

# Empirical Relationship between Maximum Daily Precipitation and Shorter Duration Precipitation

Hansen Roque, Bach.<sup>1</sup>, Ada Arancibia, PhD.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, hroquer@uni.pe,

<sup>2</sup> Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, aarancibias@uni.edu.pe

*Abstract– Information on short-lived storms (pluviographic information or continuous rainfall records) is necessary for the planning and design process of hydraulic projects such as urban and road drainage systems, soil erosion control, and flood control planning. However, in most cases, the information is incomplete or not available, and often only information on maximum rainfall in 24 hours is available. This study presents an empirical relationship that relates maximum rainfall in 24 hours with rainfall of shorter duration: from 5 min to 120 min, rainfall is related by a base rainfall of known duration and return period. The relationship obtained has the same form as the relationship proposed in the study by Bell (1969). It relates the duration, return period and a base precipitation (precipitation of 60 min duration and 10 years of return period). Unlike the relationship proposed by Bell, we seek that the base precipitation has a duration equal to the maximum daily precipitation since in the Peruvian territory, there is more information of this type and with very few pluviographic stations or automatic stations that have a record of short-term rainfall.*

*Keywords – Precipitation, duration, return period, storms.*

*Abstract– La información sobre tormentas de corta duración (información pluviográfica o de registros continuos de precipitaciones) es necesaria para el proceso de planificación y diseño de proyectos hidráulicos como sistemas de drenaje urbano y vial, control de erosión de suelos y planificación del control de inundaciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos la información es incompleta o no se encuentra disponible, y a menudo solo se cuenta con información de precipitaciones máximas en 24 horas. Este estudio presenta una relación empírica que relaciona precipitaciones máximas en 24 horas con precipitaciones de menor duración, esto es: de 5 min a 120 min, las precipitaciones se relacionan mediante una precipitación base de duración y periodo de retorno conocidos. La relación obtenida tiene la misma forma que la relación propuesta en el estudio de Bell (1969). Relaciona la duración, periodo de retorno y una precipitación base (precipitación de 60 min de duración y 10 años de periodo de retorno). A diferencia de la relación propuesta por Bell, buscamos que la precipitación base tenga una duración igual a la precipitación máxima diaria, esto debido a que en el territorio peruano se cuenta con más información de este tipo y con muy pocas estaciones de tipo pluviográfica o estaciones automáticas que cuentan con registro de precipitaciones de corta duración.*

*Keywords – Precipitación, duración, periodo de retorno, tormentas.*

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.197>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390  
DO NOT REMOVE

# Relación Empírica entre Precipitaciones Máximas Diarias y Precipitaciones de Menor Duración

Hansen Roque, Bach.<sup>1</sup>, Ada Arancibia, PhD.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, hroquer@uni.pe,

<sup>2</sup> Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, aarancibias@uni.edu.pe

*Abstract– Information on short-lived storms (pluviographic information or continuous rainfall records) is necessary for the planning and design process of hydraulic projects such as urban and road drainage systems, soil erosion control, and flood control planning. However, in most cases, the information is incomplete or not available, and often only information on maximum rainfall in 24 hours is available. This study presents an empirical relationship that relates maximum rainfall in 24 hours with rainfall of shorter duration: from 5 min to 120 min, rainfall is related by a base rainfall of known duration and return period. The relationship obtained has the same form as the relationship proposed in the study by Bell (1969). It relates the duration, return period and a base precipitation (precipitation of 60 min duration and 10 years of return period). Unlike the relationship proposed by Bell, we seek that the base precipitation has a duration equal to the maximum daily precipitation since in the Peruvian territory, there is more information of this type and with very few pluviographic stations or automatic stations that have a record of short-term rainfall.*

