

LA APROXIMACION DE LA ONDA CINEMATICA EN LA SIMULACION DE HIDROGRAMAS PARA LLUVIAS DE INTENSIDAD EFECTIVA VARIABLE.

Ximena Vargas M. (1)
Verónica Haramboure G. (2)

RESUMEN

Se presenta en este trabajo una extensión del modelo de Wooding - Eagleson para simular el flujo superficial a base de la aproximación de la onda cinemática. El trabajo consiste en el desarrollo del modelo para lluvias efectivas de intensidad variable, discretizadas en intervalos de intensidad de lluvia efectiva constante. El modelo se calibra a base de 2 hidrogramas medidos, en superficies planas impermeables, para intensidades de lluvia efectiva constante, y se aplica para 2 hidrogramas de intensidad variable. Se presenta además un breve análisis de los resultados obtenidos.

- (1) Ingeniero Civil, Investigadora del Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- (2) Ayudante de Investigación del Centro de Recursos Hidráulicos.

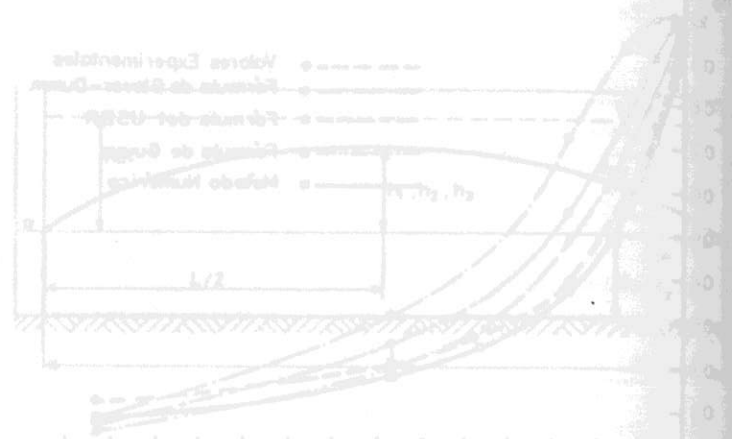


FIGURA 1. El efecto de la longitud de onda cinemática en la simulación de hidrogramas para lluvias de intensidad efectiva variable. Se muestran los resultados de la simulación de hidrogramas para lluvias de intensidad efectiva variable, discretizadas en intervalos de intensidad de lluvia efectiva constante, en superficies planas impermeables, para intensidades de lluvia efectiva constante, y se aplica para 2 hidrogramas de intensidad variable. Se presenta además un breve análisis de los resultados obtenidos.

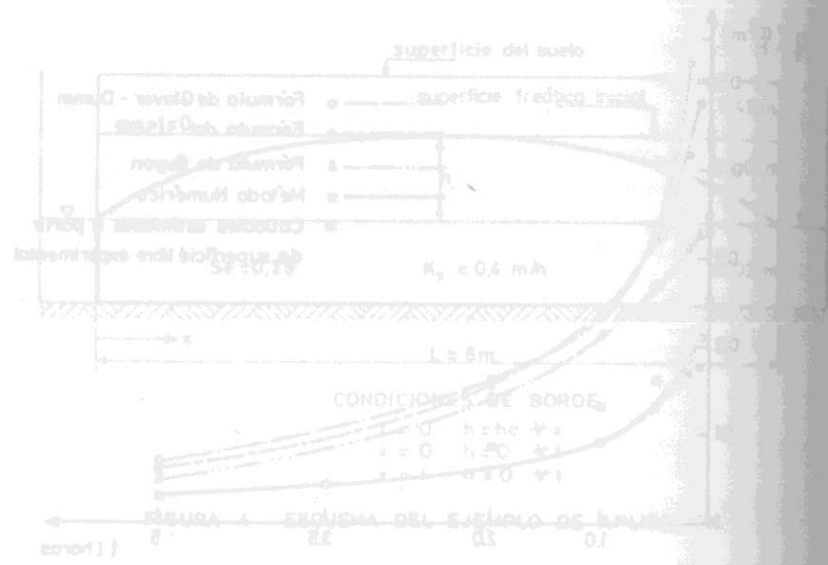


FIGURA 2. Efecto de las condiciones de borde en la simulación de hidrogramas para lluvias de intensidad efectiva variable. Se muestran los resultados de la simulación de hidrogramas para lluvias de intensidad efectiva variable, discretizadas en intervalos de intensidad de lluvia efectiva constante, en superficies planas impermeables, para intensidades de lluvia efectiva constante, y se aplica para 2 hidrogramas de intensidad variable. Se presenta además un breve análisis de los resultados obtenidos.

1. INTRODUCCION.

Este trabajo forma parte del programa de investigación del Centro de Recursos Hidráulicos, dirigido al estudio de los procesos de erosión en una cuenca.

