



## CURSO: MECÁNICA DE FLUIDOS II

### UNIDAD IV

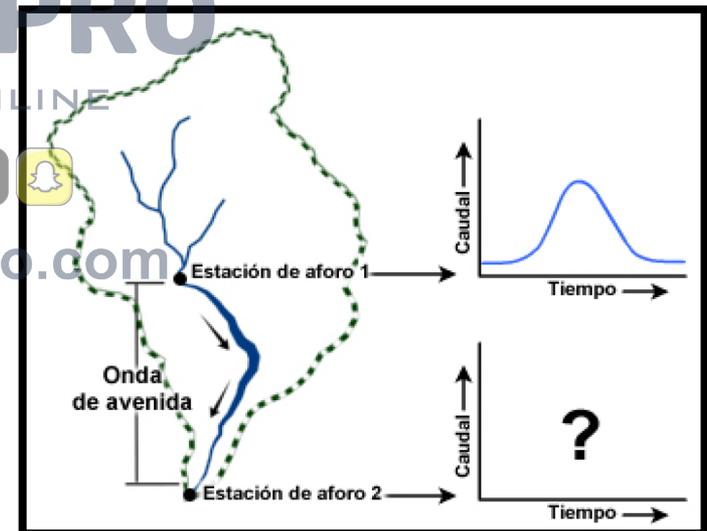
# Tránsito de hidrogramas

### SEMANA 15

## TEMAS :

- Tránsito de hidrogramas en cauces en canales abiertos.
- Tránsito de hidrogramas en embalses.

Docente: Ing. David Requena Machuca



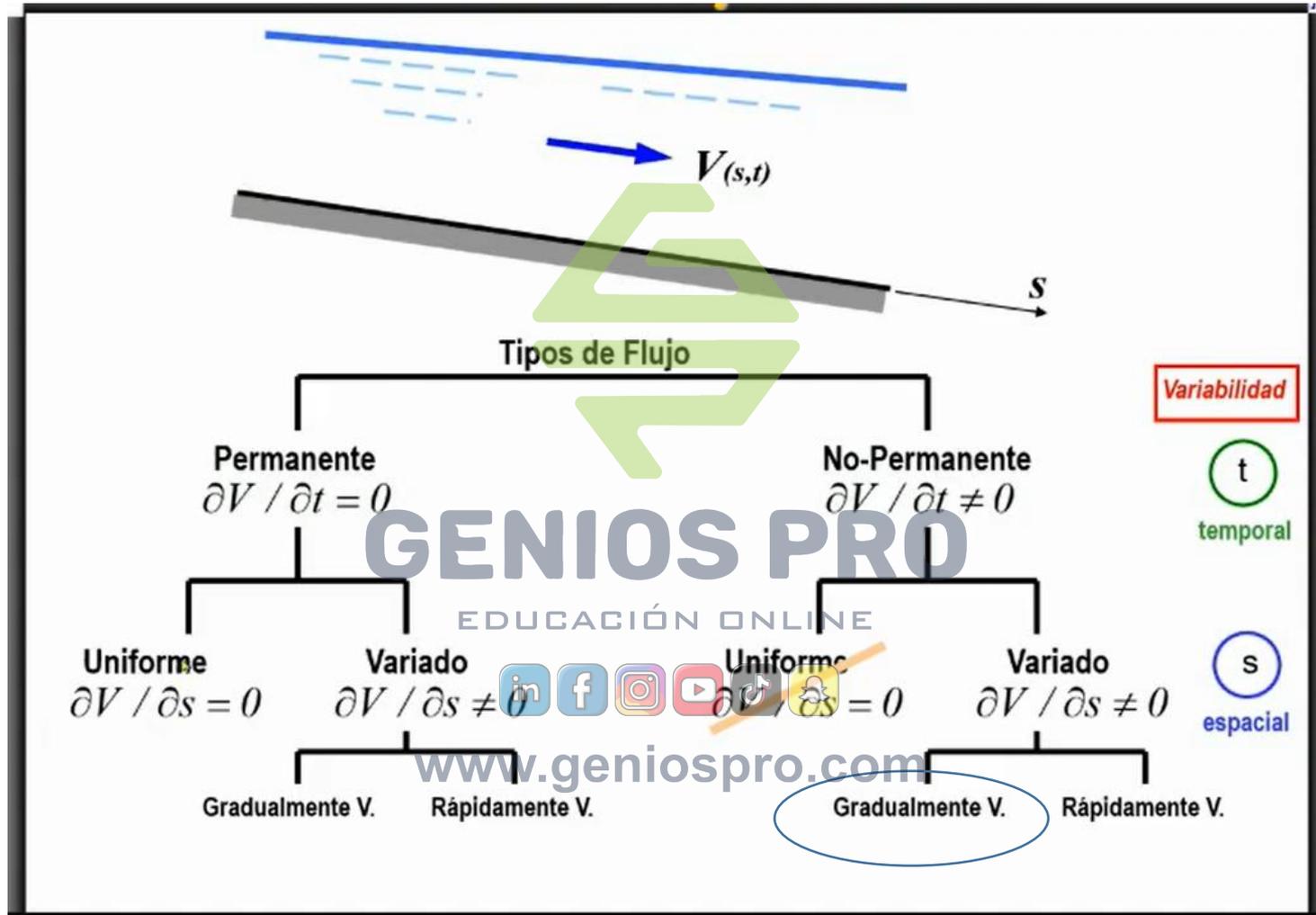


Figura 01: Clasificación del flujo de fluidos en un canal.

## ¿Qué es un hidrograma?

El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, entre otros.

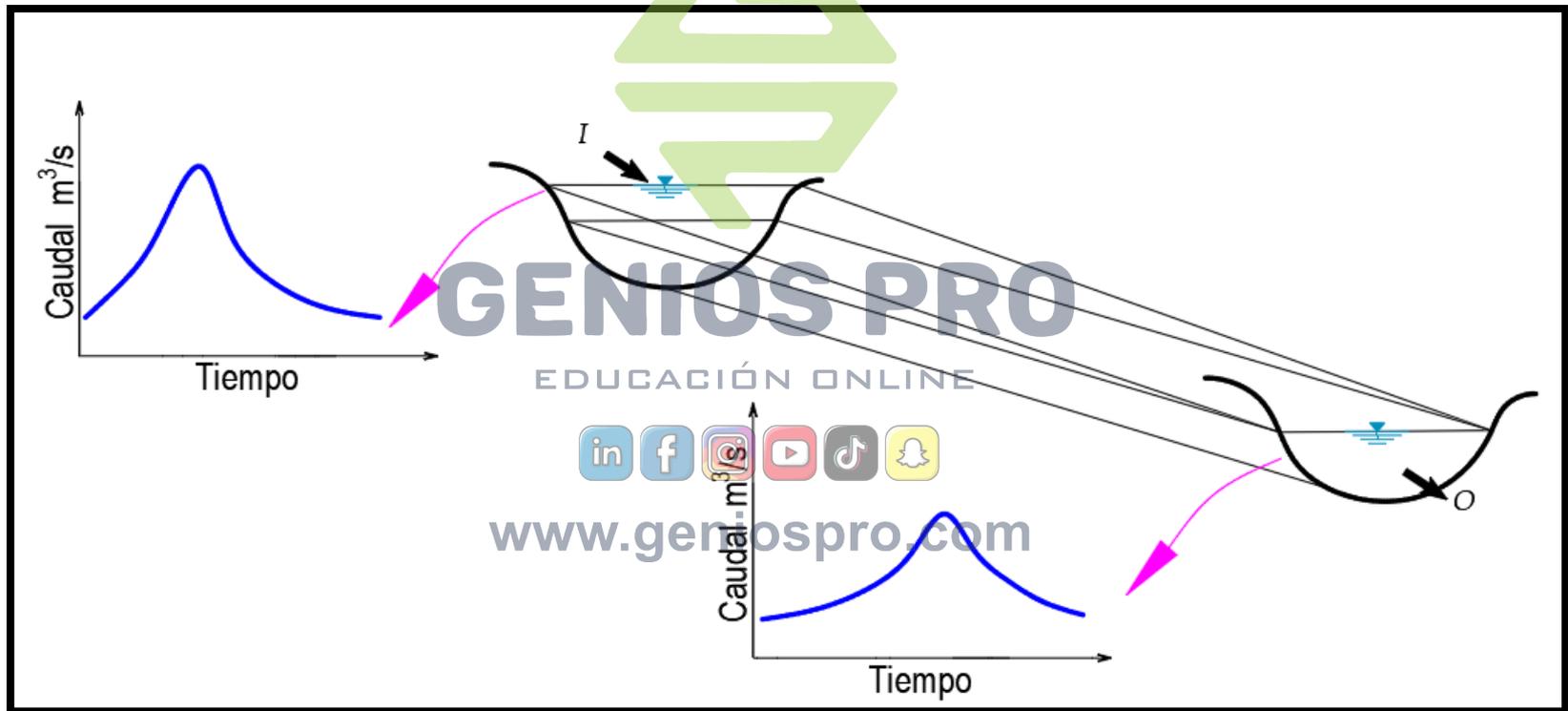
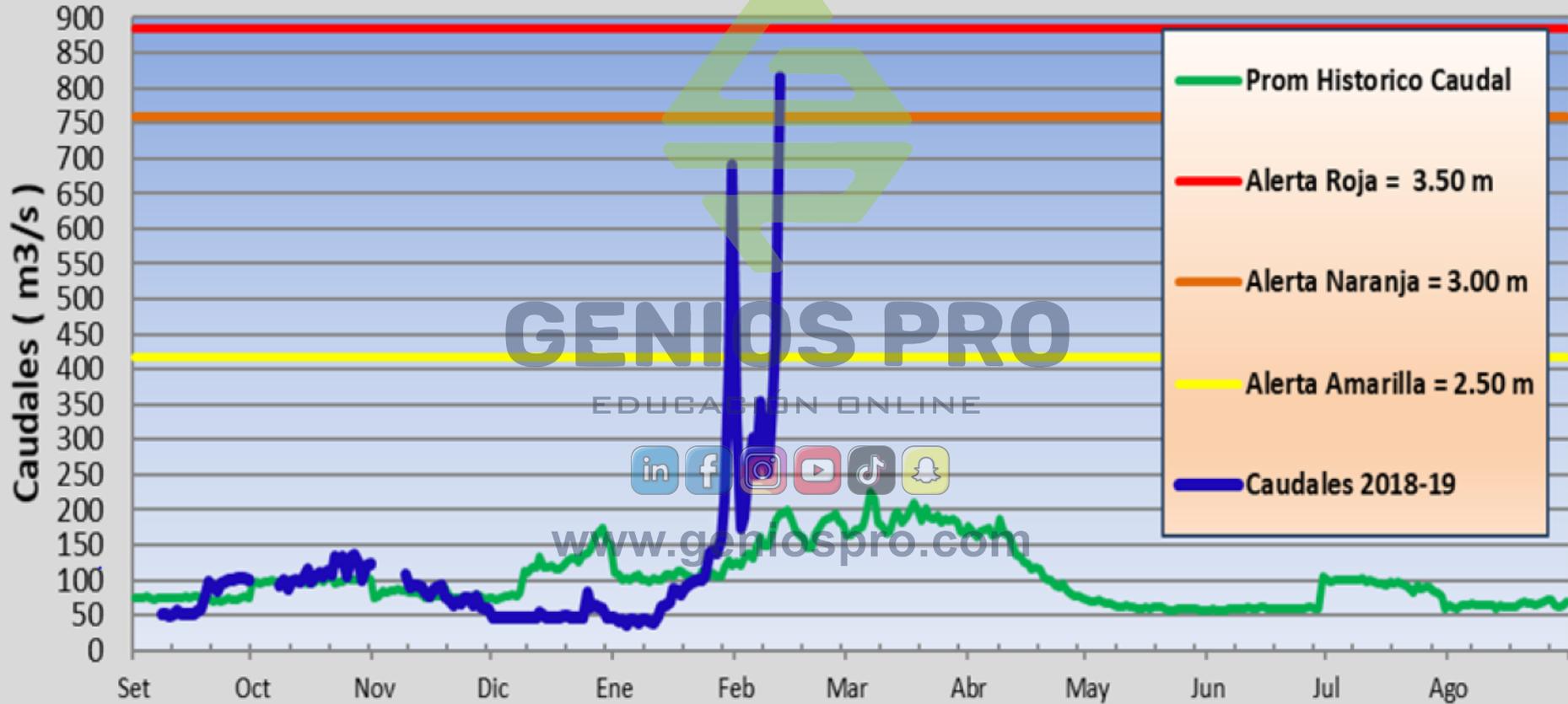