**Keywords –** Precipitation, duration, return period, storms.

*Abstract– La información sobre tormentas de corta duración (información pluviográfica o de registros continuos de precipitaciones) es necesaria para el proceso de planificación y diseño de proyectos hidráulicos como sistemas de drenaje urbano y vial, control de erosión de suelos y planificación del control de inundaciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos la información es incompleta o no se encuentra disponible, y a menudo solo se cuenta con información de precipitaciones máximas en 24 horas. Este estudio presenta una relación empírica que relaciona precipitaciones máximas en 24 horas con precipitaciones de menor duración, esto es: de 5 min a 120 min, las precipitaciones se relacionan mediante una precipitación base de duración y periodo de retorno conocidos. La relación obtenida tiene la misma forma que la relación propuesta en el estudio de Bell (1969). Relaciona la duración, periodo de retorno y una precipitación base (precipitación de 60 min de duración y 10 años de periodo de retorno). A diferencia de la relación propuesta por Bell, buscamos que la precipitación base tenga una duración igual a la precipitación máxima diaria, esto debido a que en el territorio peruano se cuenta con más información de este tipo y con muy pocas estaciones de tipo pluviográfica o estaciones automáticas que cuentan con registro de precipitaciones de corta duración.*

**Keywords –** Precipitación, duración, periodo de retorno, tormentas.

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país megadiverso, pues cuenta con diversidad de paisajes, biomas y ecosistemas. Los Andes, la

cadena montañosa más larga del mundo cruza longitudinalmente el territorio peruano y se elevan a más de 6000 metros sobre el nivel del mar, lo que proporciona una compleja combinación de climas, suelos y microambientes que sustentan una variada diversidad biológica y de ecosistemas.

Las aguas de los glaciares y de las lluvias en las montañas andinas forman los ríos que nacen en las cumbres y constituyen la principal fuente de agua para todo el país, tanto para consumo doméstico, industrial y agrícola. Siendo importante entender la estacionalidad y cantidad de agua de lluvia, así como sus características principales (frecuencia, duración y profundidad), para poder gestionar este vital recurso para su uso y evacuación, cuando se presenta de forma abundante y puede poner en riesgo a las poblaciones.

Debida a la geografía accidentada y pérdidas producidas por desastres naturales (frecuentes en el país) la red meteorológica del país es limitada en cuanto a información, sobre todo del tipo pluviográfico, siendo las más comunes las del tipo pluviométrico. Si bien es cierto las nuevas estaciones automáticas proveen más información por su carácter continuo, son recientes, no cuentan con la extensión de registros necesaria.

Las relaciones generales de lluvia-duración-frecuencia se han estudiado desde hace tiempo, [1] establece relaciones generales entre profundidad de lluvia-duración y profundidad de lluvia-frecuencia, para precipitaciones de lluvia de hasta 2 horas de duración, a partir de registros publicados por la Oficina Meteorológica de los Estados Unidos, para así poder generar una relación general de profundidad de lluvia-duración-frecuencia. La relación se presenta con una precipitación base:  $P_{10}^{60}$  (profundidad de lluvia de 10-años, 1-h) o  $P_2^{60}$  (profundidad de lluvia de 2-años, 1-h), que puede entenderse como una precipitación que caracteriza de la región. También a partir del análisis comparativo de las tasas de profundidad-duración y profundidad-frecuencia en diferentes partes del mundo, encuentra que estas tasas eran muy similares. Con esto concluye que si pocas estaciones representativas cumplían con la relación generalizada se podía verificar la validez de la relación.

Poco tiempo después [2] presenta una formula general para cualquier ubicación en los Estados Unidos, la formula se desarrolló utilizando tres mapas isopluviales del documento técnico de la Oficina Meteorológica de los Estados Unidos No. 40, a diferencia de la relación de [1] la formula requiere de las profundidades de lluvia básica de:  $P_{10}^{60}$  (profundidad de

lluvia de 10-años, 1-h),  $P_{10}^{1440}$  (profundidad de lluvia de 10-años, 24-h) y  $P_{100}^{60}$  (profundidad de lluvia de 100-años, 1-h), [2] muestra una relación más general y un mejor desempeño que la relación propuesta por [1].

