

ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE DECAIMIENTO AREAL DE LLUVIAS DE DISEÑO PARA COSTA RICA

Sebastián Arias Chacón

Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Costa Rica.

Comisión Paritaria Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones,

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Costa Rica.

Comisión Asesora en Cuenca e Ingeniería en Aguas, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Costa Rica.

Acueducto, Municipalidad de Oreamuno, Cartago, Costa Rica.

E-mail: sach_cr@yahoo.com

Introducción

Los Coeficientes de Decaimiento Areal (CDA) también conocidos como: Factores de Abatimiento Areal (FAA), Factores de Reducción Areal (por sus siglas en inglés: ARF). Son fórmulas o modelos matemáticos empíricos ajustados que dependen de la duración del evento y de la extensión uniforme a cubrir por la tormenta, ya sea relacionado con el área propiamente o con el radio de esa área con las que es posible graficar una serie de curvas que permiten determinar la profundidad de precipitación promedio sobre un área interés que usualmente suele ser el área de la cuenca o área tributaria para el desarrollo de modelos de lluvia-escorrentía.

La mayoría de expresiones para determinar matemáticamente los CDA, relacionan el área o distancia de influencia de la tormenta y su duración; aunque existen expresiones más limitadas en las que solamente relacionan el área de la tormenta, teniendo que ajustar la expresión para cada duración por separado.

Normalmente las lluvias tienen un núcleo de alta intensidad media que decrece a medida que se aleja del centro de la lluvia. Las curvas CDA asumen que el patrón de lluvia de proyecto ocurre uniformemente en todos los puntos del área de drenaje y en forma circular con una reducción de la intensidad de la lluvia en función de su duración a partir del centro del núcleo de la tormenta.

La elaboración de estos ábacos o curvas de CDA habitualmente se generan de manera regional en diferentes partes del mundo dependiendo de la extensión del territorio, características topográficas y del clima (principalmente de distribución espacial y temporal de la lluvia).

Principalmente los gráficos o ecuaciones de CDA se basan en el estudio de tormentas convectivas que poseen un comportamiento más local y definido en comparación a las tormentas producto de perturbaciones ciclónicas generalizadas.

Los caudales en áreas pequeñas tienen una alta probabilidad de ser cubiertas por las precipitaciones en toda su área de estudio, y por ende las mayores descargas podrían estar relacionadas directamente con las mayores lluvias registradas. Sin embargo, en un área más grande no sucede así, ya que las lluvias fuertes aisladas pueden no haber causado una escorrentía extrema. (Svensson & Jones, 2010)

Las curvas CDA en algunas ocasiones vienen acompañadas o sustituidas por una expresión matemática que corresponde al mejor ajuste del modelo de dichas curvas.

Es por esta razón que el presente estudio se enfocó en validar un modelo de CDA desarrollado a nivel internacional para Costa Rica, y a la vez calibrar una función que mejor se ajustara al modelo seleccionado.

Objetivo

El objetivo general del presente trabajo es analizar el efecto del decaimiento areal de las láminas de lluvia de tormentas registradas en Costa Rica para así validar una serie de curvas

utilizadas a nivel internacional que sean aplicables en el ámbito del territorio costarricense y finalmente calibrar una ecuación que represente a dicha familia de curvas de forma analítica.

Materiales y métodos

Este estudio se centró en completar los siguientes pasos:

1. Valores de CDA de lluvias de larga duración: Se determinaron mediante mapas de isoyetas de eventos de lluvia diaria de gran incidencia en el país, registrados y elaborados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
2. Valores de CDA lluvias de corta duración: Para valores de precipitación con duraciones inferiores a los diarios (pluviométricos), se calcularon los valores de CDA de tormentas mediante el uso de los datos de acumulados que se hayan registrado simultáneamente por diferentes estaciones pluviográficas.
3. Validación del modelo: Se compararon los resultados obtenidos de los valores de CDA diarios como de las duraciones inferiores a los diarios (pluviométricos) con los valores obtenidos de curvas (gráficas) de ajuste de valores de CDA de otros países, que validen la adopción de un modelo representativo para el país.
4. Ajuste de la mejor función: Una vez definido el modelo más representativo se ajustó una función que relacionara la duración "D", el área de influencia de la tormenta "A" y el valor de CDA probando diferentes alternativas de ecuaciones (logarítmicas, exponenciales, entre otras) propuestas a nivel internacional, y eligiendo la que presente el menor error en los resultados al comparar los valores originales con los valores predichos con el modelo ajustado

