

# APLICACIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO ADIMENSIONAL USANDO DATOS DE CUENCAS DE CALIFORNIA

Luis Ariza<sup>1</sup>, Victor Ponce<sup>2</sup> y Julio Kuroiwa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MSc. Ingeniero Civil, Central de Ingeniería de Planta de Toquepala – Southern Peru Copper Corporation, Tacna, Perú.

<sup>2</sup>PhD. Engineer, Professor in Civil Engineering Department, San Diego State University, California, United States.

<sup>3</sup>PhD. Ingeniero, Docente en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

E-mail: larizat@southernperu.com.pe, poncevm@gmail.com, julio\_kuroiwa2@yahoo.com

## Resumen

El estudio desarrolla y aplica el hidrograma unitario adimensional general (HUAG) utilizando información de diez (10) cuencas de California, Estados Unidos. Un hidrograma unitario es producido por una profundidad unitaria de escorrentía distribuida uniformemente en toda una cuenca y con una duración unitaria específica. El hidrograma unitario adimensional general (HUAG) es la formulación adimensional del hidrograma unitario, asociando efectivamente la técnica de convolución y la cascada de reservorios lineales (CRL).

## Introducción

El hidrograma unitario se define como el hidrograma producido por una profundidad unitaria de escorrentía uniformemente distribuida sobre toda la cuenca y con una duración unitaria específica (Sherman, 1932).

El hidrograma unitario adimensional general (HUAG), fue desarrollado por Ponce (2009a, 2009b), es una formulación adimensional del hidrograma unitario. El HUAG asocia efectivamente la técnica de convolución (del hidrograma unitario) con el modelo de cascada de reservorios lineales (CRL), originalmente debido a Nash (1957). El modelo CRL constituye de componente de tránsito de varios modelos hidrológicos en el mundo, en particular el modelo Stream Synthesis and Reservoir Regulation – SSARR (U.S. Army Engineer North Pacific Division, 1972).

## Cascada de reservorios lineales

La cascada de reservorios lineales es un método ampliamente utilizado para tránsito hidrológico de una cuenca. Como su nombre lo indica, el método se basa en la conexión en serie de varios reservorios lineales. La solución de la cascada de reservorios lineales puede realizarse de dos maneras: (1) analítica, y (2) numérica. La versión analítica se debe a (Nash, 1957), quien originó el concepto del hidrograma unitario instantáneo (HUI). La versión numérica de la cascada de reservorios lineales se presenta en varios modelos de simulación hidrológica desarrollados en los Estados Unidos y otros países. Entre ellos destaca el modelo de Síntesis de Corriente y Regulación de Reservorios – Stream Synthesis and Reservoir Regulation (SSARR) (U.S. Army Engineer North Pacific Division, 1972).

La ecuación de tránsito para el método de cascada de reservorios lineales, es:

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_0 Q_j^{n+1} + C_1 Q_j^n + C_2 Q_{j+1}^n \quad [1]$$

En dónde: Q es la descarga, ya sea flujo de ingreso o de salida. Mientras que, j y n son indicativos de espacio y tiempo, respectivamente. Los coeficientes de tránsito C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> son una función de la relación adimensional  $\Delta t/K$ .

Esta relación es propiamente el número de Courant ( $C = \Delta t/K$ ).

$$C_0 = \frac{C}{2+C} \quad [2a]$$

$$C_1 = C_0 \quad [2b]$$

$$C_2 = \frac{2-C}{2+C} \quad [2c]$$

## Hidrograma unitario adimensional general

La cascada de reservorios lineales (CRL) y el hidrograma unitario instantáneo (HUI) son esencialmente lo mismo. Un hidrograma unitario adimensional general (HUAG) puede ser generado utilizando el método de la CRL para una cuenca de área de drenaje A y una duración de hidrograma unitario t<sub>r</sub>. El hidrograma unitario adimensional resultante muestra que es únicamente una función del número de Courant C y del número de reservorios N, por lo tanto, es independiente del A o t<sub>r</sub>. Además, para un conjunto de C y N, existe un único HUAG, de aplicabilidad global (Ponce, V. M., 2009b).