Sobre la bases de estos estudios precedentes se formularon y se vienen formulando estudios y relaciones que toman como base la relación propuesta por [1], más específicamente se busca una precipitación base  $P_T^t$  (profundidad de lluvia de T-años, t-h) para poder generar relaciones que se adecuen mejor a la región de estudio, es así como el estudio “Rainfall intensity-duration-frequency formula for India” [3] desarrolla una relación general para la intensidad, duración y frecuencia para lluvias de corta duración (menor a 24 horas) para India, la relación propuesta produce resultados más realistas para las condiciones de la India que la relación de [1]. También tenemos los siguientes estudios para cada país o región, para la región Argentina [4], para la región Alpina [5], para la región de Vietnam [6], para la región de Riyadh-Arabia Saudita [7], para dos regiones de Arabia Saudita [8].

En el caso del territorio peruano se desarrolló el Estudio de Hidrología del Perú [9] que tuvo como finalidad evaluar los recursos hídricos disponibles en las diferentes zonas del país e indicar las mejores posibilidades que existen para su aprovechamiento. En este estudio también se desarrolla una relación entre intensidad-duración-frecuencia para las diferentes zonas del país. También se cuenta con la tesis de grado “Derivación de Curvas de Intensidad-Duración y Frecuencia de Lluvias y su Aplicación a la Estimación de Máximas Crecidas en la Cuenca del Rio Vilcanota” [10] que concreta el estudio de la derivación de las curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias y su aplicación a la estimación de máximas crecidas para diferentes periodos de retorno. El estudio relaciona las precipitaciones máximas de 24 horas con intensidad horarias obteniendo una relación entre estos dos parámetros, por lo que se generalizó una ecuación para calcular las intensidades máximas horarias promedio en función de la precipitación máxima de 24 horas. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones [11], nos recomienda la metodología de Dick Peshke, la cual permite calcular precipitaciones para duraciones menores a 1 hora.

Pese a que existen numerosos estudios respecto al análisis de intensidad-duración-frecuencia en el mundo, el Perú cuenta con poca investigación respecto a establecer relaciones que ayuden a pronosticar eventos extremos para diferentes regiones del país.

Ante la falta de información pluviográfica en el Perú, el siguiente trabajo busca establecer una relación empírica entre las precipitaciones máximas diarias o precipitaciones totales diarias en 24 horas con precipitaciones de menor duración, de hasta 120 min. Se ha tomado como caso de estudio la cuenca del río Mantaro ubicada en la región central del país, donde se cuenta con la suficiente información de ambos tipos.

A continuación, se presentan los materiales y metodología empleados para la obtención de la ecuación que relacione las precipitaciones de 24 horas con precipitaciones de menor duración. Por último, se presentan los resultados: la ecuación y un cuadro comparativo con los métodos de Bell [1], ILLA-SENAMHI-UNI [9], relación de Yance Tueros [10], y la metodología de Dick Peshke [11] actualmente usados en el Perú para establecer esa correlación.

La relación general de precipitación-duración-frecuencia que se obtuvo logra relacionar las precipitaciones totales diarias con precipitaciones de hasta 2 horas de duración, para ello es necesario una precipitación base  $P_{25}^{1440}$  (profundidad de lluvia de 25-años, 24-h), La relación presenta un error porcentual absoluto medio del 11%. A pesar de haber obtenido una relación que logre relacionar las precipitaciones se requiere ampliar este análisis con información de otras estaciones de tipo pluviográfica para tener un alcance más regional.

## II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### A. Zona de estudio

El estudio se desarrolla en la cuenta del Rio Mantaro, usando información de la Estación Huayao ubicada en el Observatorio Geofísico de Huancayo según sus coordenadas 12°02'18"S, 75°19'22"W, ubicada políticamente en el departamento de Junín, provincia de Chupaca y Distrito de Huayao.

