

HIDROLOGÍA

CALSE 13: Caudales

Parte I

Julián David Rojo Hdz.

I.C. Msc. Recursos Hidráulicos



5.1 Generalidades

- En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
- Unidades: $(L^3)/(t)$



GENERALIDADES

- El régimen de caudales de una corriente de agua durante un período determinado es el único término del balance hidrológico de una cuenca que puede ser medido directamente con una buena precisión.
- El estudio del régimen de caudales es indispensable, para los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles.
- El preámbulo de todo estudio hidráulico de una cuenca es la instalación de "estaciones de aforo".



4.2 Medidas del caudal

Métodos directos:

Método área velocidad

Dilución con trazadores

Métodos indirectos:

Estructuras hidráulicas

Método área pendiente

Curvas de calibración: relacionan niveles de flujo con el caudal.

MEDIDA DEL CAUDAL USANDO EL METODO AREA VELOCIDAD (I)

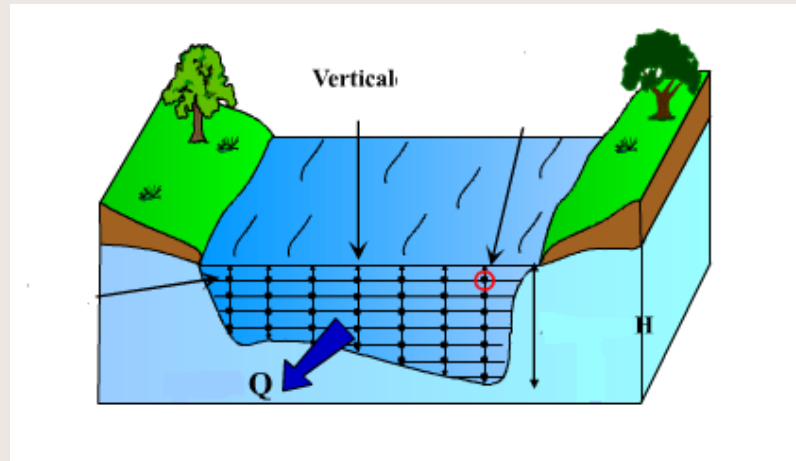
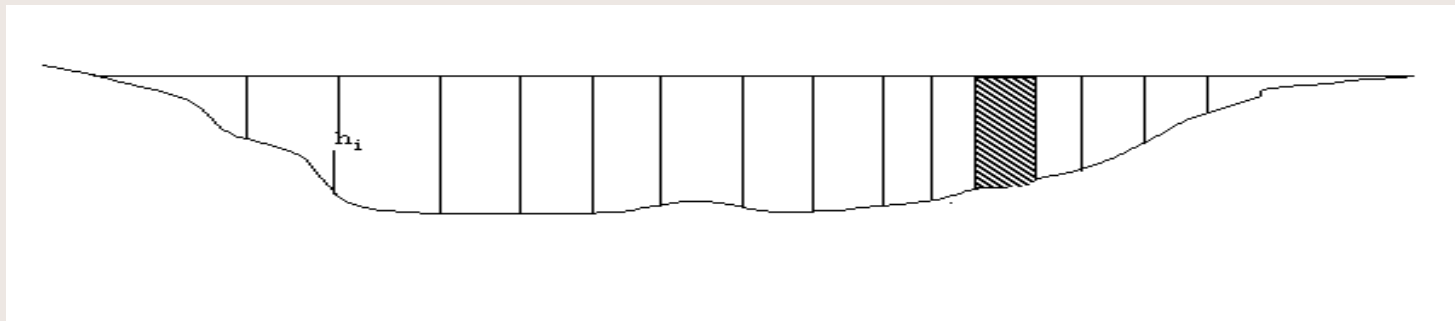
Consiste básicamente en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo.