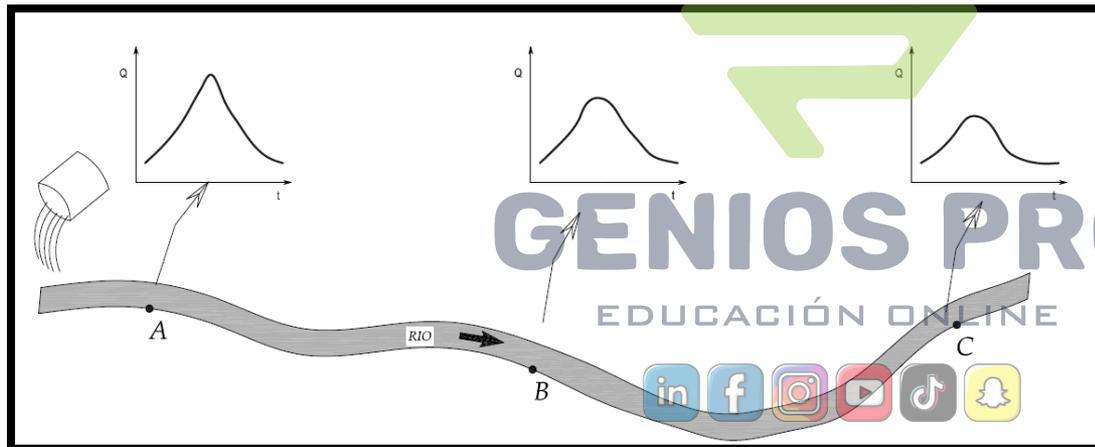
Figura 01: Hidrogramas en un canal natural.

HIDROGRAMA DE CAUDALES DEL RIO MANTARO  
ESTACION PUENTE BREÑA



## 15.- Tránsito de avenida

Maidment menciona: **el tránsito de avenida es un procedimiento matemático para predecir el cambio de magnitud, velocidad y forma de una onda de avenida en función del tiempo** (es decir, el hidrograma de flujo) en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua (cauce o canal)



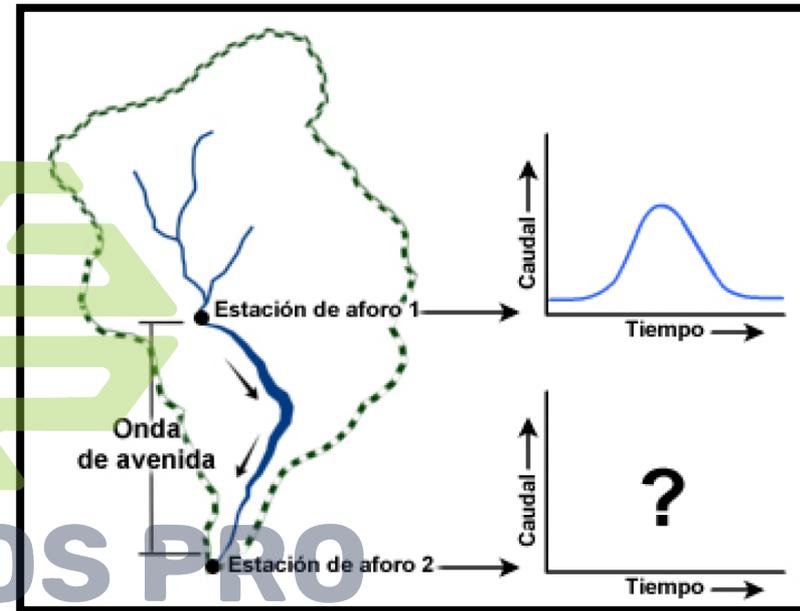
Calcular el tránsito de un hidrograma es obtener el hidrograma del punto C a partir del hidrograma del punto A.

Figura 02: Proceso de tránsito de avenida en un cauce de un río.

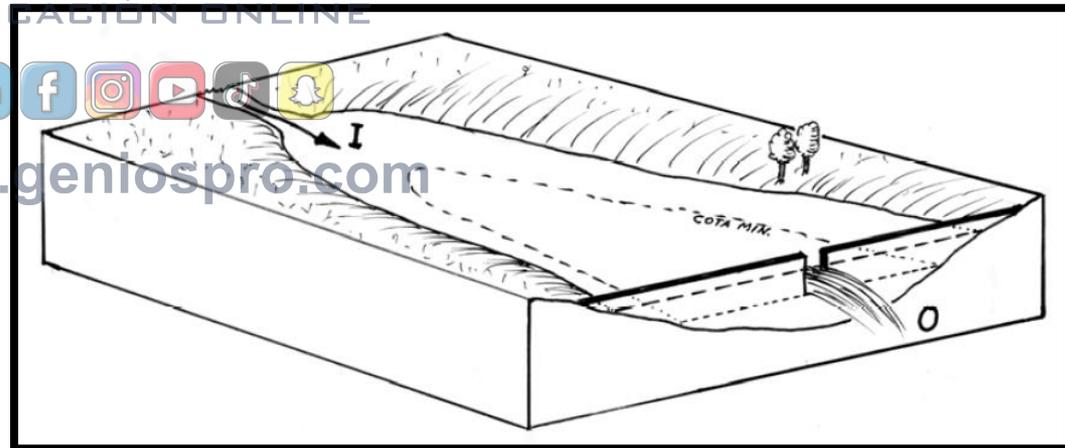
Para Ravelo define como **tránsito de avenidas en cauces al cálculo de los gastos en una sección transversal específica de un río.**

## Clasificación Tránsito de hidrogramas

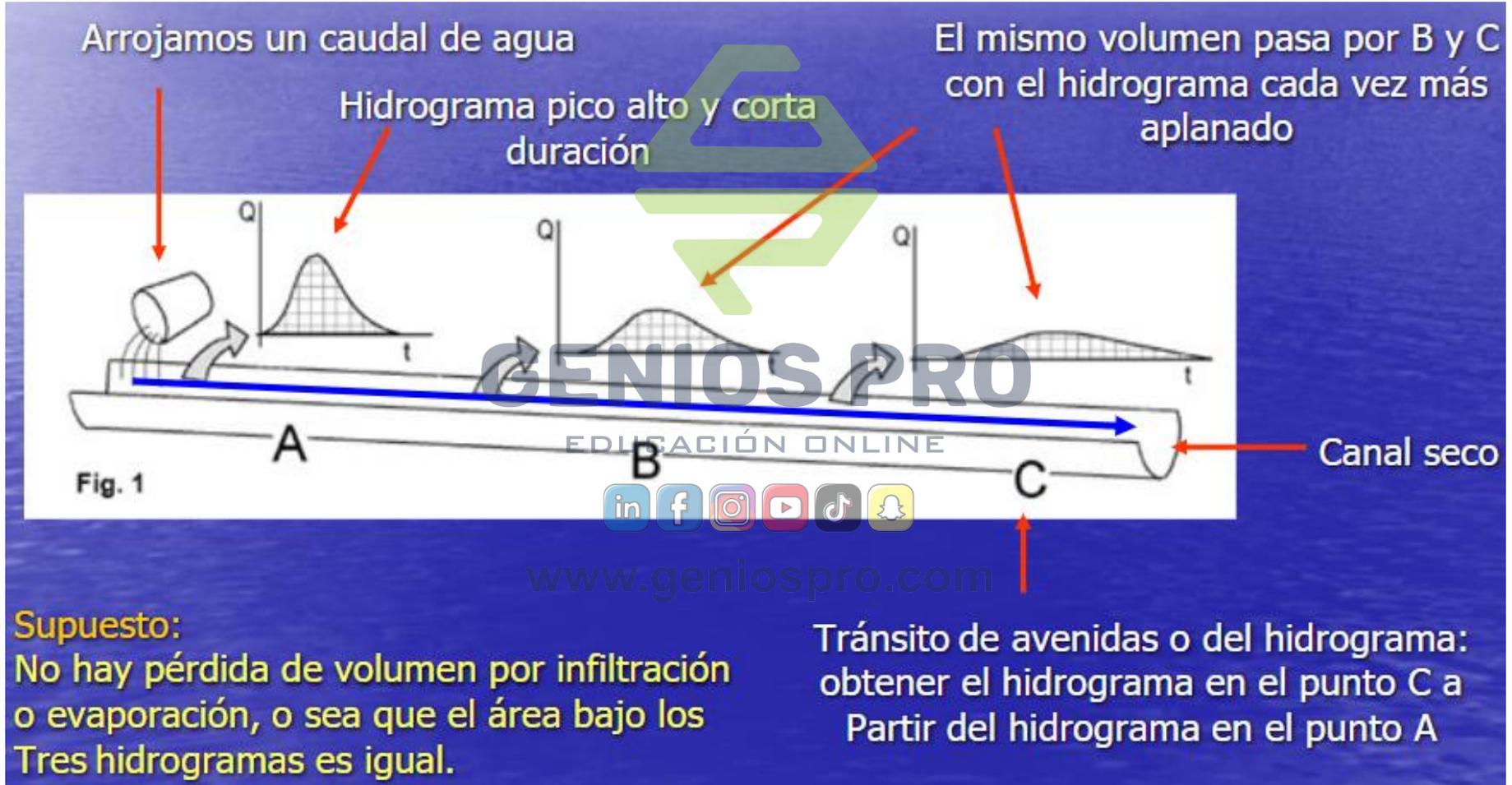
1.- Tránsito de hidrogramas en cauces en canales abiertos.



