

DETERMINACION DEL GASTO SOLIDO DE UN CURSO DE AGUA EN CONCEPCION.

AUTOR: INGENIERO CIVIL, CARLOS GUZMAN MORALES +

Por múltiples razones es necesario conocer la expresión del Gasto Sólido de un curso natural, tanto para actuar sobre los embanques, como para evitar la abrasión acelerada de conductos y de máquinas hidráulicas.

Con este propósito, se postula aquí un estado de equilibrio dinámico del embanque, tal que la fracción removida por una crecida, es sustituida por un depósito equivalente que el agua precipita durante la bajada.

Esta condición y el conocimiento cuantitativo y cualitativo del banco permite establecer la ecuación del Gasto Sólido del curso natural en estudio.

Este método se ha aplicado al estero Las Pocitas de Concepción, con ayuda de las fórmulas de Armin Schoklitsch y se ha encontrado una expresión que permite, con aproximación suficiente, determinar el gasto sólido de cursos similares de la zona, por proporcionalidad entre las superficies de sus respectivas hoyas.

+ Carlos Guzmán Morales es profesor Titular de Hidráulica General y Aplicada de la Escuela de Ingenieros de Ejecución de la Universidad de Concepción.

1.- EQUILIBRIO DINAMICO DEL EMBANQUE.-

El acarreo se mueve a impulsos de la fuerza de arrastre del caudal, cuya expresión según A. Schoklitsch (1) es:

$$S = P J R$$

cuyos términos tienen el significado que sigue:

S : fuerza de arrastre en K/m^2 .

P : peso específico del agua.

J : pendiente del eje hidráulico.

R : radio hidráulico.

Se hará uso de esta fórmula por su extraordinaria sencillez, con el conocimiento de que el fenómeno es mucho más complejo, puesto que el movimiento depende de la compacidad y trabazón de la mezcla decantada y de las características del régimen de escurrimiento del líquido.

De todos modos, el movimiento de los granos se produce según tres modalidades: deslizamiento sobre el fondo, rodamiento y salto.

La Experimentación ha demostrado que la fuerza necesaria para poner en movimiento granos de cierto diámetro, es superior a aquella límite que permite la decantación de esos mismos granos.

Sin embargo, por simplicidad, se supondrá en este trabajo que ambas fuerzas son iguales y se adoptarán los siguientes valores obtenidos en Nüremberg (1) como fuerza límite de arrastre que inicia el movimiento de arena cuarzosa ordinaria y cuya representación se da en figura Nº 1.

