

**VI Congreso Nacional de Recursos Hídricos
y Saneamiento Ambiental**

**Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia
para el Valle Central de Costa Rica**

**Ing. Rafael Murillo Muñoz, MSc.
Unidad de Estudios Hidrológicos
Escuela de Ingeniería Civil, U.C.R.**

Resumen

En el Valle Central de Costa Rica la distribución de la precipitación no es uniforme a lo largo de toda su extensión. Consecuentemente, una descripción adecuada de las intensidades de lluvia dentro del Valle Central no puede lograrse con base en el uso de unas pocas estaciones medidoras de precipitación.

Por ello, este trabajo presenta el cálculo de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF) para diez estaciones pluviográficas ubicadas en el Valle Central de Costa Rica. En la elaboración de éstas curvas se hace diferencia entre tormentas que tengan duraciones mayores a 60 minutos y aquellas cuya duración es igual o inferior a ese valor, obteniéndose así, dos relaciones para cada una de las estaciones analizadas. El uso de estas 10 estaciones permite alcanzar una mejor descripción de las intensidades de lluvia dentro del Valle Central de Costa Rica.

1 Introducción

Uno de los parámetros fundamentales en el desarrollo y análisis de proyectos en muy diversas áreas constituye la intensidad de la lluvia, pues éstas junto con la distribución temporal de la precipitación pluvial determinarán en la mayoría de los casos la magnitud de las obras a realizar.

Así mismo, el comportamiento de las intensidades a través de la duración de la tormenta, modifica en forma apreciable la respuesta de la cuenca tanto en tiempo como en volumen de agua escurrida. Esta situación se torna más crítica en cuencas urbanas, como es el caso de la mayoría de las ubicadas dentro del Valle Central, por lo que su conocimiento se convierte en herramienta indispensable para el proyectista y el diseñador.

En la estimación de eventos extremos de intensidades existen dos grandes metodologías y varias formulaciones dentro de cada una de ellas. En la primera metodología, se establecen relaciones de Precipitación-Duración-Frecuencia (relaciones PDF) y en donde se relaciona la altura de precipitación con el periodo de retorno y con la duración de la tormenta. La segunda metodología se basa en la elaboración de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF) y en las que se relaciona directamente la intensidad de la lluvia, su duración y el periodo de retorno.

En ambos casos, la duración se relaciona con el tiempo de respuesta de la cuenca en estudio, mientras que la selección del periodo de retorno está determinado fundamentalmente por condiciones de riesgo, economía y el tipo de trabajo a realizar entre otros.

2 Relaciones de Precipitación-Duración-Frecuencia (relaciones PDF)

Las relaciones de Precipitación-Duración-Frecuencia se emplean para la generalización de la precipitación esperada en un intervalo de tiempo, ya que permiten aprovechar la red de pluviómetros existente en la zona de interés. Debido a esto, las relaciones PDF se utilizan generalmente para describir grandes áreas.

Las relaciones de PDF se basan en el empleo de factores que relacionan las diferentes duraciones de precipitación a una duración específica escogida como base. De igual manera, relacionan los valores esperados para los diferentes periodos de retorno a un determinado T escogido como base. Esta metodología se basa en el supuesto de que existe una relación lineal entre la precipitación buscada y la precipitación máxima diaria esperada.

El empleo de estas relaciones no es reciente, autores como Hershfield (1962), Reich (1963), Bell (1969) y Guswami (1972) las han desarrollado o utilizado en diferentes regiones del mundo. En Costa Rica, relaciones de PDF han sido desarrolladas por Murillo (1994, 1995) para la estimación de intensidades de lluvia en la Cuenca del Río Virilla así como en otras regiones con información limitada.

3 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF)

Para la elaboración de curvas IDF es necesario contar con al menos un pluviógrafo diario en el área de interés, y es por esto que son muy utilizadas para describir puntualmente o en áreas pequeñas la intensidad de la lluvia. Estas curvas pueden ser obtenidas por varios procedimientos, tres de los cuales se resumen a continuación.

El primero de ellos es mediante la utilización de las series máximas anuales en cada intervalo de tiempo considerado para las intensidades, y cualquiera de las distribuciones extremas de probabilidad; o bien, mediante el empleo de series parciales en cada duración. Un ejemplo de esta metodología lo constituye el trabajo de Günter y Alfaro (1992).

El segundo procedimiento de obtención de intensidades fue desarrollado por Chen (1983) y se basa en el uso de una expresión desarrollada en los Estados Unidos. Sin embargo, Kothyari y Garde (1992) mostraron que la expresión desarrollada por Chen no es aplicable para la estimación de intensidades en la India. La validez de este procedimiento para las condiciones de Costa Rica no ha sido verificada aún por lo que su aplicación directa no es aconsejable.