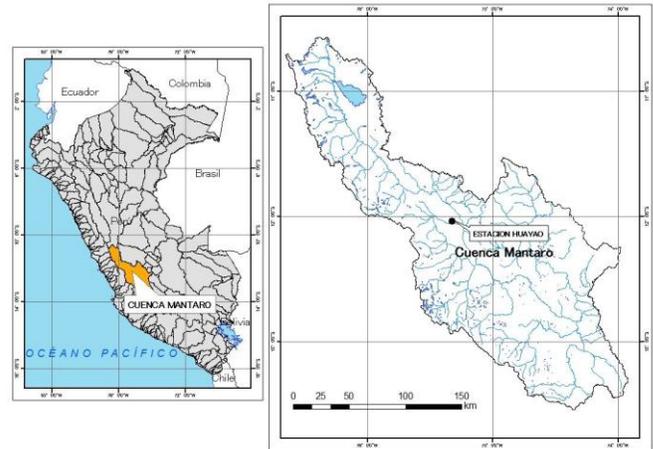


Fig. 1 Ubicación de la Cuenca del Mantaro y de la Estación Huayao

### B. Materiales

Se emplearon datos obtenidos de los registros de la estación Huayao (ubicada a 3350 msnm) donde se encuentra un pluviógrafo con registros de bandas pluviográficas semanales del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y un pluviómetro con registros de precipitaciones totales diarias del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Ambos equipos cuentan con una buena

extensión de registro de precipitaciones (1956-2012), con uno que otro registro faltante.

### C. Metodología

Debido a que la información pluviográfica se encontraba en bandas de papel llamadas pluviogramas (Fig. 2), se desarrolló un código para el procesamiento de imágenes mediante el programa MatLab v.9.0., los datos obtenidos de las bandas pluviográficas después del procesamiento de imágenes (Fig. 3) se pueden manipular en una tabla de Excel.

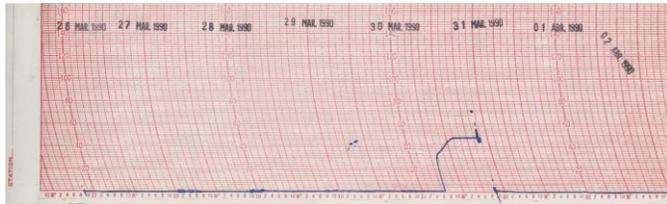


Fig. 2 Pluviograma: Registro de precipitación del 26/03/1990 hasta el 02/04/1990

Fuente: Instituto Geofísico del Perú.

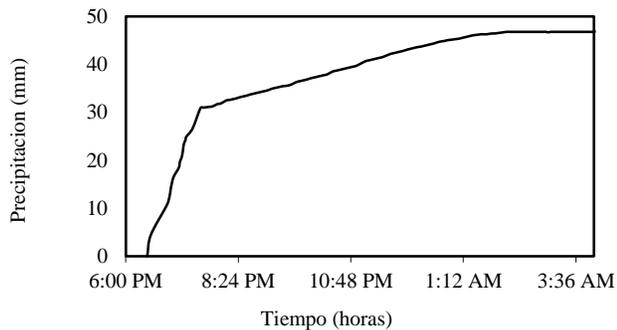


Fig. 3 Pluviograma: Registro de precipitación del 26/03/1990 hasta el 02/04/1990

El análisis estadístico de los datos pluviométricos y pluviógrafos se realizaron siguiendo las recomendaciones de distintos autores [12], [13] y [14]. Para el desarrollo de la relación empírica se siguió la metodología que se describe en [1], formulando dos relaciones: Relación entre precipitaciones de diferente duración y Relación entre precipitación de diferente frecuencia, para llegar a una ecuación general que relacione precipitación, duración y frecuencia.