2.- Tránsito de hidrogramas en embalses.

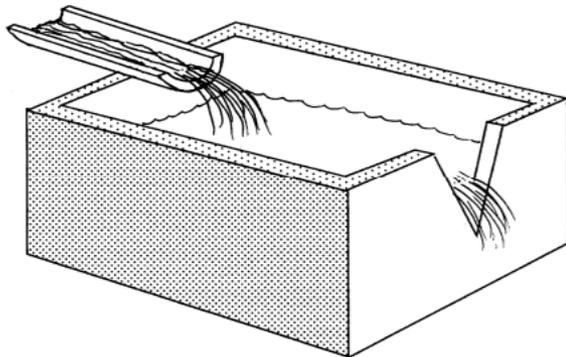
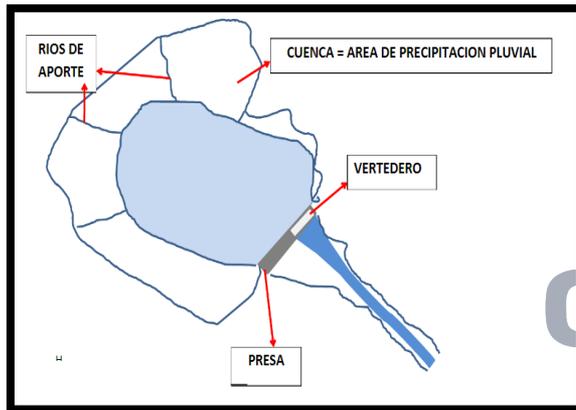


## 15.1.- Tránsito de avenida en canales o cauces de ríos



## 15.2.- Tránsito de avenida en embalses

Un aumento en el caudal de entrada al deposito implica un aumento en el caudal de salida pero atenuado por el deposito.



Si el caudal de entrada (I) produce un hidrograma como el de la figura.



EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com



En la salida se producirá un hidrograma más aplanado.

En un canal de corriente (río), una onda de inundación puede ser reducida en magnitud y alargada en el tiempo de viaje, es decir, atenuada, por almacenamiento en el alcance entre dos secciones. Los procedimientos de tránsitos de avenidas se utilizan para la predicción de avenidas, diseño de almacenamientos, simulación del movimiento del agua en cauces y presas.

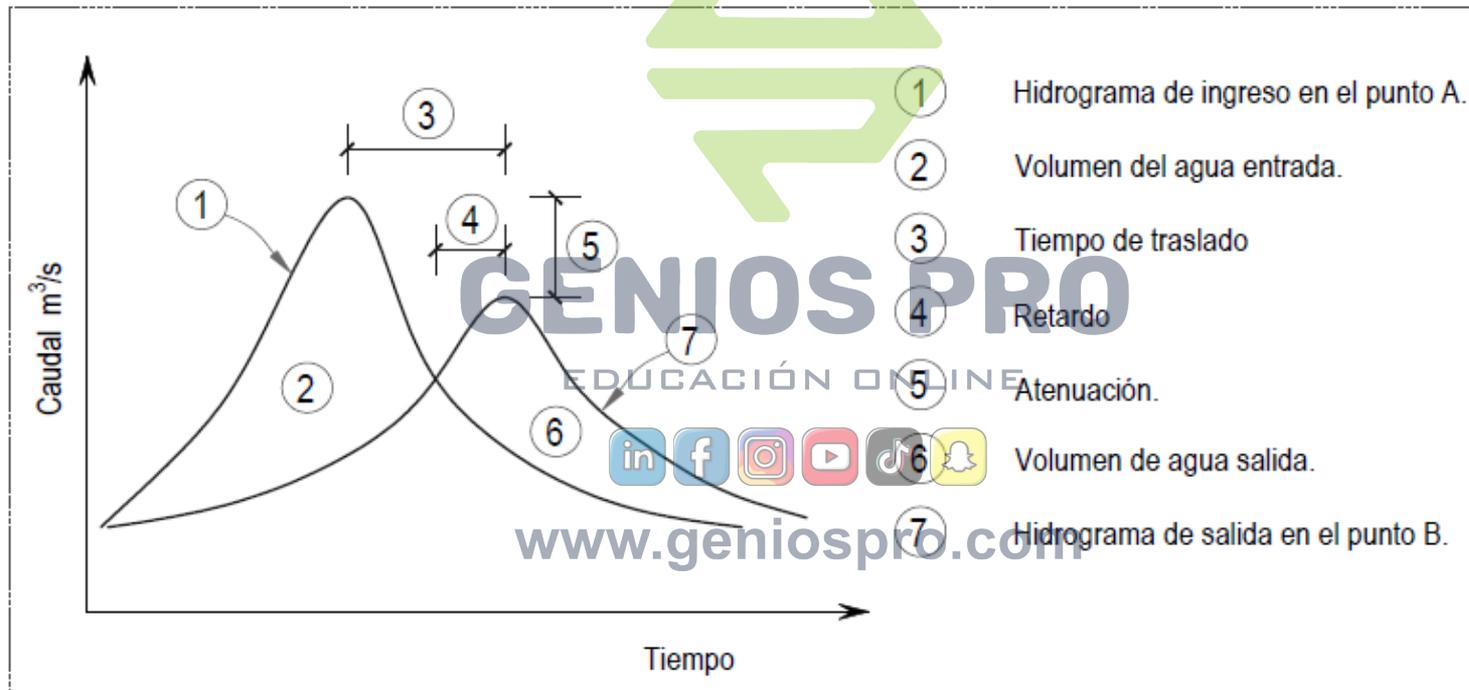


Figura 03: Componentes de un tránsito de avenidas.

## 15.2.- Clasificación de métodos

A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios procedimientos para llevar a cabo el tránsito de avenidas y comúnmente se distinguen dos categorías

Método Hidrológico	Método Hidráulicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza la ecuación de continuidad.</li> <li>- Utiliza relación entre el almacenamiento y el gasto de salida</li> <li>- No tomo en cuenta cambios de geometría de la sección ni efectos del remanso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza la ecuación de continuidad.</li> <li>- Ecuación conservación de la cantidad de movimiento para flujo no permanente.</li> <li>- La solución numérica de esta ecuación permite conocer la variación detallada de las características hidráulicas del río.</li> </ul>

### 15.3.- Ecuaciones de Saint-Venant

Las ecuaciones generales de movimiento de los fluidos son **las ecuaciones de Navier-Stokes**; de las cuales **solo tiene solución para unos cuantos casos particulares**; no obstante, se pueden establecer ecuaciones simplificadas de manera que describan al flujo no permanente en cauces con una adecuada aproximación.

Las ecuaciones de Saint-Venant (Saint-Venant, 1871) de **continuidad** y **momentum** se usan generalmente para describir el flujo inestable en los ríos

Las ecuaciones completas de Saint Venant que **gobiernan el flujo NO PERMANENTE unidimensional gradualmente variado** en canales de lecho rígido sin considerar la entrada lateral. Estas ecuaciones, que describen la conservación de las ecuaciones de masa y momento se describen a continuación

*Ecuación de continuidad*

Forma conservativa 
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Forma no conservativa 
$$v \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

*Ecuación de momentum*

Forma conservativa

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0$$

Termino de  
aceleración  
local

Termino de  
aceleración  
convectiva

Termino de  
fuerza de  
presión

Termino de  
fuerza  
gravitacional

Termino de  
fuerza de  
fricción

EDUCACIÓN ONLINE

Forma no conservativa

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0$$

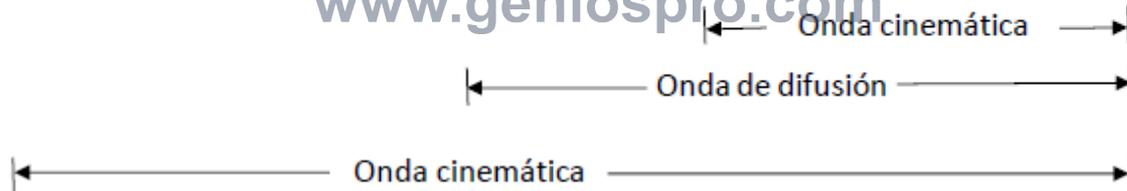


Figura 04: Resumen de las ecuaciones de Saint-Venant.

## 15.4.- Métodos de calculo

Existen diversos métodos, de los cuales se presentan los más conocidos en el esquema.