Resultados

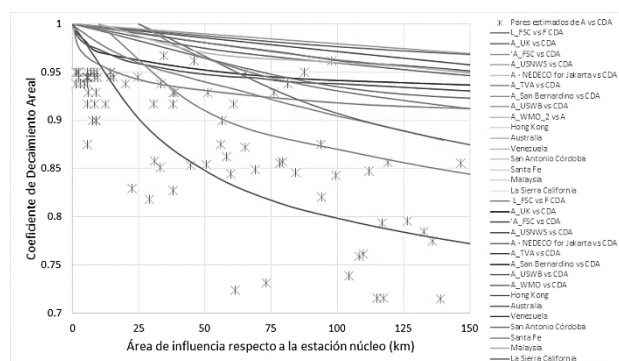


Figura 1.- Validación con datos calculados de CDA para Costa Rica de lluvias acumuladas en un día de las curvas de A vs CDA para tormentas con duraciones de 24 horas generadas en diferentes modelos a nivel mundial.

En este estudio se compararon los resultados obtenidos con los expuestos por gráficas construidas por otros autores en distintas partes del mundo, y se procedió a validar aquella gráfica de CDA vs L o de CDA vs A que mejor representara o se ajustara a los valores de duraciones altas (24 horas) como a las de duraciones menores a 24 horas.

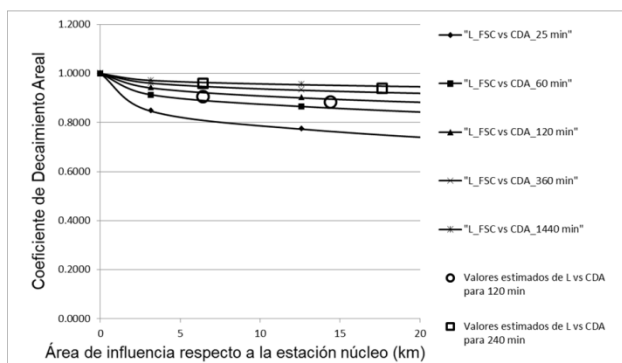


Figura 2.- Detalle de la gráfica de validación con datos calculados de CDA para Costa Rica de lluvias acumuladas con duraciones menores a un día y radios de influencia pequeños de las curvas de L vs CDA para tormentas con duraciones menores a un día de Factor de reducción areal de la lluvia a partir de la distancia del centro del núcleo de la tormenta propuesto para Inglaterra ("L_FSC") por el Floods Steering Committee (FSC). (Stephenson, 1981).

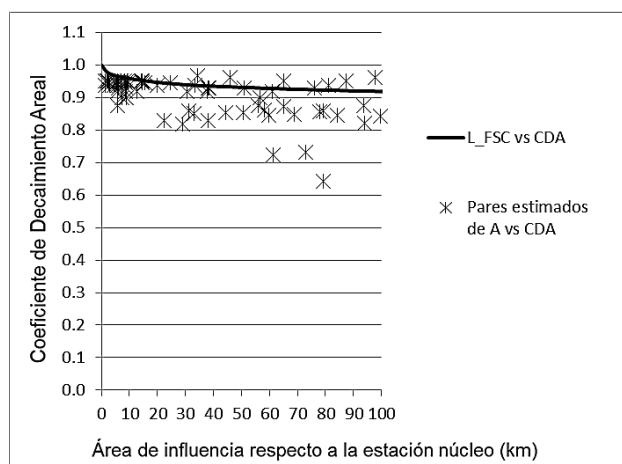


Figura 3.- Gráfica de validación con datos calculados de CDA para Costa Rica de lluvias acumuladas en un día de las curvas de A vs CDA para tormentas con duraciones de 24 Horas de "L_FSC".

Una vez validada la gráfica (Figura 1, Figura 2 y Figura 3), se procedió a extraer los pares CDA vs L (o CDA vs A) que conforman cada curva de la gráfica que corresponden a una duración dada "D". Después de tabulados los datos se procedió a probar diferentes alternativas (ajustes potenciales, logarítmicos, entre otros) de fórmulas básicas que relacionan las variables CDA, A (que se determina basado en L) y D en un plano matemático basado en la función objetivo (ajuste seleccionado). El plano matemático se planteó fuese una superficie continua en 3 dimensiones (Figura 4), donde sus ejes X, Y y Z serían equivalentes a las direcciones de cada variable evaluada correspondientes a: D, A y CDA respectivamente.

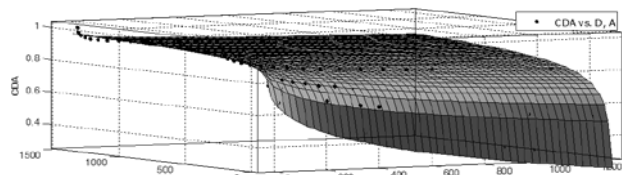


Figura 4.- Plano en tres dimensiones del ajuste 4 de la de A vs CDA de para la gráfica "L_FSC".