El estudio realizado permite simular los hidrogramas de crecidas pluviales a través del análisis de un modelo matemático basado en la aproximación de la onda cinemática, en el que se considera variable la intensidad de lluvia efectiva (i_*).

El modelo que en este trabajo se expone es una extensión del modelo para lluvia de intensidad constante presentado por Vargas et al. (1981). Se utilizó en la validación, los datos de hidrogramas medidos por el Corps of Engineers (Overton y Meadows, 1976), en superficies planas de concreto con pendiente de 1%.

2. APROXIMACION DE LA ONDA CINEMATICA.

La aproximación de la onda cinemática está basada en la hipótesis que, cuando los términos dinámicos de la ecuación de cantidad de movimiento son despreciables, el caudal por unidad de ancho (q) es sólo función de la profundidad del flujo (y), y del tiempo (t), es decir

$$q = \alpha y^m \tag{1}$$

siendo α y m parámetros, en que el primero de ellos corresponde al parámetro de fricción y el segundo un parámetro característico del régimen de escurrimiento.

Dependiendo de la forma de la superficie de escurrimiento (plana o convergente), es la forma que toma la ecuación de continuidad (Vargas et al. 1981).

Para el caso de una superficie plana la ecuación de continuidad se expresa como :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial (q)}{\partial x} = i_* \tag{2}$$

3. MODELO PARA INTENSIDAD DE LLUVIA EFECTIVA VARIABLE.

La resolución de las dos ecuaciones básicas para el caso de intensidad de lluvia efectiva constante (Vargas et al 1981) han sido modificadas, con el fin de ser aplicadas al caso de intensidad de lluvia efectiva variable. Se considera la lluvia discretizada, en intervalos de intensidad constante de modo que las condiciones finales del intervalo anterior, en cada uno de los puntos de la superficie, corresponden a las condiciones iniciales para el siguiente intervalo de lluvia constante.

Las condiciones finales del primer intervalo (o siguientes dependen de la duración de éste (tr_1) con respecto al tiempo de concentración (t_{c_1}) por lo que se tienen dos tipos de condiciones iniciales para el segundo intervalo.

En ambos casos el sistema de ecuaciones dado por las Ecs. 1 y 2, es transformado a un sistema de derivadas totales, utilizando el método de las características. De este proceso resulta :

$$\frac{dy}{dt} = i_*2 \tag{3}$$

$$\frac{dx}{dt} = \alpha m y^{m-1} \tag{4}$$

o bien

$$\frac{dy}{dx} = \frac{i_*2}{\alpha m y^{m-1}} \tag{5}$$

Considerando que i_{*2} es constante espacial y temporalmente en el intervalo considerado, se obtiene:

$$y - y_1 = i_{*2} (t - t_{r1}) \quad (6)$$

$$x - x_1 = \frac{\alpha}{i_{*2}} \{ [y_1 + i_{*2}(t - t_{r1})]^m - y_1^m \} \quad (7)$$

en que y_1 es la altura que se tiene en el punto x_1 en el tiempo t_{r1} correspondiente a la duración del primer intervalo del hietograma.

3.1 Caso I. Duración del Primer Intervalo Mayor que el Tiempo de Concentración. ($t_{r1} > t_{c1}$)

En este caso se tiene (Vargas et al 1981),

$$y_1 = \left(\frac{i_{*1} \cdot x}{\alpha} \right)^{1/m} \quad (8)$$

El tiempo de concentración para el segundo intervalo queda dado por:

$$t'_{c2} = \left(\frac{L \cdot i_{*2}^{1-m}}{\alpha} \right)^{1/m} \quad (9)$$

es decir,

$$t_{c2} = t_{r1} + t'_{c2} \quad (10)$$

Nuevamente, se pueden distinguir dos casos al determinar el perfil superficial del flujo. Si el instante de tiempo, cuando termina el segundo intervalo es mayor que t_{c2} , la perturbación que se produce en el origen en $t=t_{r1}$ alcanza la salida antes de finalizar el segundo intervalo y el caudal máximo de salida se alcanza en $t=t_{c2}$. En caso contrario ($t_{r2} < t_{c2}$), esta perturbación alcanza una posición $X_{22} < L$ al finalizar la tor-

menta y en $t=t_{r2}$ se tiene el máximo caudal en el punto de salida. (Fig. 1a. y 1b.).

En la Tabla 1 se presenta un resumen que permite evaluar el perfil según el caso que corresponda. Para determinar el caudal en $X=L$ se utiliza la Ecuación 1.