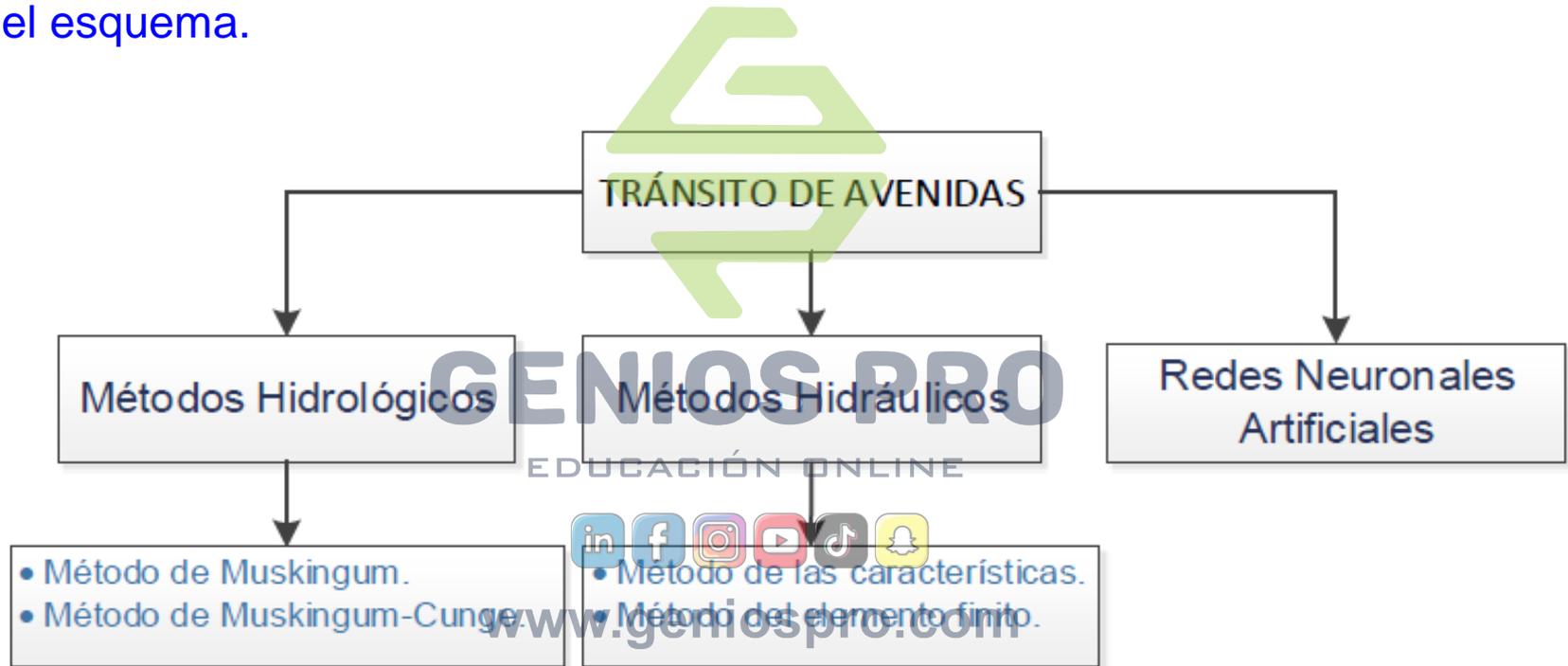
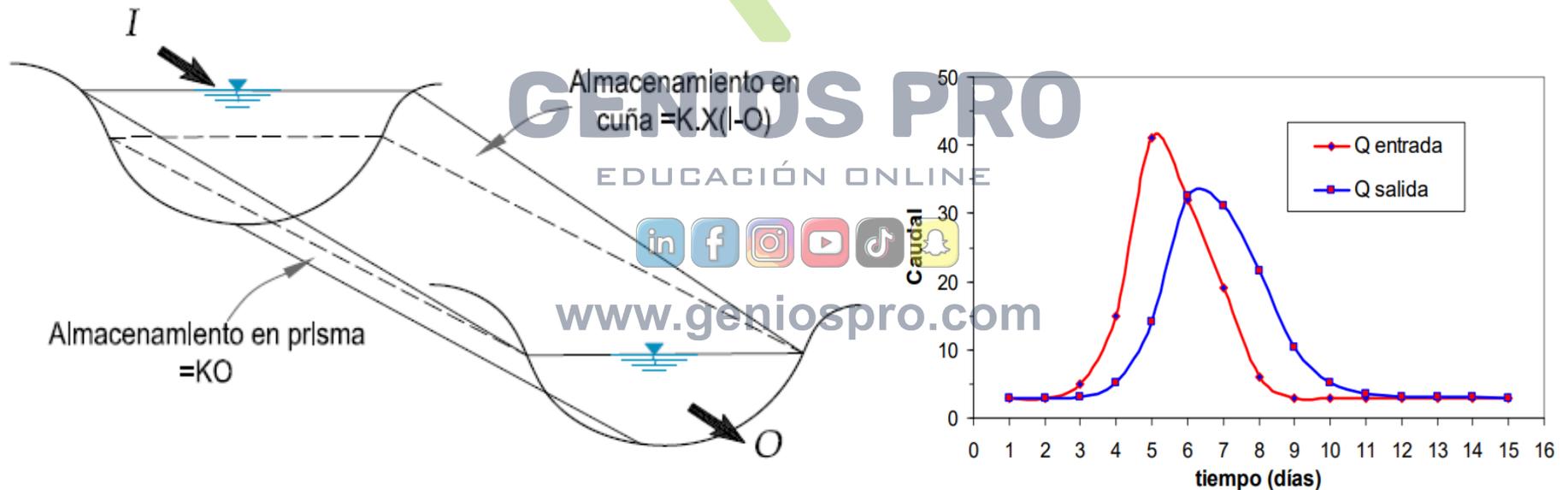


Figura 05: Métodos de tránsito de avenidas.

### 15.4.1.- Método de Muskingum:

Es un método de tránsito hidrológico. Este método fue desarrollado en 1930 cuando se realizaba un proyecto de protección contra inundación en el río Muskingum-Ohio, E.U.A.; presentado por G. T. McCarthy

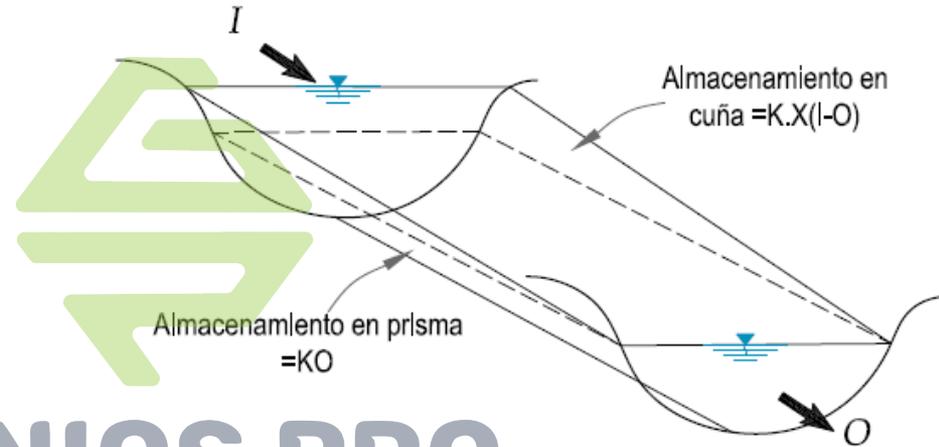
Este método involucra el concepto de almacenamiento en prisma y de cuña



El método usa una relación algebraica lineal entre el almacenamiento, las entradas y las salidas junto con dos parámetros  $K$  y  $X$ .

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - O_t$$

$$S_t = K[XI_t + O_t(1 - X)]$$



# GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

Donde:

$S_t$  = Volumen de almacenamiento, en  $m^3$

$I_t$  = Caudal de ingreso (Input), en  $m^3/s$

$O_t$  = Caudal de salida (Output), en  $m^3/s$

$t$  = Tiempo, en s

$K$  = Coeficiente de almacenamiento.

$X$  = Factor de peso, adimensional.

Este método requiere de registros históricos para conocer los valores de  $X$  y  $K$ , para posterior calcular hidrogramas recientes.

Si se conocen  $K$  y  $X$ , el tránsito se realiza utilizando la ecuación.

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Siendo  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  los coeficientes de tránsito definido en términos de  $X$ ;  $K$  y  $\Delta t$ .

$$C_0 = \frac{-KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t}$$

$$C_1 = \frac{KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{K(1 - X) - 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t}$$

**GENIOS PRO**

EDUCACIÓN ONLINE



Siendo:  $C_0 + C_1 + C_2 = 1$

[www.geniospro.com](http://www.geniospro.com)

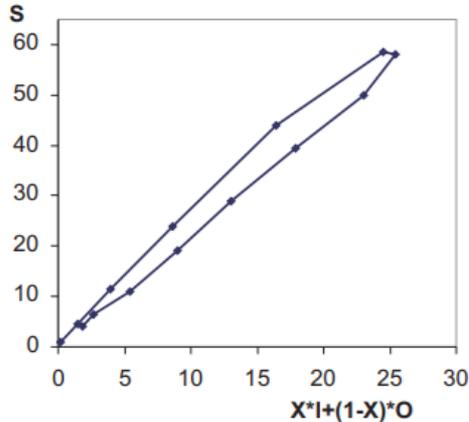
## El valor de X

El valor de X determina el grado de atenuación de la onda al pasar por el tramo del río, depende de la forma del almacenamiento de cuña y varía entre  $0 \leq x \leq 0,5$ . El valor de X se aproxima a 0.00 en cauces muy caudalosos y de pendiente pequeña y 0.5 en caso contrario.

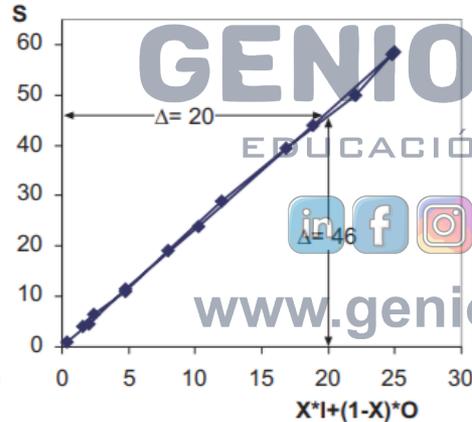
## El valor de K

K es un coeficiente de almacenamiento que tiene la dimensión de tiempo y es aproximadamente igual al tiempo de recorrido de la ola de inundación desde el punto aguas arriba al punto aguas abajo (tramo del cauce); que expresa la relación entre almacenamiento y descarga en un río.

