el del pluviógrafo los primeros 20 años, por lo que no se recomienda usar la ecuación IDF del pluviómetro para periodos de retorno mayores a ese intervalo.

#### LITERATURA CITADA

- Aparicio M. F. J. 2006. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa. México, D. F.
- Campos-Aranda D. F. 2010. Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la república mexicana. Ingeniería Investigación y Tecnología 11 (2): 179-188.
- Campos-Aranda D. F. 2008. Calibración del método racional en ocho cuencas rurales menores de 1650 km<sup>2</sup> de la región hidrológica No. 10 (Sinaloa), México. Agrociencia 42: 615-627.
- Campos A. D. F. 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
- Centro Nacional de Desarrollo Municipal. 2001. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de México.
- Cervantes O.; Landeros J. 2004. Curvas de Intensidad - Duración - Periodo de retorno de las tormentas máximas registradas en Tacubaya D. F. XVIII Congreso Nacional de Hidráulica Asociación Mexicana de Hidráulica.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica III, versión 2.0. Base de datos climatológica. Jiutepec, Morelos.

- Jacob V. M. A. 2004. La expansión de la mancha urbana y el incremento en los escurrimientos superficiales desalojados de la cuenca del Valle de México. XVIII Congreso Nacional de Hidráulica. Asociación Mexicana de Hidráulica.
- Linsley R. K.; Kohler M. A.; Paulhus J. L. H. 1977. Hidrología para ingenieros. Segunda edición, McGraw Hill. México, D. F.
- Martínez M. S. I.; Campos A. D. F. 2010. Algoritmo para estimar características físicas en cuencas rurales y su aplicación en el calibrado del método racional, en la región hidrológica No. 12 parcial (Río Santiago). *Agrociencia* 44: 393-408.
- Medeiros B.; Hall A.; Stevens B. 2005. What controls the mean depth of the PBL. *Journal of Climate* 18: 3157-3172.
- Programa Hidrológico Internacional. 2007. Curvas Intensidad- Duración-Frecuencia para la zona centro sur de Chile. Documento Técnico no. 7. UNESCO.
- STC. 2010. <http://sct.gob.mx>. Secretaría de Comunicaciones y Transportes Consultado el 8 de Octubre del 2010.
- SMN. 2010. <http://smn.cna.gob.mx/productos/emas/> Servicio Meteorológico Nacional. Consultado el 5 de Octubre del 2010.