Las cuencas empinadas requieren un C alto y de un N pequeño; por lo contrario, las cuencas suaves requieren un C pequeño y de un N alto. El rango práctico es:  $0.1 \leq C \leq 2$ ; y  $1 \leq N \leq 10$ .

El caso de la difusión de cero es modelado con C = 2 y N = 1. Por el contrario, para el caso de una gran difusión se puede modelar con C = 0.1 y N = 10 (Ponce, V. M., 1980).

## Metodología

La metodología depende de las características temporales de la tormenta. Se consideraron las siguientes condiciones:

1. Tormentas simples, con un impulso de precipitación de un día (un evento de precipitación predominante de un día es utilizado en la práctica).
2. Tormentas complejas, con un evento de precipitación distribuido durante varios días.

Para cada cuenca analizada, un grupo de pares referente a los parámetros de cascada C y N son relacionados con las características geomorfológicas primarias de la cuenca, como la pendiente del canal principal / superficial.

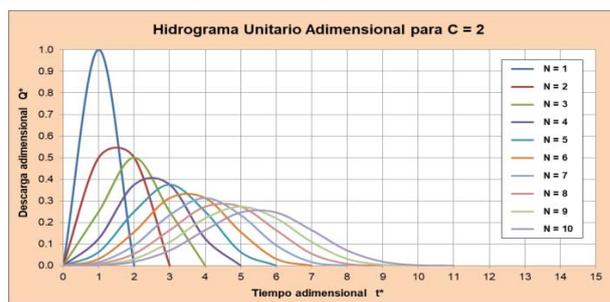


Figura 1.- Hidrograma unitario adimensional para C = 2.

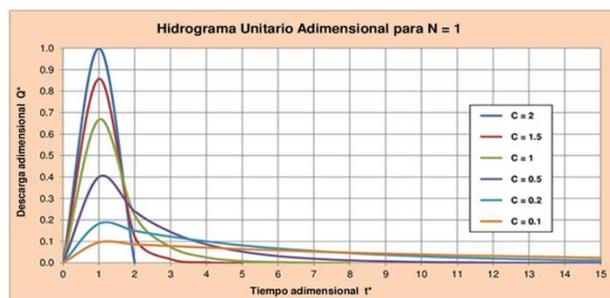


Figura 2.- Hidrograma unitario adimensional para N = 1.

De la fig. 1 deducimos que la difusión del hidrograma incrementa cuando aumenta el número  $N$  de 1 a 10. Asimismo, de la fig. 2 deducimos que la difusión del hidrograma incrementa con un decrecimiento del número de Courant  $C$ .

## Análisis de datos

Se seleccionaron diez (10) cuencas para la investigación.

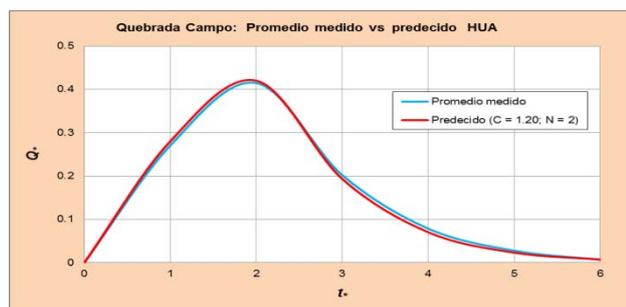
**Tabla 1.-** Selección de cuencas para la investigación.

No.	Cuenca / Ubicación	Área (km <sup>2</sup> )
1	Quebrada Campo en Campo, CA	218
2	Río Whitewater en Mecca, CA	3849
3	Río Mojave en Victorville, CA	56583
4	Río Amargosa en Tecopa, CA	8315
5	Río Petaluma en Petaluma, CA	93
6	Río Russian en Guerneville, CA	3463
7	Quebrada Los Gatos en Coalinga, CA	247
8	Quebrada Cottonwood en Cottonwood, CA	2435
9	Río Salinas en Spreckels, CA	11777
10	Río Shasta en Montague, CA	1737

Se escogieron 3 eventos de precipitación-escorrentía correspondientes a cada cuenca. De cada evento se obtiene un HUA que es promediado y comparado con el hidrograma obtenido mediante el método de la CRL.