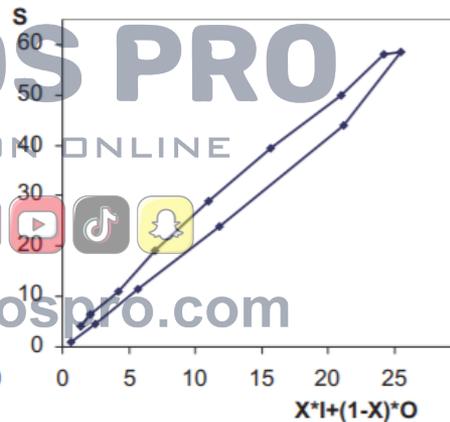
X=0,1



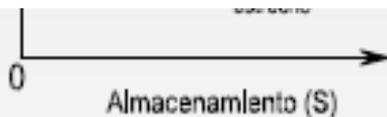
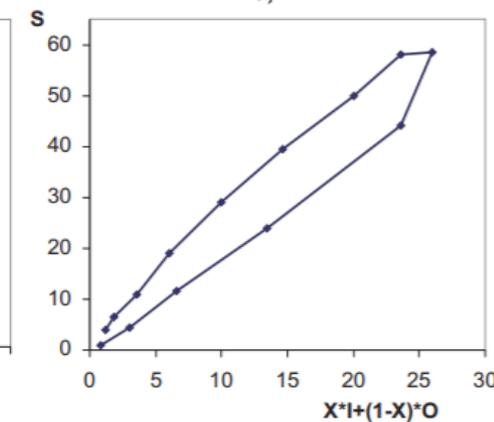
X=0,2



X=0,3



X=0,4

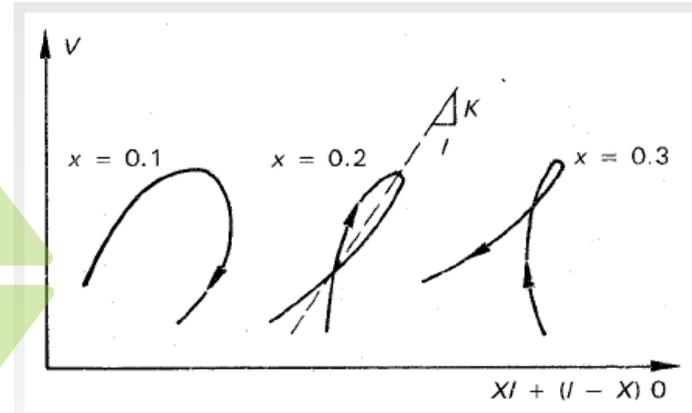


$$\frac{S_t}{XI_t + O_t(1 - X)} = K$$

Procedimiento de calculo del método.

### 1.- Primer paso.

calibración previa para obtener los parámetros  $k$  y  $x$  de un hidrograma históricos de entrada y salida.



### 2.- Segundo paso.

Calcular los coeficientes de TRANSITOS

$$C_1 = \frac{KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t}$$



### 3.- Tercer paso.

Después de calcular los coeficientes y se tenga el HIDROGRAMA DE ENTRADA se procede a transitar el Hidrograma mediante la formula siguiente.

www.geniospro.com

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

## 15.1.- EJERCICIOS 01

Un canal natural se pide transitar el hidrograma del punto A, al punto B, como se muestra en la figura. Con los siguientes datos:

Hidrograma histórico.

[1] t	[2] I	[3] O
h (horas)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
0	20	20
4	106	30
8	75	43
12	60	56
16	55	58
20	45	58
24	30	54
28	20	47
32	20	37
36	20	31
40	20	27
44	20	24



Hidrograma a transitar.

t	I
h (Horas)	m <sup>3</sup> /s
0	20
4	120
8	100
12	80
16	60
20	40
24	30
28	25
32	20
36	20
40	20
44	20

## 1.- Primer paso.

Para la resolución de este método nos apoyaremos mediante tablas para el calculo de cada componente de la ecuaciones.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
t	I	O	I-O	V almacenado	Vt
h (horas)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	(dt)m <sup>3</sup> /s	(dt)m <sup>3</sup> /s
				$([4]_i + [4]_{i-1})/2$	$([5]_i + [6]_{i-1})$

**Columna 1 (t):** La variación de tiempo del hidrograma (minutos, horas o días).

**Columna 2 (I):** Caudal de ingreso en el tiempo (t).

**Columna 3 (O):** Caudal de salida en el tiempo (t).

**Columna 4 (I-O):** Variación de caudal en el tiempo (t).

**Columna 5 (V almacenado):** Volumen promedio  $([4]_i + [4]_{i-1})/2$ .

**Columna 6 (Vt):** Volumen acumulado  $([5]_i + [6]_{i-1})$

Con los valores iniciales calculados se procede a realizar diferentes pruebas de valores de X para encontrar el valor que se ajuste a un buen ajuste en la grafica de volumen de almacenamiento vs caudal.

PRIMERA PRUEBA		
[7]	[8]	[9]
X1=		0.1
Y=XI+(1-X)O		
X1*I[2]	(1-X1)*O[3]	Total ([7]+[8])

$$S_t = K[XI_t + O_t(1 - X)]$$

$$\frac{S_t}{XI_t + O_t(1 - X)} = K$$

[7] =  $XI_t$

[8] =  $O_t(1 - X)$

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE



**Columna 7 (X1\*I[2]):** Resulta de multiplicar el valor de (X) por el valor caudal de ingreso (I).

**Columna 8 ((1-X1)\*O[3]):** Resulta de multiplicar caudal de salida (O) por valor de la diferencia de la unidad respecto al valor de (X).

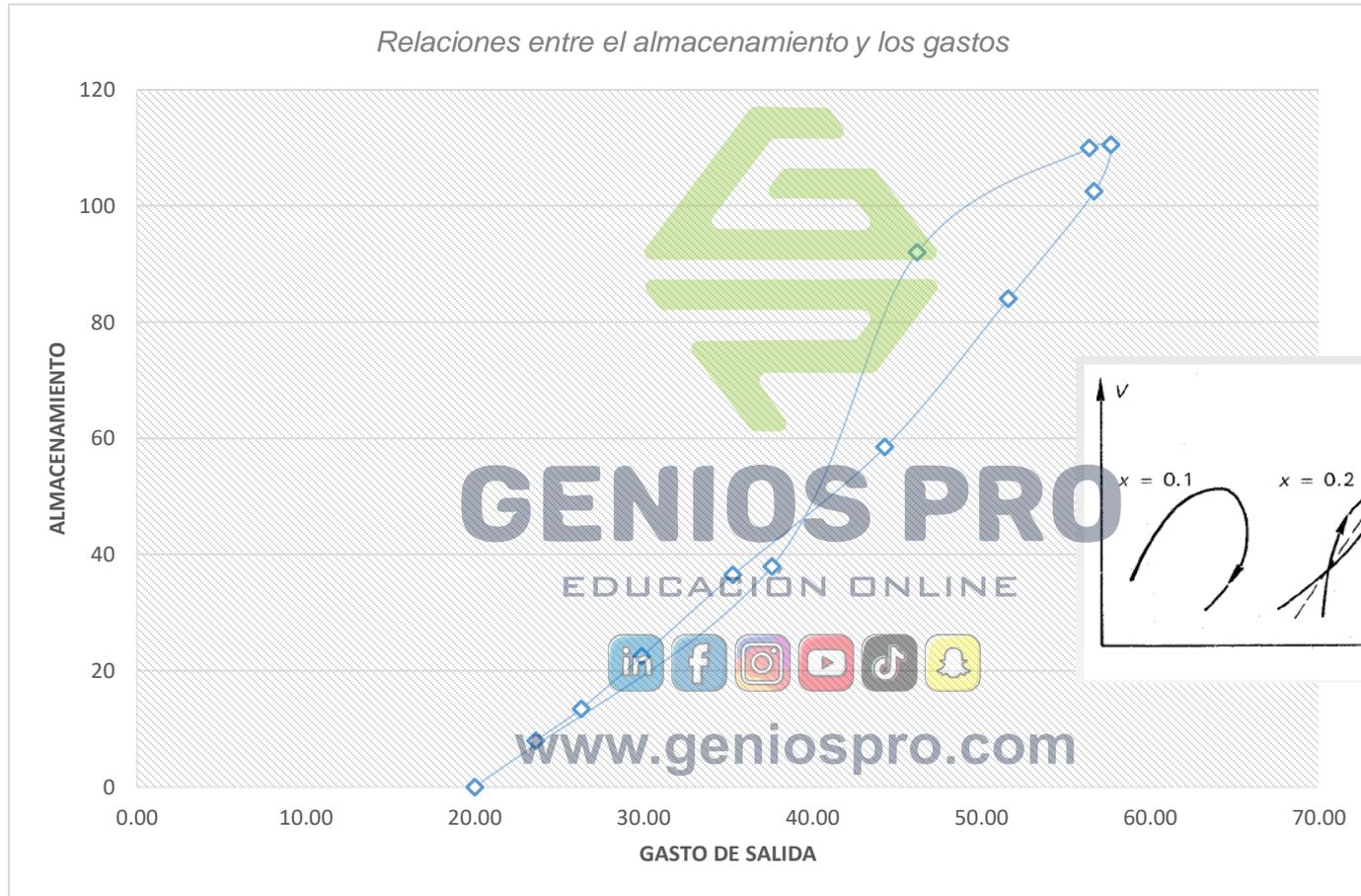
**Columna 9 (([7]+[8])):** Resulta de sumar la columna 7 y 8.

Realizar la grafica de los valores de la columna 9 vs los valores de la columna 6 de volúmenes de almacenamiento.