3.2 Caso II. Duración del Primer Intervalo Menor que el Tiempo de Concentración. ($t_{r1} < t_{c1}$)

En este caso se tiene (Vargas et al 1981),

$$y_1 = \left(\frac{i_{*1} X}{\alpha} \right)^{1/m} \quad 0 \leq X \leq X_{\omega} \quad (11)$$

$$y_1 = i_{*1} t_{r1} \quad X_{\omega} < X \leq L \quad (12)$$

siendo

$$X_{\omega} = \alpha i_{*1}^{m-1} t_{r1}^m \quad (13)$$

La perturbación en X_{ω} alcanza la salida en el instante:

$$t_0 = \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*2}} \cdot t_{r1} + \left\{ t'_{c2} - \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} \cdot \left(\frac{i_{*1} \cdot t_{r1}}{i_{*2}} \right)^m \right\}^{1/m} \quad (14)$$

Siendo $t_0 < t_{c2}$ se tienen tres posibles situaciones, entre t_0 , t_{r2} y t_{c2} . Si $t_{r2} > t_{c2}$, la perturbación en el origen y en X_{ω} alcanza la salida antes de finalizar el segundo intervalo y el caudal máximo de salida se logra en $t=t_{c2}$ (Fig. 2a. y 2d.). Por el contrario, si $t_{r2} < t_{c2}$ se tiene que t_{r2} puede ser mayor o menor que t_0 ; en el primer caso la perturbación en X_{ω} alcanza

TABLA 1. PERFIL SUPERFICIAL PARA INTENSIDADES DE PRECIPITACION EFECTIVA VARIABLES. CASO I ($t_{r1} > t_{c1}$).

CASO	TIEMPO	POSICION	ECUACION A USAR
$t_{r2} > t_{c2}$	$t_{r1} < t \leq t_{c2}$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} \cdot X}{\alpha} \right)^{1/m}$
		$X_{22} < X \leq L$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left(y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} (y - i_{*2} (t - t_{r1}))^m \right)$
	$t_{c2} < t \leq t_{r2}$	$0 \leq X \leq L$	$y = \left(\frac{i_{*2} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
	$t > t_{r2}$	$0 \leq X \leq L$	$x = \alpha y^{m-1} \left[\frac{y}{i_{*2}} + m (t - t_{r2}) \right]$
$t_{r2} < t_{c2}$	$t_{r1} < t \leq t_{r2}$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} \cdot X}{\alpha} \right)^{1/m}$
		$X_{22} < X \leq L$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left\{ y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} [y - i_{*2} (t - t_{r1})]^m \right\}$
	$t_{r2} < t \leq t_p$	$0 \leq X \leq X_{11m}$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m (t - t_{r2}) \right\}$
		$X_{11m} < X \leq L$	$x = \alpha i_{*2}^{m-1} (t_{r2} - t_{r1})^m + \alpha y^{m-1} (t - t_{r2})$
	$t > t_p$	$0 \leq X \leq L$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m (t - t_{r2}) \right\}$

Nota : $X_{22} = \alpha i_{*2}^{m-1} \cdot (t - t_{r1})^m$

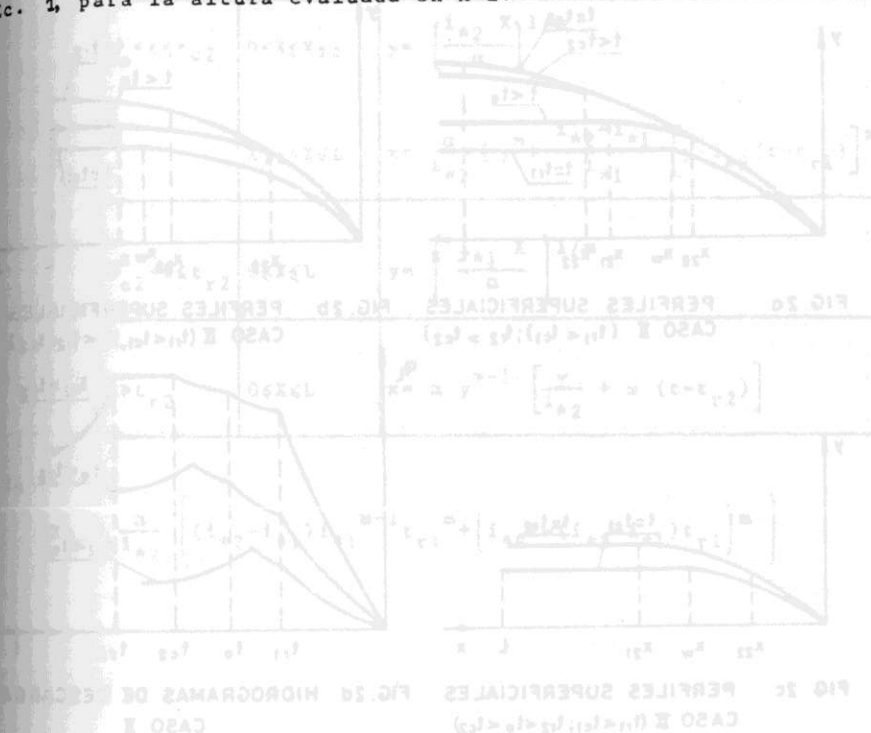
$$X_{11m} = \alpha i_{*2}^{m-1} (t_{r2} - t_{r1})^m \left[1 + m \frac{(t - t_{r2})}{t_{r2} - t_{r1}} \right]$$