Relación entre precipitaciones de diferente frecuencia:

$$P_T^t / P_{10}^t = 0.21 \ln T + 0.52 \quad (1)$$

Valido para  $2 \leq T \leq 100$  años

Donde:

- $T$  : periodo de retorno
- $P_T^t$  : profundidad de lluvia de T-años, t-h
- $P_{10}^t$  : profundidad de lluvia de 10-años, t-h
- $\ln T$  : logaritmo natural del periodo de retorno ( $T$ ) en años.

Relación entre precipitaciones de diferente duración:

$$P_T^t / P_T^{60} = 0.54t^{0.25} - 0.50 \quad (2)$$

Valido para  $5 \leq t \leq 120$  min

Donde:

- $t$  : duración
- $P_T^t$  : profundidad de lluvia de T-años, t-h
- $P_T^{60}$  : profundidad de lluvia de T-años, 1-h

Para la evaluación de desempeño de la relación es necesario una medida de precisión que es la diferencia entre el valor real (deseado) y el pronosticado. Una medida adecuada de precisión para un problema dado no es aceptada universalmente por los académicos y profesionales de pronósticos [15]. Por lo que se evaluó con las siguientes medidas de precisión: error absoluto medio (EAM), error cuadrático medio (ECM), raíz del error cuadrático medio (RECM) y error porcentual absoluto medio (EPAM).

### D. Relación entre precipitaciones de diferente frecuencia

En la primera parte de la ecuación generalizada, a diferencia de (1) que utiliza un periodo de retorno de 10 años, se buscó un periodo de retorno ( $T_p$ ) que describa mejor la relación entre las precipitaciones máximas diarias y las precipitaciones de menor duración. La relación tendrá la forma de (3) expresado como sigue:

$$P_T^t / P_{T_p}^t = a \ln T + b \quad (3)$$

Valido para  $2 \leq T, T_p \leq 100$  años

Para identificar qué periodo de retorno describe mejor la relación se analizó con diferentes periodos de retorno ( $T_p$ ). Analizamos (3) escogiendo un periodo de retorno de 10 años. La Fig. 1 muestra como varía el ratio  $P_T^t / P_{10}^t$  con diferentes duraciones ( $t$ ): 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 y 1440 min.

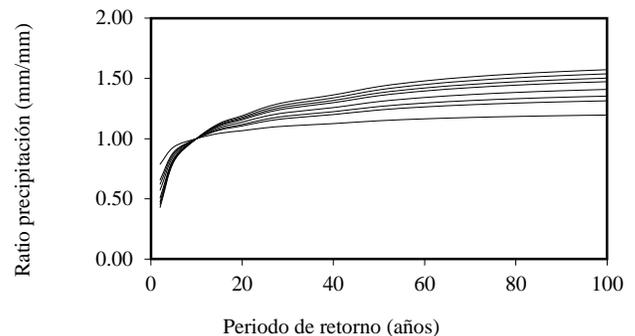


Fig. 4 Ratio de precipitación con 10 años como base en función del periodo de retorno, para duraciones de 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 y 1440 min

Los ratios  $P_T^t / P_{10}^t$  para cada periodo de retorno se promediaron y se obtuvo una línea de tendencia logarítmica, en la cual se obtienen los valores a y b de (3)

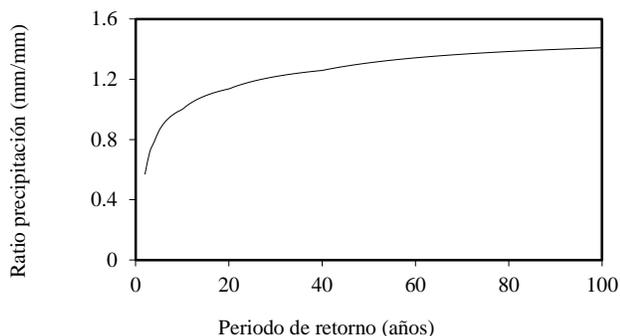


Fig. 5 Curva representativa de las duraciones en función del periodo de retorno

La relación obtenida usando un periodo de retorno ( $T_p$ ) de 10 años queda de la siguiente forma:

$$P_T^t / P_{10}^t = 0.19 \ln T + 0.55 \quad (4)$$

Valido para  $2 \leq T \leq 100$  años

El desempeño de (4) fue evaluado a partir de las medidas de error: EAM, ECM, RECM y EPAM obteniendo los resultados de: 0.97, 1.70, 1.30, 3.43 respectivamente.