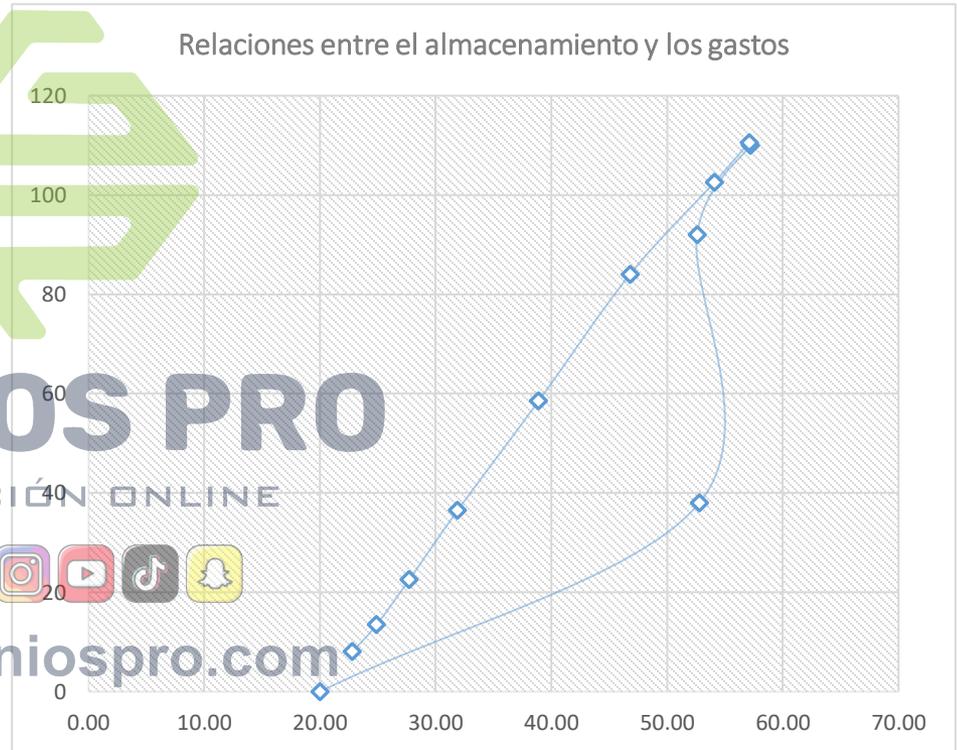
Realicemos nuestra tablas para el calculo de cada componente de la ecuaciones.

DATOS:						PRIMERA PRUEBA		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
t	I	O	I-O	V almacenado	Vt	X1=		0.1
h (horas)	m3/s	m3/s	m3/s	(dt)m3/s	(dt)m3/s	Y=XI+(1-X)O		
				$([4]i+[4]i-1)/2$	$([5]i+[6]i-1)$	X1*I[2]	(1-X1)*O[3]	Total ([7]+[8])
0	20	20	0	0	0	2.00	18.00	20.00
4	106	30	76	38	38	10.60	27.00	37.60
8	75	43	32	54	92	7.50	38.70	46.20
12	60	56	4	18	110	6.00	50.40	56.40
16	55	58	-3	0.5	110.5	5.50	52.20	57.70
20	45	58	-13	-8	102.5	4.50	52.20	56.70
24	30	54	-24	18.5	84	3.00	48.60	51.60
28	20	47	-27	-25.5	58.5	2.00	42.30	44.30
32	20	37	-17	-22	36.5	2.00	33.30	35.30
36	20	31	-11	-14	22.5	2.00	27.90	29.90
40	20	27	-7	-9	13.5	2.00	24.30	26.30
44	20	24	-4	-5.5	8	2.00	21.60	23.60
					Volumene de almacenamiento			Hidrograma de salida

Realizar la grafica gasto de salida vs almacenamiento.

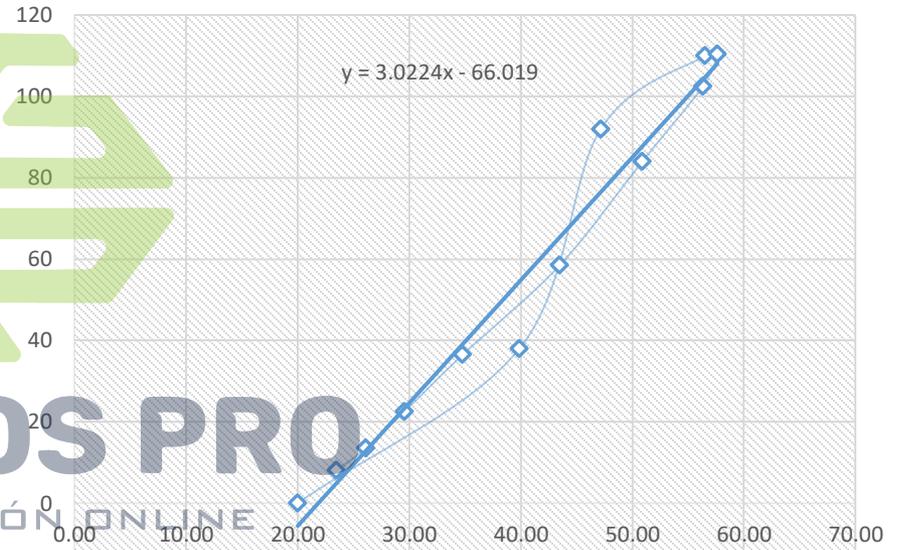


SEGUNDA PRUEBA			
[6]	[7]	[8]	[9]
Vt	X2=		0.3
(dt)m3/s	Y=XI+(1-X)O		
([5]i+[6]i-1)	X2*I	(1-X2)*O	Total = Y
0	6.00	14.00	20.00
38	31.80	21.00	52.80
92	22.50	30.10	52.60
110	18.00	39.20	57.20
110.5	16.50	40.60	57.10
102.5	13.50	40.60	54.10
84	9.00	37.80	46.80
58.5	6.00	32.90	38.90
36.5	6.00	25.90	31.90
22.5	6.00	21.70	27.70
13.5	6.00	18.90	24.90
8	6.00	16.80	22.80
Volumene de almacenamiento			Hidrograma de salida



[6]	[7]	[8]	[9]
Vt	X3=		0.13
(dt)m3/s	Y=XI+(1-X)O		
([5]i+[6]i-1)	X3*I	(1-X3)*O	Total
0	2.60	17.40	20.00
38	13.78	26.10	39.88
92	9.75	37.41	47.16
110	7.80	48.72	56.52
110.5	7.15	50.46	57.61
102.5	5.85	50.46	56.31
84	3.90	46.98	50.88
58.5	2.60	40.89	43.49
36.5	2.60	32.19	34.79
22.5	2.60	26.97	29.57
13.5	2.60	23.49	26.09
8	2.60	20.88	23.48
Volumene de almacenamiento			Hidrograma de salida

Relaciones entre el almacenamiento y los gastos



GENIOS PRO  
 EDUCACIÓN ONLINE  
 www.geniospro.com

$$K = \frac{100 (4) 3600}{(55 - 20)} = 41,142.86 \text{ s}$$

$$K = 11.43 \text{ horas}$$

DATOS OBTENIDOS PARA EL CALCULO DE TRASITO MEDIANTE MUSKINGUM

dt	4		Intervalo de tiempo
x	0.13		Factor de peso adimensional
Almacenamiento inicial	0		Se escoge la grafica mas parecida a una recta y de la cual se escoge el trama recto
Almacenamiento final	100		
gasto de salida inicial	20		
gasto de salida final	55		
k	11.43	Hoaras	la pendiente de la recta del grafico anterior

## 2.- Segundo paso.

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

Calcular los coeficiente de TRANSITOS		
C0	0.04	$C_0 = \frac{-KX + 0.5 \Delta t}{K - KX + 0.5 \Delta t}$
C1	0.29	$C_1 = \frac{KX + 0.5 \Delta t}{K - KX + 0.5 \Delta t}$
C2	0.67	$C_2 = \frac{K - KX - 0.5 \Delta t}{K - KX + 0.5 \Delta t}$
Comprovacion	1	ok Tiene que sumar a la unidad

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1.0$$

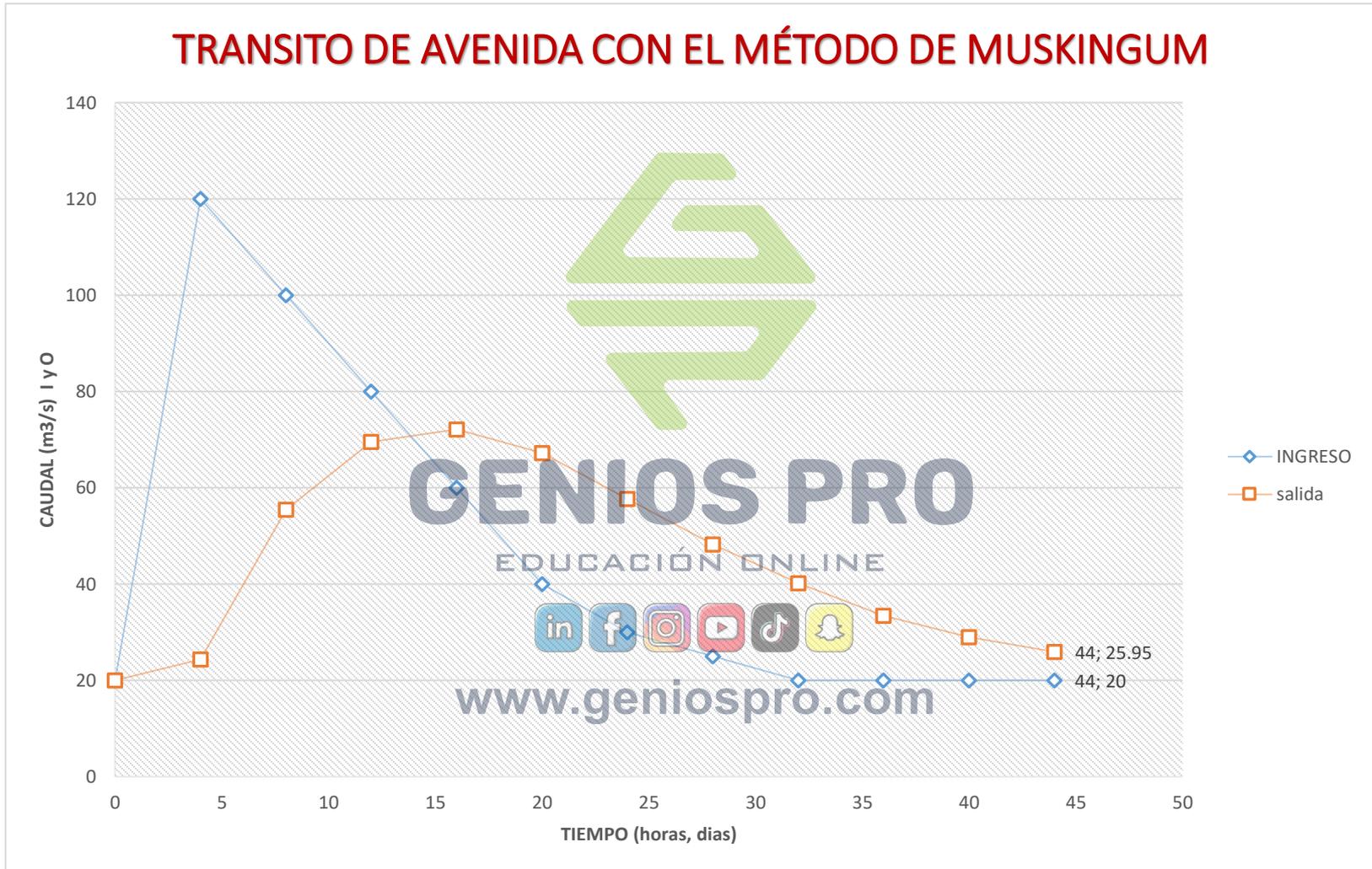
## 3.- Tercer paso.