FIG Nº 1

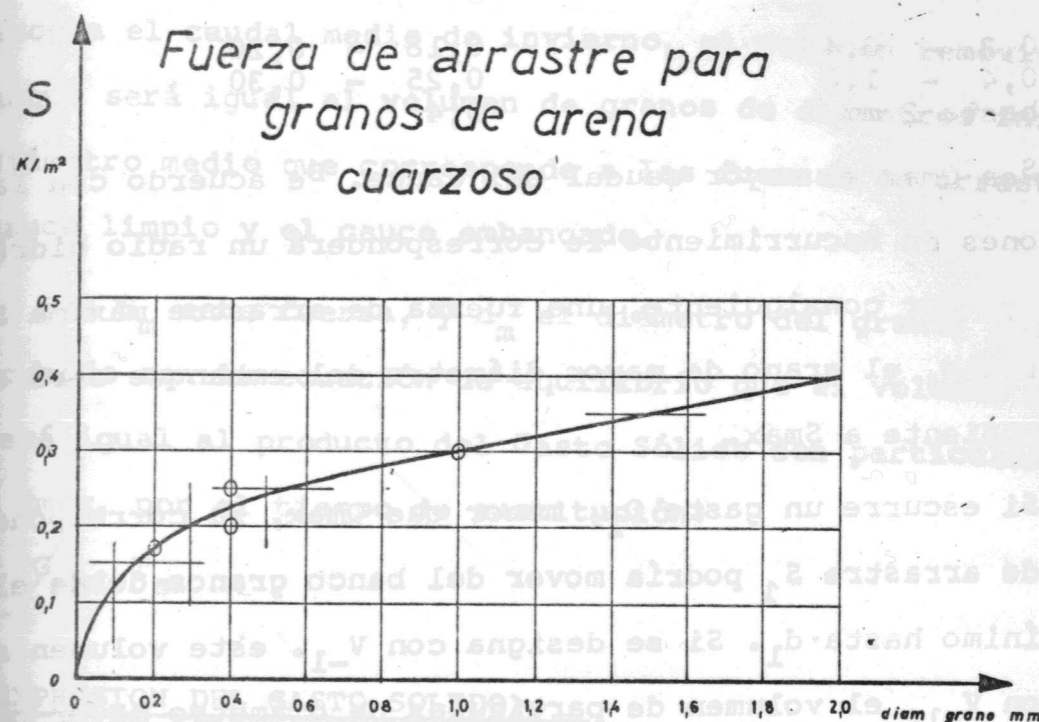
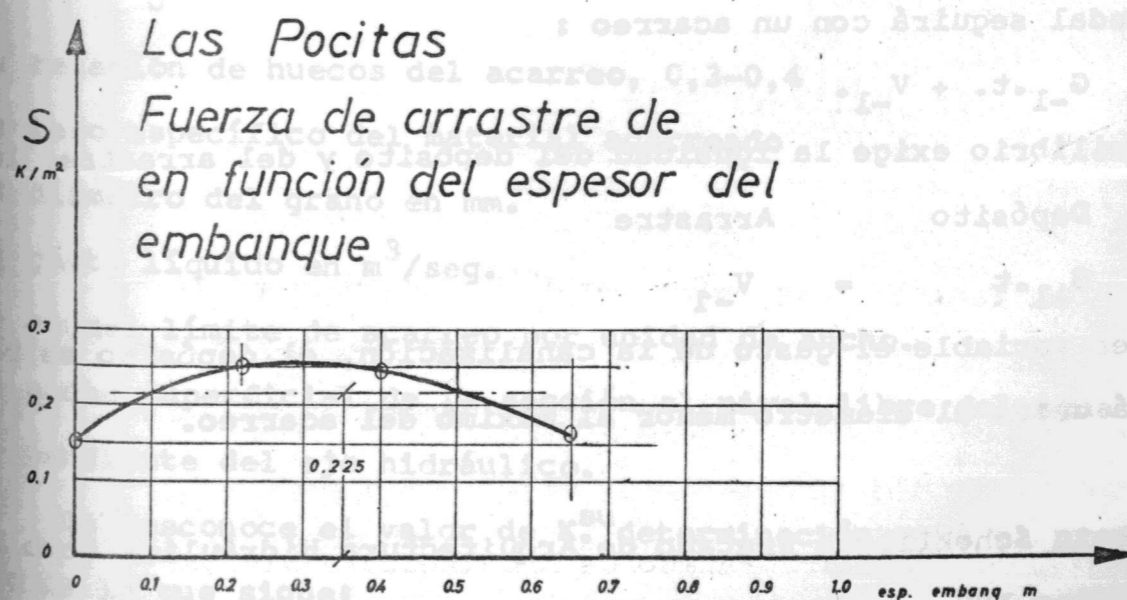


FIG Nº 2



Diámetro mm	S k/m ²
0,2 - 0,4	0,18 - 0,20
0,4 - 1,0	0,25 - 0,30
hasta 2 mm	0,4

Sea Q_{max} el mayor caudal del cause. De acuerdo con las condiciones de escurrimiento le corresponderá un radio hidráulico R_{max} y, por consiguiente, una fuerza de arrastre máxima S_{max} . Por lo tanto, el grano de mayor diámetro del embanque será el correspondiente a S_{max} .

Si escurre un gasto Q_1 , menor que Q_{max} , su correspondiente fuerza de arrastre S_1 podría mover del banco granos desde el diámetro mínimo hasta d_1 . Si se designa con V_{-1} este volumen removido, con V_{+1} el volumen de partículas de diámetro mayor que d_1 , con G_{-1} y G_{+1} el gasto sólido que lleva partículas de tamaño menor y mayor que d_1 , respectivamente, resultará que en un tiempo t el banco tendrá volumen:

$$V_{+1} \cdot t + G_{+1} \cdot t.$$

El caudal seguirá con un acarreo:

$$G_{-1} \cdot t + V_{-1}.$$

El equilibrio exige la igualdad del depósito y del arrastre; luego:

$$\text{Depósito} \quad \text{Arrastre}$$

$$G_{+1} \cdot t = V_{-1}$$

Por ser variable el gasto de la canalización, el depósito se realizará desde el diámetro menor al máximo del acarreo.

(1) Armin Schoklitsch Tratado de Arquitectura Hidráulica tomo I página 127.

Si, por desconocerse el régimen hidrométrico de la canalización, se adopta el caudal medio de invierno, el volumen removido del embanque será igual al volumen de granos de diámetros inferiores al diámetro medio que corresponde a las fuerzas de arrastre entre el cauce limpio y el cauce embancado.