$$t_p = t_{r2} + \frac{t_{r2} - t_{r1}}{m} \left[\left(\frac{t_{c2}}{t_{r2} - t_{r1}} \right)^m - 1 \right]$$

la salida antes de finalizar el intervalo (Fig. 2b.), mientras que la perturbación en el origen no lo logra, en el segundo caso ninguna de las perturbaciones alcanza la salida (Fig. 2c.). En estos dos últimos casos el caudal máximo en el punto de salida se obtiene en $t = t_{r2}$.

En las Tablas 2, 3 y 4 se resumen las ecuaciones que permiten evaluar el perfil de acuerdo a la situación que se presente.

El hidrograma de salida, se obtiene ocupando la Ec. 1, para la altura evaluada en $X=L$.



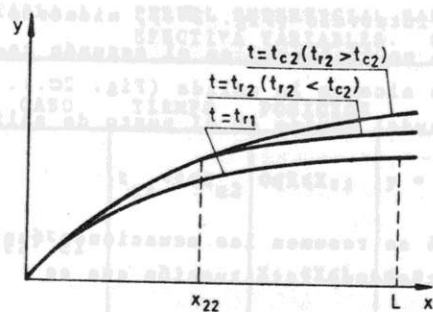


FIG. 1a PERFILES SUPERFICIALES CASO I ($t_{r1} > t_{c1}$)

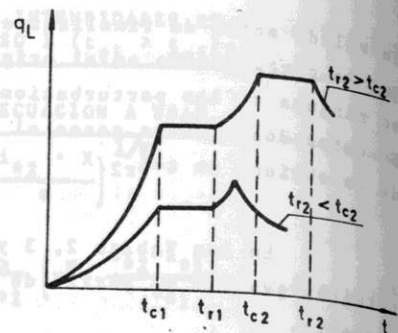


FIG. 1b HIDROGRAMA DE DESCARGA CASO I

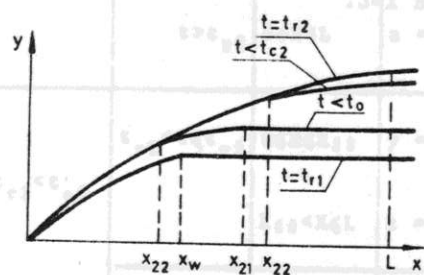


FIG. 2a PERFILES SUPERFICIALES CASO II ($t_{r1} < t_{c1}; t_{r2} > t_{c2}$)

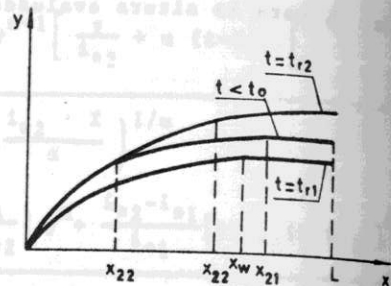


FIG. 2b PERFILES SUPERFICIALES CASO II ($t_{r1} < t_{c1}, t_o < t_{r2} < t_{c2}$)

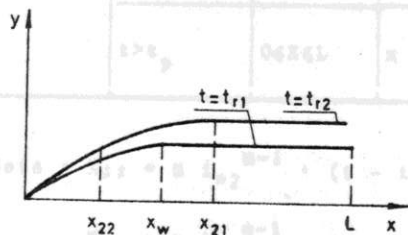


FIG. 2c PERFILES SUPERFICIALES CASO II ($t_{r1} < t_{c1}; t_{r2} < t_o < t_{c2}$)

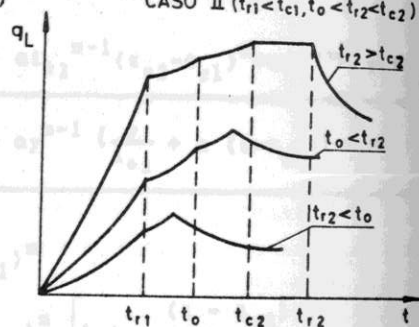


FIG. 2d HIDROGRAMAS DE DESCARGA CASO II

TABLA 2. PERFIL SUPERFICIAL PARA INTENSIDADES DE PRECIPITACION EFECTIVA VARIABLES. CASO II. ($t_{r1} < t_{c1}, t_{r2} > t_{c2}$).