El lugar elegido para hacer el aforo o medición debe cumplir las siguientes condiciones:

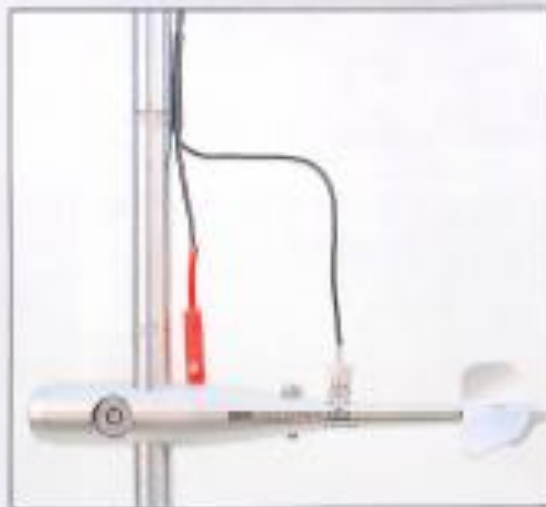
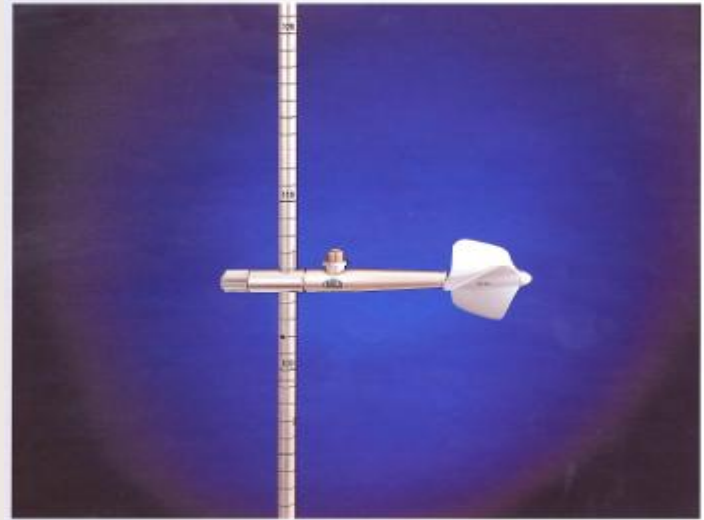
1. La sección transversal debe estar bien definida; en lo posible, no debe presentarse agradación o degradación del lecho.
2. Debe tener fácil acceso
3. Debe estar en un sitio recto, para evitar las sobreelevaciones y cambios en la profundidad, producidos por curvas.
4. El sitio debe estar libre de efectos de controles aguas abajo , que puedan producir remansos que afecten luego los valores obtenidos con la curva de calibración (perfiles M1 y S1).

MÉTODO ÁREA VELOCIDAD

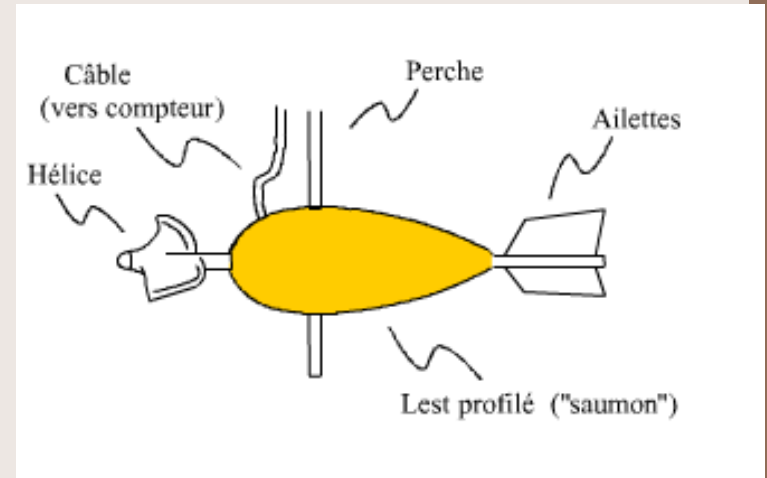
La sección se divide en subsecciones y se miden velocidades con el correntómetro a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total en la vertical. Cada vertical tiene su respectiva área de influencia (sombreada en la gráfica).