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

C0	0.04
C1	0.29
C2	0.67

i	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	t	I	C0*Ii	C1*Ii-1	C2*Oi-1	Oi
	h (Horas)	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
1	0	20	...	...	...	20.00
2	4	120	5.2	5.84	13.30	24.31
3	8	100	4.3	35.02	16.17	55.50
4	12	80	3.4	29.19	36.91	69.54
5	16	60	2.6	23.35	46.25	72.18
6	20	40	1.7	17.51	48.01	67.24
7	24	30	1.3	11.67	44.72	57.69
8	28	25	1.1	8.76	38.37	48.20
9	32	20	0.9	7.30	32.06	40.21
10	36	20	0.9	5.84	26.74	33.44
11	40	20	0.9	5.84	22.24	28.94
12	44	20	0.9	5.84	19.25	25.95
		120				72.18
			caudal de atenuacion		47.82	

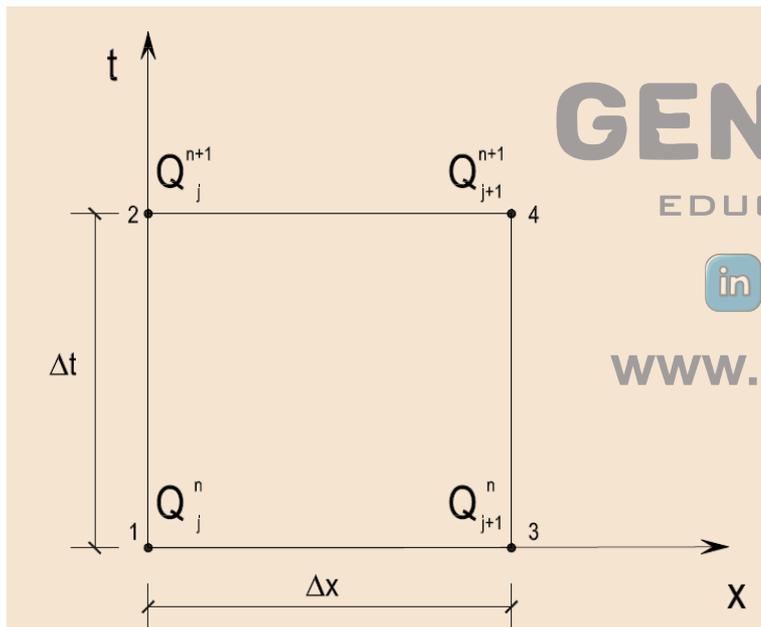
## TRANSITO DE AVENIDA CON EL MÉTODO DE MUSKINGUM



### 15.4.2.- Método de Muskingum-Cunge:

Cunge (1969), mezcló la precisión del método de difusión (método hidráulico) con la sencillez de Muskingum, para los casos en que no se dispone de datos hidrológicos (es decir, datos de flujo), pero donde se pueden determinar con facilidad datos hidráulicos del cauce, es clasificado como un método hidrológico

La ecuación de tránsito del método Muskingum-Cunge definido en la configuración típica de la cuadrícula de cuatro puntos es



GENIOS PRO

esquema de diferencias finitas

EDUCACIÓN ONLINE



$$Q_{j+1}^{n+1} = C_0 Q_j^{n+1} + C_1 Q_j^n + C_2 Q_{j+1}^n$$

www.geniospro.com

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Esquema del plano x-t para el modelo Muskingum-Cunge.

Donde:  $Q$  es la descarga,  $j$  es un índice espacial,  $n$  es un índice temporal en los nodos de la célula computacional según anterior;  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  son coeficientes de tránsito.

Los coeficientes de enrutamiento son los siguientes:

$$C_0 = \frac{-1 + C + D}{1 + C + D}$$

$$C_1 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D}$$

$$C_2 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D}$$



**GENIOS PRO**

EDUCACIÓN ONLINE

Donde  $C$  y  $D$  son números de Courant y de Reynolds respectivamente



[www.geniospro.com](http://www.geniospro.com)

El numero de Courant (C) es la relación de la celeridad de la onda de inundación a la celeridad de la red.

El numero de Reynolds (D) es la relación de la difusividad hidráulica con la difusividad de la rejilla.

$$C = c \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

$$Re = D = \frac{Q_o}{B \cdot S_o \cdot c \cdot L}$$

$$D = \frac{q}{S_o \cdot c \cdot \Delta x}$$

La celeridad de la onda se define como sigue:

$$c = \beta(Q/A) = \beta(q/d)$$

Donde:

$q$  = Descarga de anchura unitaria.

$S_o$  = Pendiente del canal.

$c$  = Celeridad de la onda.

$\Delta t$  = Intervalos de tiempo.

$\Delta x$  = Intervalos de espacio.

$\beta$  = Exponente de la clasificación.

$A$  = Área de flujo.

$d$  = Profundidad de flujo.

**GENIOS PRO**

EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com

Recordando la ecuación general del método de Muskingum:

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_0 Q_j^{n+1} + C_1 Q_j^n + C_2 Q_{j+1}^n$$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Generar un cuadro de tabulaciones para el desarrollo del método:

i	[1]	[2]	[3]	[4]	[4]	[5]
	t	I	$C_0 \cdot I_i$	$C_1 \cdot I_{i-1}$	$C_2 \cdot O_{i-1}$	$O_i$
	h	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s

## 15.1.- EJERCICIOS 02

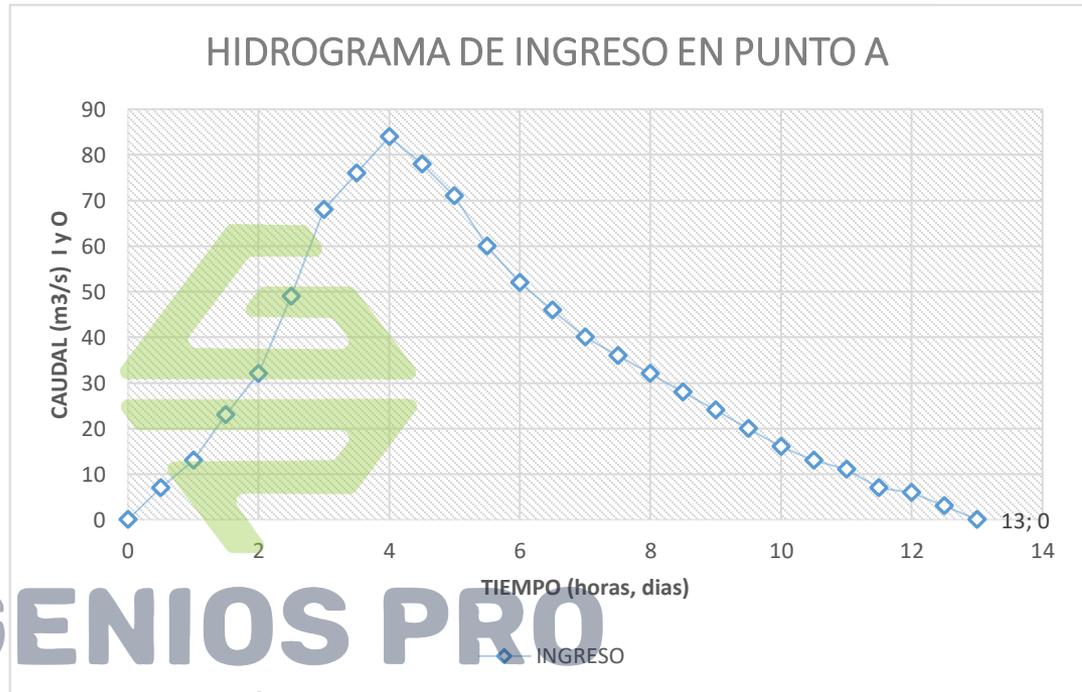
Un canal natural se pide transitar el hidrograma del punto A, al punto B, como se muestra en la figura. Con los siguientes datos:

$\Delta X$	4800	mtrs.	Longitud del tramo del cauce
$c$	2.33	m/s	Velocidad media = $(5/3) \cdot V_{med}$ del río
$S_0$	0.00095	m/m	Pendiente media del cauce.
$Q$	34	m <sup>3</sup> /s	Caudal promedio
$B$	11	m	Anchura del cauce promedio
$\Delta t$	0.5	Horas	Intervalo de tiempo para el transito



## Datos Hidrograma de entrada:

t	I
h	m <sup>3</sup> /s
0	0
0.5	7
1	13
1.5	23
2	32
2.5	49
3	68
3.5	76
4	84
4.5	78
5	71
5.5	60
6	52
6.5	46
7	40
7.5	36
8	32
8.5	28
9	24
9.5	20
10	16
10.5	13
11	11
11.5	7
12	6
12.5	3
13	0

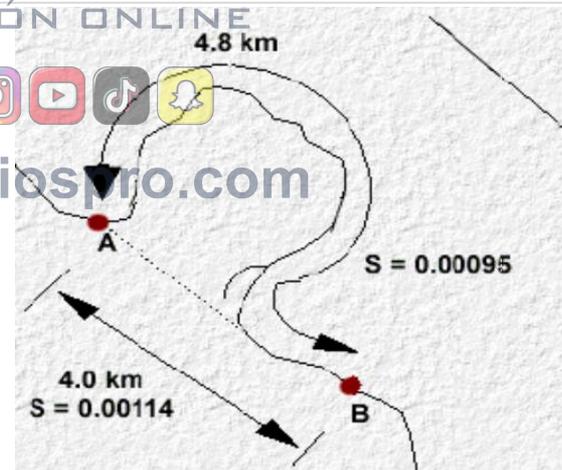


GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com



## SOLUCION

1.- **PRIMER PASO:** Calcular los valores de "C" y "D" para luego hallar los coeficientes de tránsito a partir de los datos.