TIEMPO	POSICION	ECUACION A USAR
$t_{r1} < t \leq t_o$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
	$X_{22} < X \leq X_{21}$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left\{ y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} \left[y - i_{*2} (t - t_{r1}) \right]^m \right\}$
	$X_{21} < X \leq L$	$y = i_{*1} t_{r1} + i_{*2} (t - t_{r1})$
$t_o < t \leq t_{c2}$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
	$X_{22} < X \leq L$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left\{ y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} \left[y - i_{*2} (t - t_{r1}) \right]^m \right\}$
$t_{c2} < t \leq t_{r2}$	$0 \leq X \leq L$	$y = \left(\frac{i_{*1} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
$t > t_{r2}$	$0 \leq X \leq L$	$x = \alpha y^{m-1} \left[\frac{y}{i_{*2}} + m (t - t_{r2}) \right]$

NOTA :

$$X_{21} = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left[(i_{*2} - i_{*1}) i_{*1}^{m-1} t_{r1}^m + (i_{*2} t - (i_{*2} - i_{*1}) t_{r1})^m \right]$$

TABLE 3. PERFIL SUPERFICIAL PARA INTENSIDADES DE PRECIPITACION EFECTIVA VARIABLES. CASO II. ($t_{r1} < t_{c1}$, $t_o < t_{r2} < t_{c2}$).

TIEMPO	POSICION	ECUACION A USAR
$t_{r1} < t \leq t_o$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
	$X_{22} < X \leq X_{21}$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left\{ y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} (y - i_{*2} (t - t_{r1}))^m \right\}$
	$X_{21} < X \leq L$	$y = i_{*1} t_{r1} + i_{*2} (t - t_{r1})$
$t_o < t \leq t_{r2}$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
	$X_{22} < X \leq L$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left\{ y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} (y - i_{*2} (t - t_{r1}))^m \right\}$
$t_{r2} < t \leq t_p$	$0 \leq X \leq X_{1f1m}$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m(t - t_{r2}) \right\}$
	$X_{1f1m} < X \leq L$	$x = \alpha i_{*2}^{m-1} (t_{r2} - t_{r1})^m + \alpha m y^{m-1} (t - t_{r2})$
$t > t_p$	$0 < X \leq L$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m(t - t_{r2}) \right\}$

TABLE 4. PERFIL SUPERFICIAL PARA INTENSIDADES DE PRECIPITACION EFECTIVA VARIABLES. CASO II. ($t_{r1} < t_{c1}$, $t_{r2} < t_o < t_{c2}$).

TIEMPO	POSICION	ECUACION A USAR
$t_{r1} < t \leq t_{r2}$	$0 \leq X \leq X_{22}$	$y = \left(\frac{i_{*2} X}{\alpha} \right)^{1/m}$
	$X_{22} < X \leq X_{21}$	$x = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left\{ y^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} (y - i_{*2} (t - t_{r1}))^m \right\}$
	$X_{21} < X \leq L$	$y = i_{*1} t_{r1} + i_{*2} (t - t_{r1})$
$t_{r2} < t \leq t_{p1}$	$0 \leq X \leq X_{1f1m}$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m(t - t_{r2}) \right\}$
	$X_{1f1m} < X \leq X_{1f1m1}$	$x = \alpha i_{*2}^{m-1} (t_{r2} - t_{r1})^m + \alpha m y^{m-1} (t - t_{r2})$
$t_{p1} < t \leq t_p$	$0 \leq X \leq X_{1f1m}$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m(t - t_{r2}) \right\}$
	$X_{1f1m} < X \leq L$	$x = \alpha i_{*2}^{m-1} (t_{r2} - t_{r1})^m + \alpha m y^{m-1} (t - t_{r2})$
$t > t_p$	$0 < X \leq L$	$x = \alpha y^{m-1} \left\{ \frac{y}{i_{*2}} + m(t - t_{r2}) \right\}$

NOTA:

$$X_{1f1m1} = \frac{\alpha}{i_{*2}} \left[(i_{*1} t_{r1} + i_{*2} (t_{r2} - t_{r1}))^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} (i_{*1} t_{r1})^m \right] + \alpha m (i_{*2} (t_{r2} - t_{r1}))^{(m-1)} (t - t_{r2})$$

$$t_{p1} = t_{r2} + \frac{L - \frac{\alpha}{i_{*2}} \left[(i_{*1} t_{r1} + i_{*2} (t_{r2} - t_{r1}))^m + \frac{i_{*2} - i_{*1}}{i_{*1}} (i_{*1} t_{r1})^m \right]}{\alpha m [i_{*2} (t_{r2} - t_{r1})]^{m-1}}$$