**Tabla 2.-** Subcuenca de la quebrada Campo – HUA.

$t_*$	Hidrograma unitario adimensional medido			Promedio medido $Q_*$	Predecido $Q_*$ ( $C = 1.2$ , $N = 2$ )
	No. 1 $Q_*$	No. 2 $Q_*$	No. 3 $Q_*$		
0	0	0	0	0	0
1	0.26	0.27	0.28	0.27	0.28
2	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42
3	0.21	0.20	0.19	0.20	0.19
4	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07
5	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
6	0	0	0	0	0



**Figura 3.-** Promedio medido vs. Predecido HUA.

## Modelamiento de la difusión del hidrograma unitario adimensional

La difusión del hidrograma incrementa con el aumento del valor de  $N$  y el decrecimiento del valor de  $C$ . Por lo tanto, un número de difusión  $D$  puede ser definido a continuación:

$$D = \frac{N}{C} \quad [3]$$

La correlación del número de difusión  $D$  con los parámetros geomorfológicos referidos en la Tabla 3.

**Tabla 3.-** Resumen de las correlaciones del número de difusión  $D$ .

Variable independiente	$R^2$	$R$
Área de drenaje de la cuenca $A$	0.2972	0.55
Pendiente promedio de la superficie terrestre $S_0$	0.098	0.31
Pendiente del canal principal (0 a 100%) $S_1$	0.2246	0.47
Pendiente del canal principal (10 a 85%) $S_2$	0.161	0.40

Las ecuaciones de la correlación del número de difusión  $D$  con el parámetro del área de drenaje de la cuenca  $A$ , son:

$$D = 0.8249 * A^{0.0946} \quad [4]$$

$$N = 0.9462 * A^{0.1123} \quad [5]$$

Las ecuaciones de la correlación del número de difusión  $D$  con el parámetro de la pendiente del canal principal (0 a 100%)  $S_1$ , son:

$$D = 0.8417 * S_1^{-0.165} \quad [6]$$

$$N = 0.8822 * S_1^{-0.218} \quad [7]$$

En una aplicación práctica, considerando un valor de  $A$  o  $S_1$ , las correlaciones mostradas pueden ser utilizadas para calcular el número de difusión  $D$ .

## Conclusiones

El modelo del HUAG ha sido calibrado y probado utilizando información de cuencas de California, Estados Unidos.

La caracterización de la difusión de la escorrentía puede mejorarse utilizando un parámetro de difusión  $D$ .

El modelo del HUAG puede desarrollar un hidrograma unitario que sea consistente con la teoría de la difusión de escorrentía. Esto fue confirmado durante el trabajo de uno de los pioneros como Hayami (1951).

## Referencias bibliográficas

- Hayami, S.** (1951). On the propagation of flood waves. *Disaster prevention research institute, Kyoto University, Kyoto, Japa, December. Bulletin No. 1.*
- Nash, J. E.** (1957). The form of the instantaneous unit hydrograph. *International Association of Scientific Hydrology Publication, 45(3), 114-121.*
- Ponce, V. M.** (1980). Linear reservoirs and numerical diffusion. *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 106, No. HY5, 691-699.*
- Ponce, V. M.** (2009a). *A general dimensionless unit hydrograph. Online report.*
- Ponce, V. M.** (2009b). *Cascade and convolution: One and the same. Online report.*
- Sherman, L. K.** (1932). Streamflow from rainfall by unit-graph method. *Engineering News-Record, Vol. 108, April 7. 501-505.*
- U.S. Army Engineer North Pacific Division.** (1972). *Program Description and User Manual for SSARR Model, Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation, revised June 1975. Portland, Oregon, EEUU.*