Las alternativas que se seleccionaron para la evaluación del ajuste fueron:

$$P_A = P_p - \frac{[P_p * A * D^c]}{[a + b * A]} \rightarrow CDA = \frac{P_A}{P_p} = 1 - \frac{[A * (D^c)]}{[a + b * A]} \quad [1]$$

$$CDA = K_A = 1 - a * \left[\frac{\sqrt{A}}{(b * D + c)} \right] \quad [2]$$

$$CDA = 1 - e^{(-a * (D^c))} + e^{(-a * (D^c) - b * A)} \quad [3]$$

$$CDA = ARF = 1 - [a * (A^b - c * \log D) * D^{-d}] \quad [4]$$

$$CDA = R_D = \frac{1}{[a + b * (D^{-c}) * A]} \quad [5]$$

$$CDA = \frac{a * (D^b)}{[A + c]^d} \quad [6]$$

Tabla 1.- Distribución del error relativo calculado del ajuste 4 de la de A vs CDA de para la gráfica "L_FSC".

D [min]	25	60	120	360	1440
Longitud [km]	Área [km2]	CDA	CDA	CDA	CDA
0	0	-1.1481	-0.7846	-0.5804	-0.3600
1	3	1.1676	2.7597	2.5234	1.2466
2	13	0.5707	2.7461	1.9536	0.4765
3	28	-0.4743	2.0922	1.2996	-0.1956
4	50	-0.5887	1.4984	0.8189	-0.5658
5	79	-1.3328	0.8889	0.3048	-0.9118
6	113	-1.8231	0.0502	-0.2412	-1.1029
7	154	-1.6839	-0.3495	-0.3570	-1.0612
8	201	-1.6664	-0.6343	-0.4823	-1.0781
9	254	-1.4683	-0.9139	-0.4820	-1.0918
10	314	-1.0017	-0.7783	-0.2336	-0.8600
11	380	-0.9897	-1.1142	-0.0682	-0.9307
12	452	-0.9113	-1.1157	0.3559	-0.6885
13	531	-0.7228	-0.9935	0.7758	-0.5801
14	616	-0.4054	-0.8295	1.2829	-0.3920
15	707	0.2141	-0.6629	2.0106	-0.0577
16	804	0.0936	-0.5206	2.4879	-0.0350
17	908	0.0658	-0.5065	3.1816	0.1266
18	1018	-0.2708	-0.2464	3.9128	0.3555
19	1134	-0.5606	-0.2359	4.6703	0.4896
20	1257	-0.4939	0.1008	5.4424	0.7835

General model:

$$f(x,y) = 1 - [a * ((y^b) - (c * (\log x))) * (x^d - d)]$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.5383 (0.4861, 0.5905)$$

$$b = 0.2379 (0.227, 0.2488)$$

$$c = 0.02516 (-1.218e+04, 1.218e+04)$$

$$d = 0.4348 (0.427, 0.4425)$$

$$\log x = 3.436 (-1.664e+06, 1.664e+06)$$

Goodness of fit:

$$SSE: 0.01118$$

$$R\text{-square}: 0.9966$$

$$\text{Adjusted R-square}: 0.9965$$

$$RMSE: 0.01057$$

Figura 5.- Resumen de los resultados del ajuste 4 de A vs CDA de para la gráfica "L_FSC".

Conclusiones

- Tanto para el caso de tormentas menores a 24 horas como para tormentas de 24 horas de duración se validó que de todas las gráficas evaluadas de los estudios realizados por diferentes estudios realizados a nivel mundial se verificó que la familia de curvas de CDA propuesto para Inglaterra ("L_FSC") por el Floods Steering Committee (FSC) es el que mejor representa al tipo de distribución espacial de las lluvias de diseño para Costa Rica.
- De las 6 alternativas de ajuste evaluadas para la obtención de una solución analítica para una función de CDA para Costa Rica fue la opción cuatro ($CDA = ARF = 1 - [a * (A^b - c * \log D * D - d)]$). Debido a que fue la que presentó el menor error relativo (menor al 3%) para todas las duraciones y áreas (o longitudes) de influencia de la tormenta.

Referencias bibliográficas

- Stephenson, D.** (1981). "Developments in water science, volume 14: Stormwater hydrology and drainage". *Elsevier Scientific Publishing Company*. Amsterdam, Netherlands.
- Svensson, C. & Jones, D.** (2010). "Review of methods for deriving areal reduction factors". *Journal of Flood Risk Management*, 3. *NERC (CEH)*. Swindon, UK.