Sea S_m esta fuerza, y d_m el diámetro del grano; resultará de acuerdo con la ecuación de equilibrio que el volumen sustituido será igual al producto del Gasto Sólido con partículas entre d_m y d_{max} , por el tiempo de sustitución:

$$G_{+m} \cdot T_s$$

2.- EXPRESION DEL GASTO SOLIDO.-

Se usará la fórmula de A Schoklitsch (1)

$$G = \frac{KJ^{3/2}}{(1-n) P_e d^{1/2}} (Q-Bq_0) \text{ (m}^3\text{/seg.)}$$

$$q_0 = \frac{1944 \cdot 10^{-8}}{J^{3/4}} d \text{ (m}^3\text{/seg/m)}$$

n : relación de huecos del acarreo, 0,3-0,4

P_e : peso específico del material acarreado

d : diámetro del grano en mm.

Q : gasto líquido en m³/seg.

q_0 : caudal límite de acarreo por unidad de ancho.

B : ancho superficial de la sección al nivel libre del agua (m)

J : pendiente del eje hidráulico.

Se desconoce el valor de K^{su} determinación será el propósito de lo que sigue:

(1) libro citado, Pág. 576.

3.- PROCEDIMIENTO DE CALCULO.-

La sección B de la canalización en estudio está en equilibrio; lo comprueba el hecho de que las mediciones anuales sucesivas indican la misma profundidad de embanque.

Luego, se trabajará en esta sección.

El gasto medio de invierno, Q_{MI} , se obtendrá por proporcionalidad con el estero Poñen en el cual se ha determinado dicho valor.

Estero	Sup.Hoya	Gasto medio invierno
Poñen	21.600 há.s.	9100
Las Pocitas	404	170

Se determinan a continuación las fuerzas de arrastre que tiene Q_{MI} con distintas profundidades de embanque y de determina el diámetro del grano que dicha fuerza es capaz de poner en movimiento.

Prof. embanque	R	S	d
	m	K/m ²	mm
0,0	0,115	0,150	0,12
0,22	0,198	0,258	0,60
0,40	0,188	0,245	0,50
0,65	0,130	0,169	0,17

La fuerza de arrastre media S_m resulta ser de 0,225 K/m² y es capaz de poner en movimiento granos de 0,37 mm (figura N°2). Según la granulometría del acarreo, cuyos valores se dan enseguida, el 40% de los granos tiene tamaño menor que 0,37 mm.

Tamaño grano	Porcentaje que pasa
mm.	
0,00	0

Tamaño grano

Porcentaje que pasa

0,08	16,5
0,10	17,5
0,16	18,5
0,20	25,5
0,26	30,0
0,32	36,0
0,37	40,0
0,42	44,0
0,52	50,0
0,72	58,0
0,92	66,0
1,12	70,0
1,50	78,0
2,00	86,0
3,00	96,0
4,00	97,5
5,00	99,0
6,00	99,5
7,00	100,0

La canalización fué puesta en servicio en Octubre de 1942.

En Enero de 1949, se midió el embanque, dando un volumen de 1360 m³ en toda la canalización y de 310 m³ para el tramo de sección B, como se aprecia en el detalle que sigue:

	<u>Prof.emb.</u>	<u>Vol.par.</u>	<u>Vol.ac.</u>
Sección A	0,475	190,2 m ³	190,2
Sección B	0,56	310,0 m ³	500
Sección C	0,77	631,4 m ³	1.131,6
Sección D	0,37	228,4 m ³	1.360

El volumen sustituido en tramo B con granos de diámetro inferior a 0,37 mm es:

$$V_s = 0,4 \times 310 = 124 \text{ m}^3$$

La edad del depósito es de 6 años 3 meses. Supuesto un crecimiento lineal, el tiempo de formación del depósito es de:

$$T = \frac{310}{1360} \times 6,25 \text{ años} = 1,4 \text{ años.}$$

Como la composición granulométrica no es lineal, el gasto sólido equivale a la sumatoria de los gastos sólidos correspondien-

tes a los diámetros escalonados, multiplicados por la fracción correspondiente a ese escalón.

Si p es el porcentaje de granos inferiores al diámetro d , llamaremos:

$$a_k = p_k + 1 - p_k$$

y entonces el gasto sólido total será

$$G = a_1 \cdot G_1 + a_2 \cdot G_2 + \dots + a_n \cdot G_n$$

Con la canalización limpia, el diámetro mínimo de acarreo es 0,12 mm y el diámetro máximo del conglomerado es 7 mm.; luego el volumen de depósito en el tiempo T_d es:

$$T_d \int_{0,12}^{7,00} aG = 310 \text{ m}^3$$

y por otra parte, el volumen sustituido equivale a:

$$T_s \int_{0,37}^{7,00} aG = 124 \text{ m}^3$$

Además, el tiempo de depósito más el de sustitución hacen el tiempo de formación de depósito.