FIG 2c PERFILES SUPERFICIALES FIG 2d HIDROGRAMAS CASO II

TABLA 3. PERFIL SUPERFICIAL PARA INTENSIDADES DE PRECIPITACION DE VARIASLE. CASO II. (C) (33) . 216

4. VALIDACION DEL MODELO.

4.1 Determinación de los Parámetros α y m .

Para determinar los parámetros del modelo, se utilizó los datos de hidrogramas medidos por el Corps of Engineers (Overton y Meadows, 1976) correspondientes a experiencias realizadas en una superficie plana de concreto de 152,4 m. de longitud con 1% de pendiente. Estos hidrogramas corresponden a dos tormentas de intensidad constante, 186,5 mm/hr la primera y 101,0 mm/hr, la segunda.

La calibración consistió en encontrar los valores óptimos de los parámetros α y m , que minimizaran la función objetivo siguiente :

$$z = \sum_{j=0}^{j=1} (q(j) - q_{OBS}(j))^2 \quad (15)$$

en que $q(j)$ y $q_{OBS}(j)$ corresponden a los caudales de salida estimados y observados en un instante, y n corresponde al número de intervalos en que se ha dividido el hidrograma observado.

Como resultado de esta minimización, se obtuvo (Fig. 3) un valor de $m=1,5$ en ambos casos, mientras que para α se obtuvo dos valores dependiendo de la intensidad de la lluvia, $\alpha_1=43,82 \text{ cm}^{0.5}/\text{s}$ y $\alpha_2=41,35 \text{ cm}^{0.5}/\text{s}$

Dado que α es un parámetro dimensional, cuyas unidades dependen del valor del parámetro m , se ha estimado conveniente trabajar con un parámetro K adimensional, que resulta de aplicar la fórmula de Darcy-Weisbach para el coeficien-

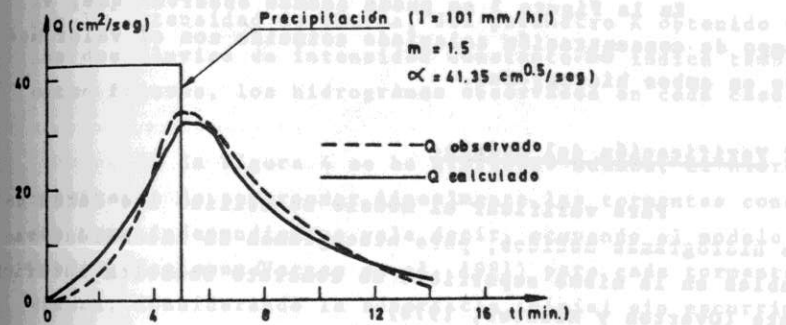
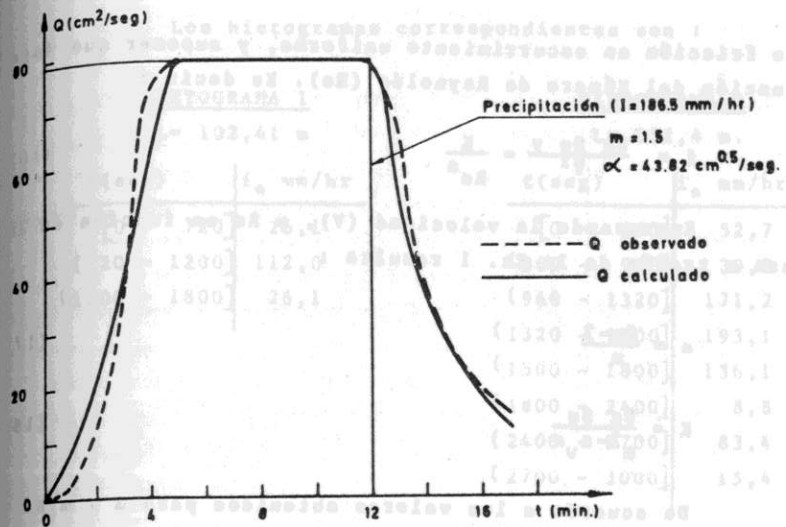


FIG. 3 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS α Y m

te de fricción en escurrimiento uniforme, y suponer que éste es función del Número de Reynolds (Re). Es decir :

$$f = \frac{8g S_o y}{V^2} = \frac{K}{Re^a} \quad (16)$$

Expresando la velocidad (V), y Re en función de la altura a través de la Ec. 1 resulta :

$$a = \frac{2m-3}{m} \quad (17)$$

$$K = \frac{8g S_o}{\alpha^{2-a} v^a} \quad (18)$$

De acuerdo a los valores obtenidos para α y m se obtiene en este caso, $a = 0$, $K_1 = 0.041$ y $K_2 = 0.046$. Estos valores indican que en ambos casos se trata de un escurrimiento turbulento en pared rugosa.