CORRENTOMETRO (I)



CORRENTOMETRO (II)









AFORO POR BADEO-PUENTE O BOTE CAUTIVO



ou moulinet à l'aide d'un bateau

ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

La velocidad media en cada vertical es:

$$\bar{V}_i = \frac{V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8}}{4}$$

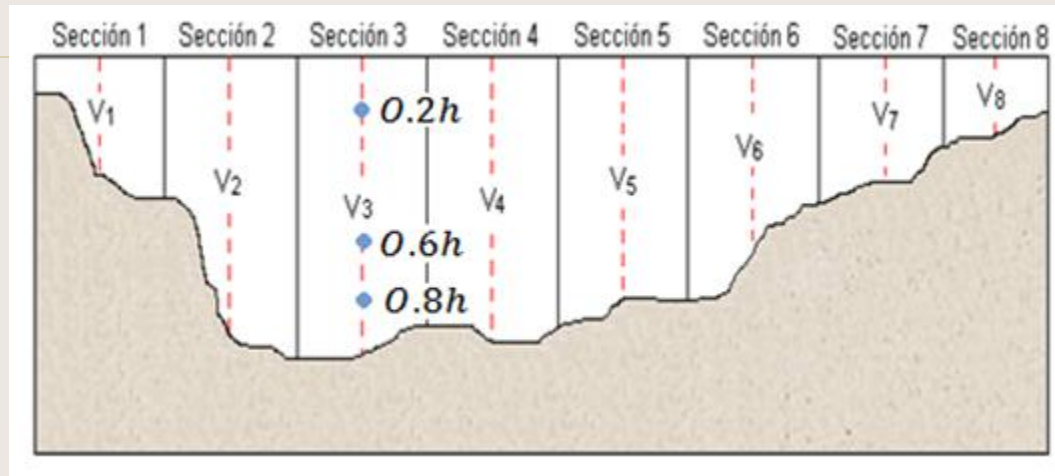
El caudal Q_i , correspondiente a la respectiva área de influencia, A_i , es:

$$Q_i = \bar{V}_i A_i$$

El caudal total, Q_T , será entonces:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

EJEMPLO



vertical	profundidad H (m)	ancho aferente a	V 0,2 (m/s)	V 0,6 (m/s)	V 0,8 (m/s)	Área (m ²)	velocidad (m/s)	Q (m ³ /s)
1	0,15	0,4	0	0,031	0	0,06	0,031	0,00186
2	0,21	0,4	0,318	0,445	0,368	0,084	0,394	0,033096
3	0,3	0,4	0,922	0,909	0,827	0,12	0,89175	0,10701
4	0,34	0,4	0,896	0,832	0,626	0,136	0,7965	0,108324
5	0,38	0,4	0,896	0,7	0,632	0,152	0,732	0,111264
6	0,41	0,4	0,909	0,863	0,791	0,164	0,8565	0,140466
7	0,36	0,4	0,843	0,645	0,347	0,144	0,62	0,08928
8	0,33	0,4	0,574	0,473	0,463	0,132	0,49575	0,065439
9	0,4	0,4	0	0	0	0,16	0	0
total						1,152	0,54	0,66

Área mojada = 1.152 m²

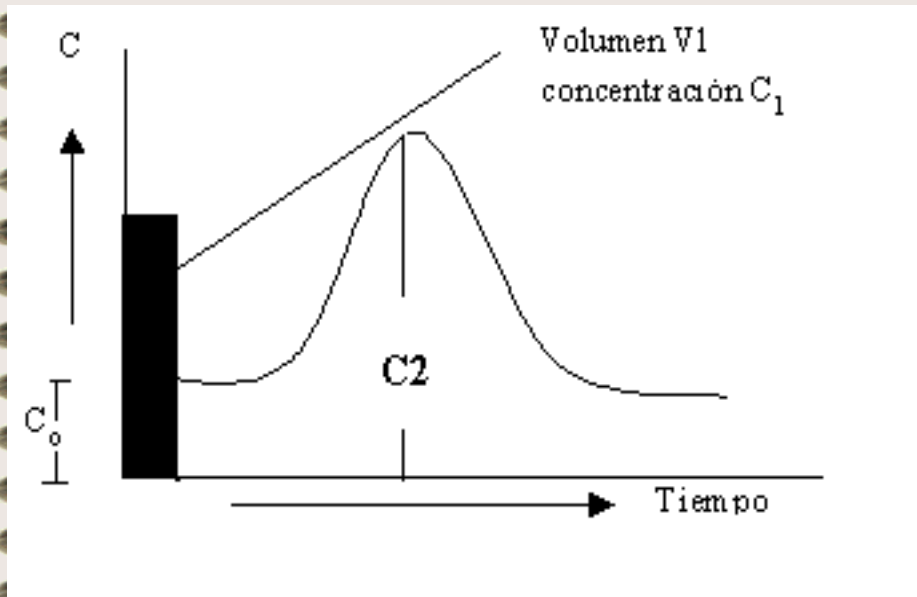
Velocidad promedio = 0.533 m/s

Caudal = 0.655 m³/s

AFORO POR DILUCIÓN

Se usa para aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método área velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas o ríos torrenciales.