El tercer procedimiento para la elaboración de curvas IDF es quizá la forma más conocida. Este procedimiento utiliza la expresión general

$$i = \frac{C T^m}{(t + d)^n} \quad (1)$$

donde C, m, n y d son coeficientes que deben ser obtenidos de los datos observados. Para la obtención de los coeficientes se pueden emplear métodos gráficos o métodos de correlación lineal múltiple. Una descripción detallada del cálculo de éstos coeficientes o de cada uno de los tres procedimientos para obtener intensidades esta fuera del alcance de este trabajo por lo que el lector interesado es referido a la literatura especializada (e.g. Chen, 1983; Günter y Alfaro, 1992; Murillo, 1994).

4 Curvas IDF para el Valle Central de Costa Rica

Las curvas IDF constituyen información básica para el planeamiento y el diseño de muy diversos proyectos y obras civiles. En Costa Rica han existido algunos intentos de caracterizar el comportamiento de las intensidades de lluvia con base en unas pocas estaciones (e.g. Vargas, 1953; Gamboa, 1969; Günter y Alfaro, 1992). Sin embargo, es bien conocido que dentro del Valle Central la distribución de la precipitación no es uniforme a lo largo de toda esta región. Esta no uniformidad es producto principalmente de la formación de un frente de brisa que se origina por el choque de los flujos de aire provenientes del mar Caribe y los provenientes de la costa pacífica.

Considerando lo anterior, una descripción adecuada de las intensidades de lluvia dentro del Valle Central de Costa Rica no puede lograrse con base en el uso de unas pocas estaciones medidoras de lluvia tal y como se pretendió en el pasado. Es por ello, que para un periodo de registro comprendido entre el año de 1970 a 1990 inclusive, diez estaciones pluviográficas (de un total de 11 con dicho registro) fueron analizadas con el fin de lograr una mejor caracterización de la región de interés. Las estaciones utilizadas son las siguientes

84001 San José	84075 Cooperativa de café, Naranjo
84021 A. J. Santamaría	84096 Sabana Norte
84034 Embalse La Garita	84111 Santa Lucía
84046 San Josecito, Heredia	84115 Sabanilla, U. C. R.
84074 Aeropuerto Pavas	69505 Vara Blanca

Adicionalmente, los parámetros de las curvas IDF que se presentan en este trabajo fueron obtenidos mediante series parciales para la expresión general dada por la ecuación (1); para ellos se realizaron lecturas directamente de las bandas pluviográficas para intervalos de 5, 10, 15, 20, 30 y 60 minutos así como para 2, 6, 12 y 24 horas. En el cálculo de los coeficientes de la ecuación (1) se empleó el procedimiento de correlación lineal múltiple descrito por Murillo (1994) y el parámetro de ajuste "d", se obtuvo por medio de la opción de optimización no lineal que provee la hoja electrónica QUATTRO.

Los Cuadros N° 1 y N°2 presentan los valores de los coeficientes para la ecuación de las curvas IDF en cada estación estudiada.

Cuadro N°1
Coeficientes de las curvas IDF para
duraciones de tormenta inferiores o iguales a 60 minutos

Estación	C	m	n	d	r ²	r
San José	466.802	0.156	0.555	8.768	0.965	0.982
Aeropuerto	355.830	0.131	0.445	0.000	0.963	0.981
La Garita	431.764	0.150	0.492	7.617	0.950	0.975
San Josecito	430.474	0.160	0.522	9.036	0.955	0.977
Pavas	445.609	0.132	0.518	5.441	0.946	0.973
Naranjo	584.873	0.131	0.601	5.982	0.962	0.981
Sabana Norte	902.865	0.159	0.740	10.301	0.956	0.978
Santa Lucía	358.921	0.166	0.414	1.582	0.943	0.971
Sabanilla	203.870	0.143	0.361	0.000	0.961	0.981
Vara Blanca	236.691	0.145	0.428	0.000	0.983	0.991

Cuadro N°2
Coeficientes de las curvas IDF para
duraciones de tormenta mayores de 60 minutos.

Estación	C	m	n	d	r ²	r
San José	1507.594	0.205	0.825	0.000	0.957	0.978
Aeropuerto	5042.872	0.183	1.020	33.030	0.941	0.970
La Garita	5364.445	0.237	1.051	30.900	0.927	0.963
San Josecito	4716.071	0.151	0.977	59.875	0.953	0.976
Pavas	1559.032	0.178	0.845	6.626	0.960	0.980
Naranjo	3049.924	0.221	0.926	53.441	0.952	0.976
Sabana Norte	2998.354	0.242	0.969	49.085	0.965	0.982
Santa Lucía	3614.656	0.123	0.923	0.000	0.912	0.955
Sabanilla	1013.837	0.272	0.765	0.000	0.962	0.981
Vara Blanca	4701.639	0.164	0.995	50.285	0.925	0.962

Finalmente el Cuadro N°3 presenta algunos valores de intensidad de lluvia calculados con base en los coeficientes expuestos anteriormente. Es importante de notar que existen algunas diferencias en los valores de intensidad estimados para estaciones cercanas, mostrándose así la no uniformidad espacial de las intensidades dentro del Valle Central.