$$T_s + T_d = 1,4 \text{ años.}$$

El porcentaje de huecos del banco es de 43%, su P_e es de 2600 Kg/m³, la pendiente del eje hidráulico es de 0,0013 y el ancho de la superficie libre de escurrimiento es de 1,5 m. con lo cual

$$G = \frac{K \cdot 10^{-6}}{31,42 d^{1/2}} (Q - Bq_0) \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Bq_0 = 4,25 \cdot 10^{-3} d \text{ m}^3/\text{seg.}$$

En la tabla que sigue se ha tabulado el cálculo de

$a_k \cdot \frac{Q - Bq_0}{d^{1/2}}$ para todos los valores de d de la curva granulométrica.

Intervalo mm	dm	$\frac{1}{dm^{1/2}}$	Bq ₀ l/seg.	Q-Bq ₀ l/seg.	$\frac{Q-Bq_0}{dm^{1/2}}$	a _k	$\frac{a_k(Q-Bq_0)}{dm^{1/2}}$
0,08-0,10	0,09	3,33	0,38	169,62	565	0,165	93,20
0,10-0,14	0,12	2,89	0,51	169,49	490	0,007	3,20
0,20-0,26	0,23	2,09	0,98	169,02	352	0,045	15,80
0,26-0,32	0,29	1,86	1,23	168,77	313	0,06	18,80
0,32-0,42	0,37	1,65	1,57	168,43	277	0,08	22,10
0,42-0,52	0,47	1,46	2,00	168,00	245	0,06	14,70
0,52-0,72	0,57	1,33	2,42	167,58	222	0,08	17,70
0,72-0,92	0,82	1,09	2,48	167,52	183	0,08	14,70
0,92-1,12	1,02	0,99	4,33	165,67	164	0,04	6,60
1,12-1,50	1,31	0,88	5,57	164,43	144	0,08	11,50
1,50-2,00	1,75	0,76	7,43	162,57	123	0,08	9,80
2,00-3,00	2,50	0,63	11,25	158,75	100	0,10	10,00
3,00-4,00	3,50	0,54	14,87	155,13	83	0,015	1,30
4,00-7,00	5,50	0,43	23,40	146,60	63	0,025	1,60

Se obtiene de ella:

$$\int_{0,12}^{7,00} a_k \frac{Q - Bq_0}{d^{1/2}} = 177,8 \cdot 10^{-3}$$

$$\int_{0,37}^{7,00} a_k \frac{Q - Bq_0}{d^{1/2}} = 110,0 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{K}{31,42} T_d \cdot 177,8 \cdot 10^{-9} = 310 \text{ m}^3$$

$$\frac{K}{31,42} T_s \cdot 110,0 \cdot 10^{-9} = 124 \text{ m}^3$$

$$T_s + T_d = 1,4 \text{ años}$$

Resuelto el sistema se obtienen los valores T_s : 6,6 meses

T_d : 10,2 meses

K : 2070

Se ha determinado la constante 'K' y con ella la ecuación del gasto sólido para el estero Las Pocitas de Concepción queda como sigue:

$$G = 66,10^{-6} \frac{Q-B.qo}{d^{1/2}} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Aún cuando no era el propósito de este trabajo seguir más adelante, a título ilustrativo se determina enseguida la cantidad de material transportado en promedio por día.

4.- MATERIAL TRANSPORTADO.-

Interesa conocer el material transportado para dimensionar obras de desarenado:

Por día el volumen es:

$$Vd = 66,10^{-6} \cdot 177,8 \cdot 10^{-3} \times 8,64 \cdot 10^4.$$

$$Vd = 1,01 \text{ m}^3/\text{d}$$

Este valor tiene mucha importancia, pues permite determinar el gasto sólido de otros cursos similares de la zona, por proporcionalidad entre las áreas de las respectivas hoyas hidrográficas.

1973.

SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE CAIDAS DE SECCION TRAPEZIAL EN CANALES NO REVESTIDOS

Por : Horacio Mery Mery *
Ing. Civil

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el problema creado por las gradas de bajada en canales no revestidos, diseñadas manteniendo la sección trapezoidal del canal. Se da cuenta de la experimentación realizada y la solución obtenida para este tipo de obras en el caso del canal Teno-Chimbarongo.

La solución propuesta podrá servir como punto de partida para futuras investigaciones sobre el diseño de estas obras.

* Jefe de la División de Estudios Hidráulicos.

Empresa Nacional de Electricidad S.A. ENDESA.

Profesor en las Escuelas de Ingeniería de las Universidades de Chile y Católica de Chile.