Recordando la ecuaciones de Calculo de variables:

$$C = c \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

$$D = \frac{q}{S_o \cdot c \cdot \Delta x}$$

$$C = c \cdot \Delta t / L$$

$$D = Q_o / (B \cdot S_o \cdot c \cdot L)$$

Datos conocidos:

$\Delta X$	4800	mtrs.
c	2.33	m/s
$S_0$	0.00095	m/m
Q	34	m <sup>3</sup> /s
B	11	m
$\Delta t$	0.5	Horas

# GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

$$C = \frac{0.5 \cdot 3600}{2.33 \cdot 4800}$$

$$C = 0.87375$$

www.geniospro.com

$$D = \frac{35}{11 \cdot 0.00095 \cdot 2.33 \cdot 4800}$$

$$D = 0.290914$$

**2.- SEGUNDO PASO:** Calcular los coeficientes de TRANSITOS.

$$C_0 = \frac{-1 + C + D}{1 + C + D}$$

$$C_1 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D}$$

$$C_2 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D}$$

Sendo:

$$C_0 = (-1 + C + D) / (1 + C + D)$$

$$C_1 = (1 + C - D) / (1 + C + D) \text{ Nota: pode ser negativo}$$

$$C_2 = (1 - C + D) / (1 + C + D) \text{ Nota: pode ser negativo}$$

Reemplazando datos:

$$C = 0.87375$$

$$D = 0.290914$$

$$C_0 = \frac{-1 + 0.87375 + 0.29291}{1 + 0.87375 + 0.29291}$$

$$C_0 = 0.07606932$$

$$C_1 = \frac{1 + 0.87375 - 0.29291}{1 + 0.87375 + 0.29291}$$



$$C_1 = 0.73121511$$

$$C_2 = \frac{1 - 0.87375 + 0.29291}{1 + 0.87375 + 0.29291}$$

$$C_2 = 0.19271557$$

Comprobando valores:

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

**3.- TERSO PASO:** Después de calcular los coeficientes y se tenga el **HIDROGRAMA DE ENTRADA** se procede a transitar el Hidrograma mediante la formula siguiente.

i	[1]	[2]	[3]	[4]	[4]	[5]
	t	I	$C_0 * I_i$	$C_1 * I_{i-1}$	$C_2 * O_{i-1}$	$O_i$
	h	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
1	0	0	...	...	...	0
2	0.5	7	0.53	0.00	0.00	0.53
3	1	13				
4	1.5	23				
5	2	32				
6	2.5	49				
7	3	68				
8	3.5	76				
9	4	84				
10	4.5	78				

**GENIOS PRO**

EDUCACIÓN ONLINE

**INTERVALO 1-2:**

**Reemplazando datos:**

$C_0 * I_2 = 0.07606 * 7 = 0.53$

$Q_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 Q_1$

$C_1 * I_1 = 0.731215 * 0 = 0.00$

$C_2 * Q_1 = 0.192715 * 0 = 0.00$

$C_0 = 0.07606932$

$C_1 = 0.73121511$

$C_2 = 0.19271557$

$Q_2 = 0.53 + 0 + 0 = 0.53$

**3.- TERSO PASO:** Después de calcular los coeficientes y se tenga el **HIDROGRAMA DE ENTRADA** se procede a transitar el Hidrograma mediante la formula siguiente.

i	[1]	[2]	[3]	[4]	[4]	[5]
	t	I	C0*Ii	C1*Ii-1	C2*Oi-1	Oi
	h	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
1	0	0	...	...	...	0
2	0.5	7	0.53	0.00	0.00	0.53
3	1	13	0.99	5.12	0.10	6.21
4	1.5	23				
5	2	32				
6	2.5	49				
7	3	68				
8	3.5	76				
9	4	84				
10	4.5	78				

**GENIOS PRO**  
EDUCACIÓN ONLINE

**INTERVALO 2-3:**

**Reemplazando datos:**

$$Q_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 Q_1$$

$$C_0 * I_2 = 0.07606 * 13 = 0.99$$

$$C_1 * I_1 = 0.731215 * 7 = 5.12$$

$$C_2 * Q_1 = 0.192 * 0.53 = 0.10$$

$$C_0 = 0.07606932$$

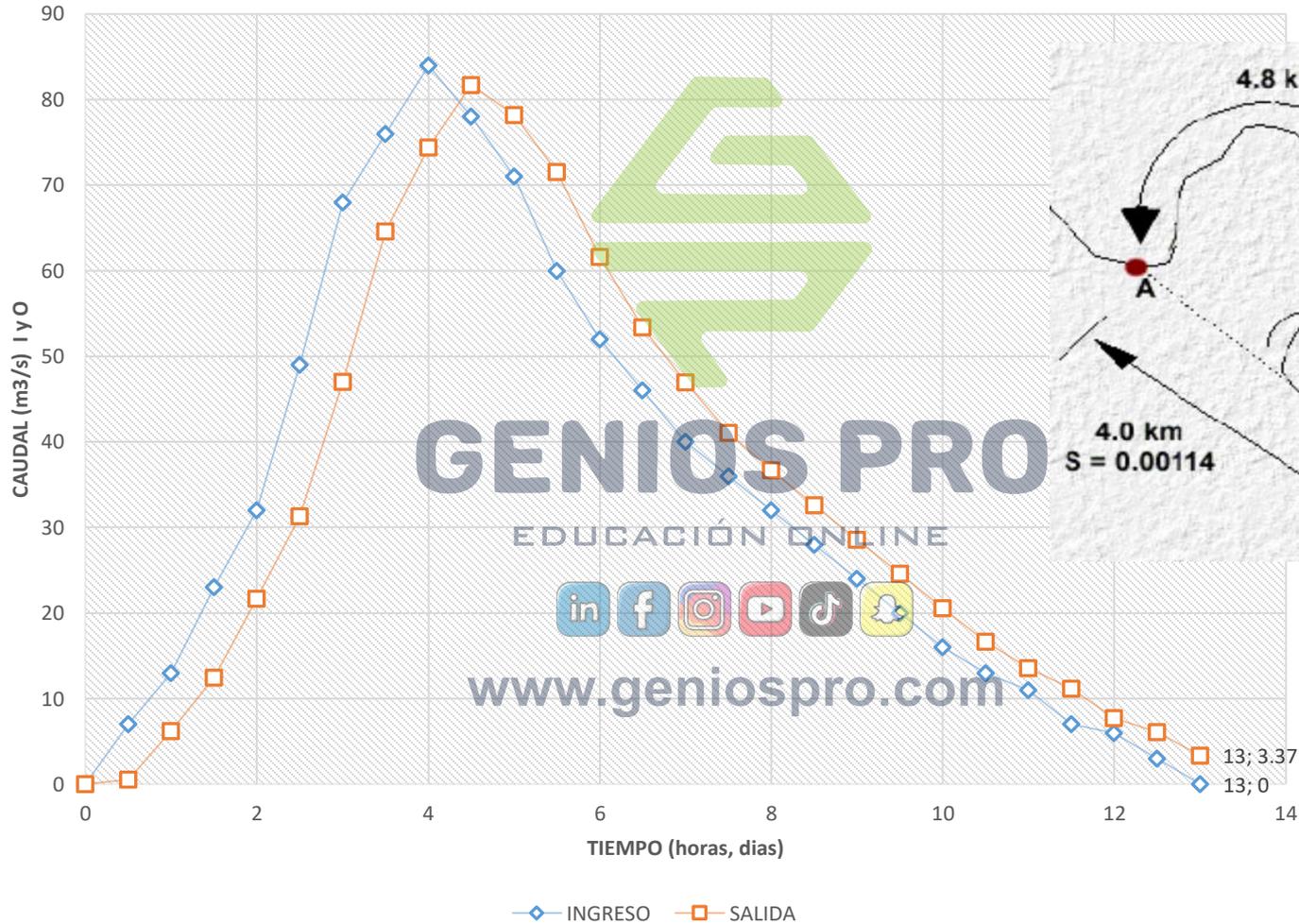
$$C_1 = 0.73121511$$

$$C_2 = 0.19271557$$

$$Q_2 = 0.99 + 5.12 + 0.1 = 6.21$$

i	[1]	[2]	[3]	[4]	[4]	[5]
	t	l	$C0 \cdot I_i$	$C1 \cdot I_{i-1}$	$C2 \cdot O_{i-1}$	$O_i$
	h	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1	0	0	...	...	...	0
2	0.5	7	0.53	0.00	0.00	0.53
3	1	13	0.99	5.12	0.10	6.21
4	1.5	23	1.75	9.51	1.20	12.45
5	2	32	2.43	16.82	2.40	21.65
6	2.5	49	3.73	23.40	4.17	31.30
7	3	68	5.17	35.83	6.03	47.03
8	3.5	76	5.78	49.72	9.06	64.57
9	4	84	6.39	55.57	12.44	74.41
10	4.5	78	5.93	61.42	14.34	81.69
11	5	71	5.40	57.03	15.74	78.18
12	5.5	60	4.56	51.92	15.07	71.55
13	6	52	3.96	43.87	13.79	61.62
14	6.5	46	3.50	38.02	11.87	53.40
15	7	40	3.04	33.64	10.29	46.97
16	7.5	36	2.74	29.25	9.05	41.04
17	8	32	2.43	26.32	7.91	36.67
18	8.5	28	2.13	23.40	7.07	32.60
19	9	24	1.83	20.47	6.28	28.58
20	9.5	20	1.52	17.55	5.51	24.58
21	10	16	1.22	14.62	4.74	20.58
22	10.5	13	0.99	11.70	3.97	16.65
23	11	11	0.84	9.51	3.21	13.55
24	11.5	7	0.53	8.04	2.61	11.19
25	12	6	0.46	5.12	2.16	7.73
26	12.5	3	0.23	4.39	1.49	6.11
27	13	0	0.00	2.19	1.18	3.37
		84				81.69456437

## TRANSITO DE AVENIDA CON EL MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE





...GRACIAS GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE



[www.geniospro.com](http://www.geniospro.com)