Cuadro N°3
Intensidades de lluvia (en mm/hr) para
algunas duraciones y periodos de retorno

Duración	10 minutos			15 minutos		
Estación	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años
San José	121.7	137.4	161.4	106.7	120.5	141.6
Aeropuerto	157.5	172.4	194.3	131.5	143.9	162.2
La Garita	134.1	148.7	170.6	118.6	131.5	150.9
San Josecito	119.5	133.6	154.7	105.8	118.3	137.0
Pavas	133.5	146.3	165.1	115.4	126.5	142.8
Naranjo	136.4	149.4	168.5	115.8	126.8	143.0
Sabana Norte	125.7	140.3	162.3	106.8	119.2	137.9
Santa Lucía	170.1	190.8	222.3	146.6	164.5	191.6
Sabanilla	111.9	123.6	140.9	96.7	106.8	121.7
Vara Blanca	111.7	123.5	141.1	93.9	103.8	118.6

5 Comentario final

Las intensidades de lluvia dentro del Valle Central de Costa Rica no presentan una distribución espacial uniforme, por el contrario, presentan importantes variaciones con respecto a la ubicación geográfica. Más aún, es probable que en la zona donde se forma el frente de brisa que afecta el Valle Central se produzcan núcleos de máximas intensidades de precipitación.

Las curvas IDF presentadas en este trabajo muestran la presencia de altas intensidades de lluvia en toda la región. Valores superiores a los 120 mm/hr en diez minutos son frecuentes. Por su parte, en las estaciones A. J. Santamaría y Santa Lucía se registran valores de intensidad superiores a los 150 mm/hr en diez minutos, lo cual indica la presencia de un núcleo de precipitación intensa en esa zona. Estos núcleos es factible que se presente en otras zonas del Valle Central.

Por ello, la aplicación de las curvas IDF calculadas en este trabajo por parte del proyectista y del diseñador lleva implícito la selección adecuada de la estación o curva representativa para el área de interés. Esta selección no debe basarse únicamente en criterios de proximidad sino también en consideraciones hidrológicas y meteorológicas, pues la no consideración de éstos dos criterios puede conducir a resultados erróneos.

6 Referencias

- BELL, F. C. (1969). "Generalized rainfall-Duration-Frequency relationships". Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 95(HY1), 311-327.
- CHEN, C.L. (1983). "Rainfall Intensity-Duration-Frequency formulas". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 109(12) 1603-1621.
- GAMBOA, R. (1969). Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes de carreteras. Proyecto Final de Graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil. San José, Costa Rica.

GUSWAMI, A. C. (1972). "Short duration rainfall depth-duration-frequency map of India". Proceedings of the Second International Hydrology Symposium: Decision with inadequate hydrologic data. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A., 48-56

GÜNTER V., W., y Alfaro, M. (1992). Las intensidades de las tormentas en los Centros Urbanos más importantes de Costa Rica. Informe final al Colegio de Ingenieros Civiles. Escuela de Ciencias Geográficas, UNA. Heredia, Costa Rica.

HERSHFIELD, D. M. (1962). "Extreme rainfall relationships". Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 88(HY6), 73-92.

KOTHYARI, U. C., and Garde, R. J. (1992). "Rainfall Intensity-Duration-Frequency formula for India". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(2), 323-336.

MURILLO M., R. (1994). Estudio de Intensidades de lluvia en la Cuenca del Río Virilla. Proyecto Final de Graduación presentado en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

MURILLO M., R. (1995). "Metodología para la elaboración de estudios de intensidades de lluvia en cuencas con información limitada". V Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica.

REICH, B. M. (1963). "Short duration rainfall intensity estimates and other design aids for regions of sparse data". Journal of Hydrology, 1(1), 3-28.

VARGAS, C. (1953). Análisis de condiciones de precipitación lluviosa máxima para la ciudad de San José basado en 36 años de observaciones. Tesis de Grado presentada en la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Ingeniero Civil. San José, Costa Rica.

7 Simbología

- C: coeficiente;
- d: parámetro de ajuste;
- i: intensidad de la lluvia en milímetros por hora;
- m: exponente;
- n: exponente;
- r: coeficiente de correlación lineal múltiple;
- r^2 : coeficiente de determinación lineal múltiple;
- t: duración de la tormenta en minutos; y
- T: periodo de retorno en años.