La elección del periodo de retorno se hará evaluando el desempeño de cada relación obtenida para los distintos periodos de retorno.

#### E. Relaciones entre precipitaciones de diferente duración

Para la segunda parte de la relación, a diferencia de (3) donde buscamos un periodo de retorno ( $T_p$ ) que presente el mejor desempeño, la duración que buscamos ya la hemos definido, siendo la duración igual a la precipitación total diaria o precipitación máxima diaria (1440 min o 24 horas). La relación tendrá la forma de (5) expresado como sigue, con la duración ya establecida.

$$P_T^t / P_T^{1440} = at^b - c \quad (5)$$

Valido para  $5 \leq t \leq 120$  min

### III. RESULTADOS

#### A. Relación generalizada de precipitación-duración-frecuencia

La ecuación generalizada se obtuvo formulando dos ecuaciones para poder llegar a una relación empírica general. Relaciones entre precipitaciones de diferente frecuencia y relaciones entre precipitaciones de diferente duración.

Para las relaciones entre precipitaciones de diferente frecuencia, para la elección del periodo de retorno ( $T_p$ ) se

usó las medidas de error: EAM, ECM, RECM y EPAM. La fig. 6 nos muestra como varían las medias de error para cada periodo de retorno, después de haber realizado el procedimiento descrito en la metodología.

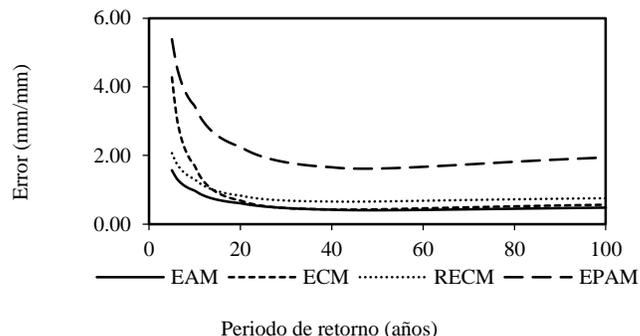


Fig. 6 Medidas de error para cada periodo de retorno

Se escogió un periodo de retorno ( $T_p$ ) de 25 años, debido a la poca disponibilidad de registros históricos de precipitación en el Perú, además de que es el periodo de retorno a partir del cual el desempeño de la ecuación empieza a mostrar una tendencia constante.

Con el periodo de retorno ( $T_p$ ) de 25 años se obtiene la siguiente relación:

$$P_T^t / P_{25}^t = 0.16 \ln T + 0.47 \quad (6)$$

Valido para  $2 \leq T \leq 100$  años

Para las relaciones entre precipitaciones de diferente duración, la duración que se escogió es igual a la precipitación total diaria o precipitación máxima diaria. La Fig. 7 es la curva representativa utilizando una duración igual a la precipitación máxima en 24 horas ( $P_T^t / P_T^{1440}$ ), así obtenemos los coeficientes de (5),

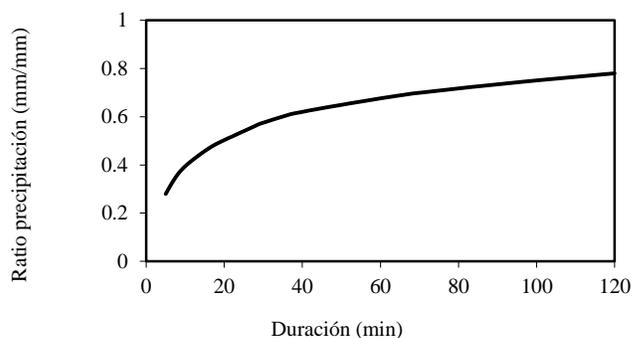


Fig. 4 Curva representativa del periodo de retorno en función de la duración

Con la duración igual a la precipitación máxima diaria se obtiene la siguiente relación:

$$P_T^t / P_T^{1440} = 0.21t^{0.28} \quad (7)$$

Valido para  $5 \leq t \leq 120$  min

La relación general de precipitación-duración-frecuencia la obtenemos combinando (6) y (7)

$$P_T^t = (0.16 \ln T + 0.47)(0.27t^{0.28})P_{25}^{1440} \quad (8)$$

Valido:  $2 \leq T \leq 100$  años y  $5 \leq t \leq 120$  min

Donde:

- $T$  : periodo de retorno
- $t$  : duración
- $P_T^t$  : profundidad de lluvia de T-años, t-h
- $P_{25}^{1440}$  : profundidad de lluvia de 25-años, 24-h
- $\ln T$  : logaritmo natural del periodo de retorno ( $T$ ) en años.

Finalmente, se realizó un comparativo con las relaciones que actualmente se usan para obtener una precipitación con una duración menor ( $5 \leq t \leq 120$  min) y un periodo de retorno mayor que con el que se cuentan los datos. Como tenemos los métodos de [1], [9], [10] y [11].

La Tabla I muestra las medidas de error: EAM, ECM, RECM y EPAM las cuales nos indican el desempeño de cada relación usada para el cálculo de  $P_T^t$  (profundidad de lluvia de T-años, t-h)

TABLA I  
MEDIDAS DE ERROR EN LA ESTIMACION DE LA PRECIPITACION PARA DIFERENTES DURACIONES

MEDIDAS DE ERROR		DURACION (min)							ERROR GLOBAL
		5	10	15	30	60	90	120	
EAM	[1]	2.34	2.72	2.50	1.84	0.92	2.55	3.74	2.37
	[9]	8.24	10.86	11.84	12.91	12.38	11.59	10.96	11.25
	[10]					9.05			
	[11]	1.88	3.64	4.73	6.63	7.58			
	Ec. 8	2.91	1.34	0.92	1.18	0.65	0.91	1.33	1.32
ECM	[1]	6.42	8.42	6.89	3.62	1.57	8.73	19.65	7.90
	[9]	77.19	133.58	157.95	187.91	169.61	145.20	127.07	142.65
	[10]					101.62			
	[11]	4.77	17.62	28.36	55.44	73.58			
	Ec. 8	8.85	3.31	2.47	2.48	1.25	1.46	2.99	3.26
RECM	[1]	2.53	2.90	2.62	1.90	1.25	2.95	4.43	2.81
	[9]	8.79	11.56	12.57	13.71	13.02	12.05	11.27	11.94
	[10]					10.08			
	[11]	2.18	4.20	5.33	7.45	8.58			
	Ec. 8	2.98	1.82	1.57	1.58	1.12	1.21	1.73	1.80
EPAM(%)	[1]	22.03	18.24	14.73	9.27	4.19	8.44	11.07	12.57
	[9]	76.98	71.00	66.12	56.56	45.42	38.91	34.52	55.65
	[10]					31.40			
	[11]	24.50	24.97	26.35	27.83	25.98			
	Ec. 8	36.59	14.98	9.70	7.62	3.70	3.45	4.04	11.44

Las precipitaciones calculadas con los diferentes métodos, para diferentes duraciones y periodos de retorno nos muestran que (8) presenta los mejores desempeños con un error global

para el EAM de 1.32, seguido por [1] con un error de 2.37. Las relaciones de [9], [10] y [11] son las que tienen el desempeño más bajo.

#### IV. CONCLUSIONES

Se presentó una relación general de precipitación-duración-frecuencia lo que nos indica que es posible relacionar una precipitación base  $P_{25}^{1440}$  (profundidad de lluvia de 25-años, 24-h), para obtener valores de precipitación de corta duración de 5 a 120 minutos y periodos de retorno de 2 a 100 años. Para la Estación Huayao en la cuenca del Mantaro con un error porcentual absoluto medio del 11%.