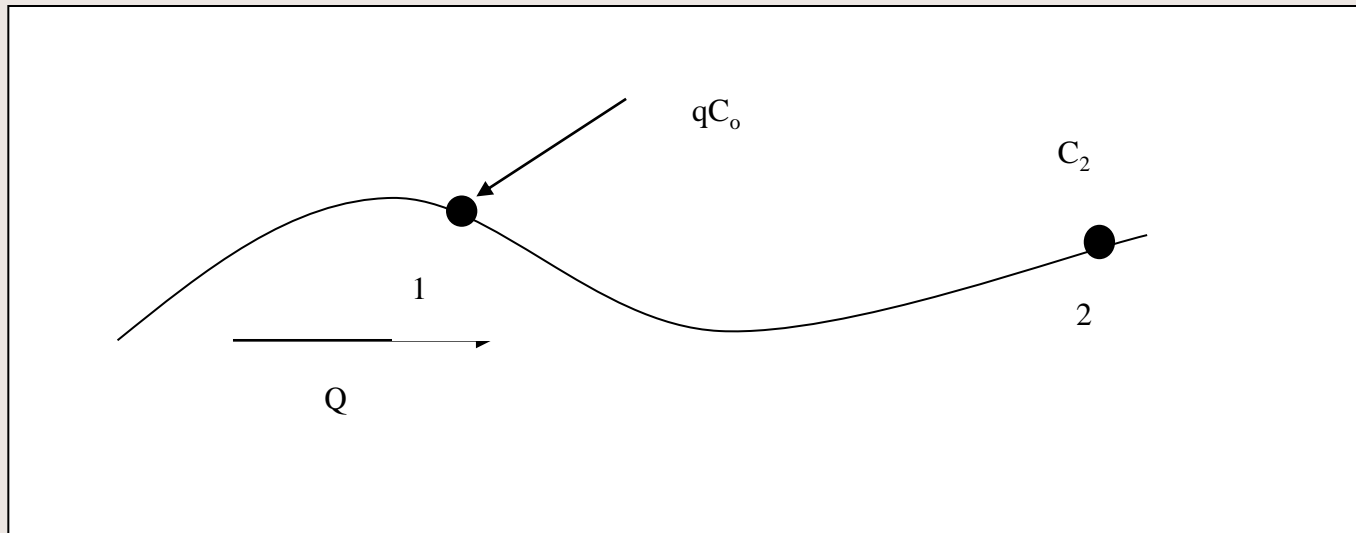
Se inyecta rápidamente un volumen de trazador.



$$V_1 C_1 = \int_{t_1}^{t_2} Q C_2 dt - \int_{t_1}^{t_2} Q C_0 dt$$

$$Q = \frac{V_1 C_1}{\int_{t_1}^{t_2} (C_2 - C_0) dt}$$

Inyección a caudal constante (flujo permanente)



$$QC_1 + qC_o = (Q + q)C_2 \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{q(C_2 - C_o)}{(C_1 - C_2)}$$

EJEMPLO

Una solución de sal común con una concentración de 200 g/l fue descargada en una corriente con un caudal constante de 25 l/s. El río tenía inicialmente una concentración de sal de 10 ppm. Aguas abajo, se midió una concentración de 45 ppm. Cuál es el caudal en el río?