En la Figura 3 se puede además observar que, el tiempo de concentración calculado coincide con el valor medido en ambos hidrogramas.

4.2 Verificación del Modelo.

Para verificar el modelo se utilizó los datos de dos hidrogramas medidos, para hietogramas de intensidad variables en la misma superficie de concreto descrita anteriormente (Overton y Meadows, 1976).

Los hietogramas correspondientes son :

HIETOGRAMA 1

L = 102,41 m

HIETOGRAMA 2

L = 152,4 m.

t(seg)	i_* mm/hr	t(seg)	i_* mm/hr
[0 - 720]	26,1	[0 - 360]	52,7
(720 - 1200]	112,0	(360 - 960]	39,5
(1200 - 1800]	26,1	(960 - 1320]	171,2
		(1320 - 1500]	193,1
		(1500 - 1800]	136,1
		(1800 - 2400]	8,8
		(2400 - 2700]	83,4
		(2700 - 3000]	15,4

5. RESULTADOS.

En las Figs. 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos de aplicar el modelo, considerando una variación lineal, con la intensidad de lluvia, del parámetro K obtenido para las dos lluvias de intensidad constante. Se indica también en estas figuras, los hidrogramas observados en cada caso.

En la Figura 4 se ha graficado además, el hidrograma resultante de superponer linealmente las tormentas consideradas como independientes, vale decir, ocupando el modelo de Wooding-Eagleson (Vargas et al. 1981) para cada tormenta individual, considerando la superficie inicial sin escurrimiento.

Ambas figuras muestran la excelente concordancia entre los valores medidos con los obtenidos usando el modelo; en la Fig. 4 se observa también una buena estimación de los valores medidos, cuando se superponen linealmente las tormentas.

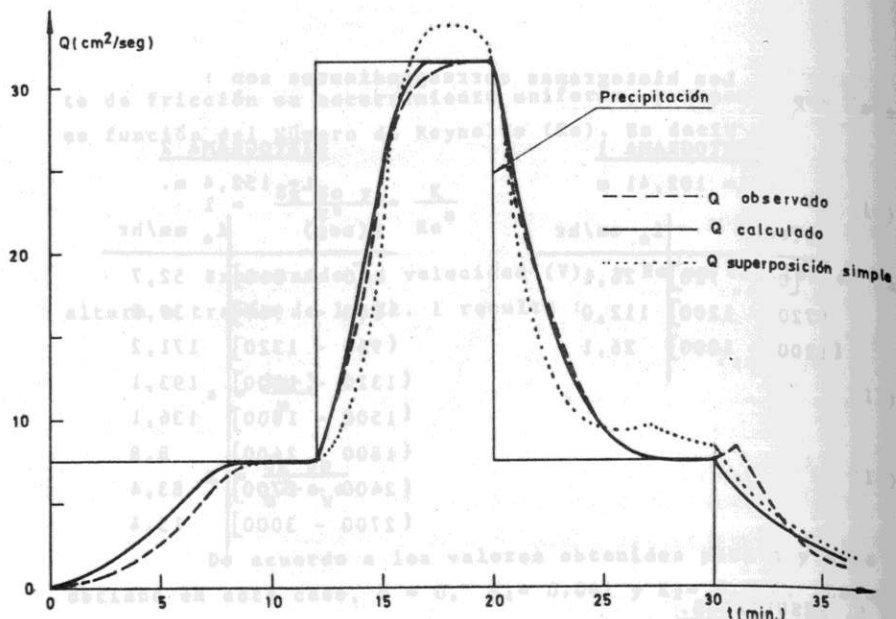


FIG. 4 APLICATION DEL MODELO. HIETOGRAMA 1 L=102.4 m.

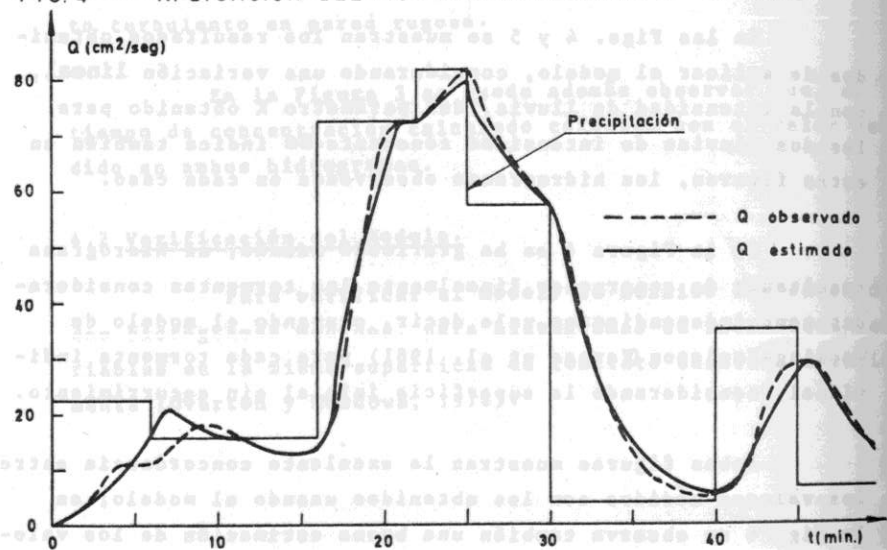


FIG. 5 APLICATION DEL MODELO. HIETOGRAMA 2 L=152.4 m.