Se ha probado que la relación empírica de [1], entre precipitaciones máximas diarias y las intensidades máximas horarios son representativas para las condiciones hidrológicas de la sierra central del Perú.

De la evaluación de las ecuaciones de [1], [9], [10] y [11] aplicada a los datos pluviográficos y pluviométricos en estudio, se concluye que la relación de [1] es la que presenta mejor ajuste, presentando mejor desempeño para una duración de 60 min, donde los valores de precipitación muestran una variación promedio de 0.4 mm para periodos de retorno de 5 a 50 años, y para el periodo de retorno de 2 años muestra una variación máxima de 2.35 mm.

Las medidas de error nos indican que la relación propuesta (8) muestra el mejor desempeño, los errores mínimos son: 1.32 para el EAM, 3.26 para el ECM, 1.80 para el RECM y 11.44 para el EPAM (%).

Las relaciones que actualmente se vienen utilizando para el diseño de proyectos de ingeniería son los métodos de [9], [10] y [11], estos métodos no muestran un buen ajuste con respecto a los valores calculados, siempre nos dan valores menores al observado, lo que podría resultar en estructuras subdimensionadas.

#### V. RECOMENDACIONES

Para la aplicación en el diseño de proyectos de ingeniería donde se requieran precipitaciones de corta duración, si no se cuentan con el registro pluviográficos en la zona de estudio, la relación propuesta (8) es una buena alternativa de cálculo, pero se debe de contar con un registro histórico de datos de tipo pluviométrico de por los menos 25 años.

Se recomienda ampliar este análisis con información de otras estaciones de tipo pluviográfica para poder tener un alcance más regional

#### AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC-UNI) por la subvención en el desarrollo de la tesis, así como la Instituto Geofísico del Perú (IGP) por facilitar la información pluviográfica.

## REFERENCIAS

- [1] Bell, F. C. (1969). Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. *Journal of the Hydraulics Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 95(1), pp. 321-327.
- [2] Chen, C. L. (1983). Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 109(12), pp. 1603-1621.
- [3] Kothiyari, U. C., & Garde, R. J. (1992). Rainfall intensity-duration-frequency formula for India. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 119(8), pp. 966-967.
- [4] Maurino, M. F. (2004). Generalized rainfall-duration-frequency relationships: Applicability in different climatic regions of Argentina. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 9(4), pp. 269-274.
- [5] Borga, M., Vezzani, C., & Dall Fontana, G. (2005). Regional rainfall depth-duration-frequency equations for an alpine region. *Nature Hazards*, vol. 36(1-2), pp. 221-235.
- [6] Nhat, L. M., Tachikawa, Y., & Takara, K. (2006). Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Annuals of Disas. Prev. Res*, pp. 93-103.
- [7] AllHassoun, S. A. (2011). Developing an empirical formula to estimate rainfall intensity in Riyadh region. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, vol. 23(2), pp. 81-88.
- [8] Elsebaie, I. H. (2012). Developing rainfall intensity-duration-frequency relationships for two regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, vol. 24(2), pp. 131-140.
- [9] I.L.L.A., S.E.N.A.M.H.I., & U.N.I. (1983). *Estudio de Hidrología del Perú*.
- [10] Yance, T. (1982). Derivación de Curvas de Intensidad-Duración y Frecuencia de Lluvias y su Aplicación a la Estimación de Máximas Crecidas en la Cuenca del Río Vilcanota. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [11] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
- [12] Chow, V. Te. (1999). *Hidrología Aplicada*
- [13] Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. H. (1977). *Hidrología para ingenieros*.
- [14] Mijares, F. J. A. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*
- [15] Zhang, G., Eddy Patuwo, B., & Y. Hu, M. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, vol. 14(1), pp. 35-62.