En la Fig. 4 se observa en algunos casos un pequeño desfase en cuanto al tiempo en que se alcanza el equilibrio o tiempo de concentración, siendo menor el tiempo calculado en aproximadamente 1 minuto, ello representa en el peor de los casos (primer intervalo) una diferencia porcentual de 11%. En la Fig. 5, por el contrario, esto no es apreciable, dado que en la mayoría de los intervalos no se alcanza totalmente un estado de equilibrio. En esta situación existiría sin embargo, una sobre estimación del tiempo de concentración durante el primer intervalo, pero aparentemente ello se debería más bien a una mala determinación de la precipitación efectiva, en ese intervalo.

6. CONCLUSIONES.

Los pocos datos disponibles no permiten analizar los resultados en forma exhaustiva, sin embargo de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente :

- La estimación de los parámetros K y m puede hacerse a base de hidrogramas medidos para lluvias de intensidad constante.

En este caso, al suponer una variación lineal de K con la intensidad manteniendo m (o a) constante, se obtuvo para los hidrogramas resultados coincidentes con los valores medidos.

- El considerar la fórmula de Darcy-Weisbach para el factor de fricción, permite obtener un parámetro K adimensional, a partir del cual se obtiene un valor del parámetro α para la intensidad que se requiere, a base de los datos medidos.

- El modelo representa adecuadamente los datos de hidrogramas observados, presentando la ventaja, sobre la superposición lineal, de tener integradas todas las ecuaciones con las condiciones iniciales apropiadas.

- Si la calibración se realiza utilizando valores de intensidad de lluvia efectiva cercanos al mayor valor del hietograma a modelar, y los valores de los parámetros se suponen constantes durante la tormenta de intensidad de lluvia variable, los resultados del modelo son semejantes a los presentados. Esto se debe fundamentalmente a que estos intervalos son los que dominan durante la tormenta, en las situaciones consideradas.

BIBLIOGRAFIA.

Overton D. y Meadows M. (1976), "Stormwater Modelling". Academic Press Inc., New York.
Vargas X., Brown E. y Westenenk C. (1981), "Modelación del Flujo Superficial a Través de la Aproximación de Onda Cinemática". Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica V Congreso Nacional.

AGRADECIMIENTOS.

Las autoras del presente trabajo desean dejar constancia de sus agradecimientos al Departamento de Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Chile por el financiamiento parcial del Proyecto de Investigación I 485, del cual forma parte este trabajo.

FIG 5 APLICACION DEL MODELO. HIETOGRAMA 2

DETERMINACION DE LA LLUVIA DE CALCULO DEL ALCANTARILLADO DE SANTIAGO

Agustín Martínez L. (1) *

Rodrigo Caro C. (1) *

RESUMEN

Dada la extensión que ha adquirido la ciudad de Santiago, en el diseño del alcantarillado de aguas lluvias no es recomendable utilizar una curva única de variación de la intensidad de precipitación con el tiempo de concentración, como ha sido el procedimiento habitual (Curva de Seguridad 7 veces en 10 años). Este artículo resume los principales aspectos del análisis pluviométrico de Santiago llevado a cabo con motivo del estudio del Plan Maestro del Alcantarillado. En las conclusiones se definen cuatro zonas en las cuales la media de las precipitaciones diarias máximas tiene poca variación de modo que puede considerarse constante para toda el área que abarca la zona respectiva. Para cada una de estas cuatro zonas, se entrega la representación gráfica y analítica de las curvas de intensidad-duración-frecuencia que permiten determinar la precipitación de cálculo para áreas tributarias con diferentes tiempos de concentración y varios períodos de retorno.

(1) Ingeniero de CADE-IDEPE, Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Ltda.

* Los autores expresan su agradecimiento a los ingenieros de EMOS, Sra. Josefina Bolelli, Jefe Depto. Estudios, y Sr. Vittorio Curotto, por autorizar la publicación de este artículo que es parte del estudio del Plan Maestro del Alcantarillado de Santiago, encargado por EMOS al Consorcio Coyne et Bellier y CADE-IDEPE.