Se tienen entonces los siguientes valores:

$$C_0 = 200 \text{ g/l}$$

$$C_1 = 10 \text{ ppm} = 0.01 \text{ g/l}$$

$$q = 25 \text{ l/s}$$

$$C_2 = 45 \text{ ppm} = 0.045 \text{ g/l}$$

$$Q = \frac{q(C_2 - C_0)}{(C_1 - C_2)}$$

$$Q = \frac{25(200 - 0.045)}{(0.045 - 0.01)} = 142.8 \text{ m}^3 / \text{s}$$

TRAZADORES

Características:

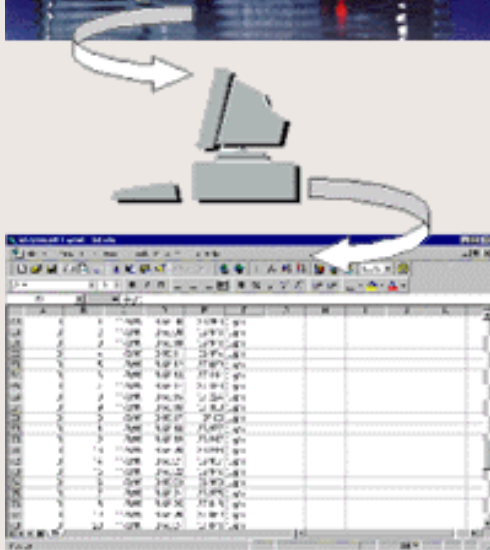
Los trazadores deben tener las siguientes propiedades:

- No deben ser absorbidos por los sedimentos o la vegetación, ni deben reaccionar químicamente.
- No deben ser tóxicos.
- Se deben detectar fácilmente en pequeñas concentraciones.
- No deben ser costosos

Tipos:

- 1) **Químicos:** de esta clase son la sal común y el dicromato de sodio
- 2) **Fluorescentes:** como la rodamina
- 3) **Materiales radioactivos:** los más usados son el yodo 132, bromo 82, sodio.

CONDUCTIMETROS



ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Principio de funcionamiento de todas las estructuras hidráulicas es establecer una sección de control, en la que a partir de la profundidad se pueda estimar el caudal.

Vertederos:

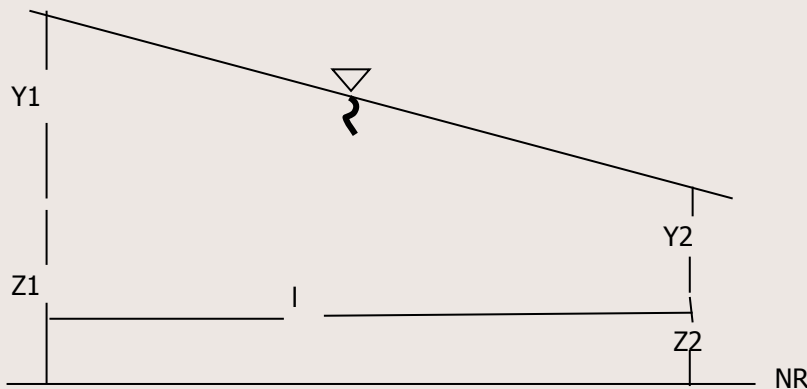
$$Q = CH^n$$



MÉTODO ÁREA PENDIENTE

Las crecientes dejan huellas que permiten hacer una estimación aproximada del caudal, con las propiedades geométricas de 2 secciones diferentes, separadas una distancia L y el coeficiente de rugosidad en el tramo.

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$



$$VA = Q = \frac{A}{n} R_H^{2/3} S_f^{1/2}$$

1) Asumir que $V_1 = V_2$ lo que implica que:

$$h_f = h_1 - h_2 \Rightarrow S_f = \frac{h_f}{L}$$

2) Si en la fórmula de Manning: $K = \frac{1}{n} R_H^{2/3} A$

el caudal puede expresarse como: $Q = K S_f^{1/2}$


Se encuentra un valor promedio de K para las dos secciones, el cual puede hallarse con la media geométrica, así:

3) Se calculan las cabezas de velocidad en cada sección usando el caudal hallado con la ecuación anterior ($V_1 = Q/A_1$; $V_2 = Q/A_2$).

4) Calcular un nuevo valor de h_f usando estas velocidades. Si se encuentra un valor de h_f igual al hallado en el primer paso, el problema está resuelto. Si no, se vuelve al paso 2 con el último valor de h_f hallado y se calcula K:

$$K = \sqrt{K_1 K_2}$$

5) Se continua hasta que la diferencia de dos valores sucesivos de h_f sea muy baja.

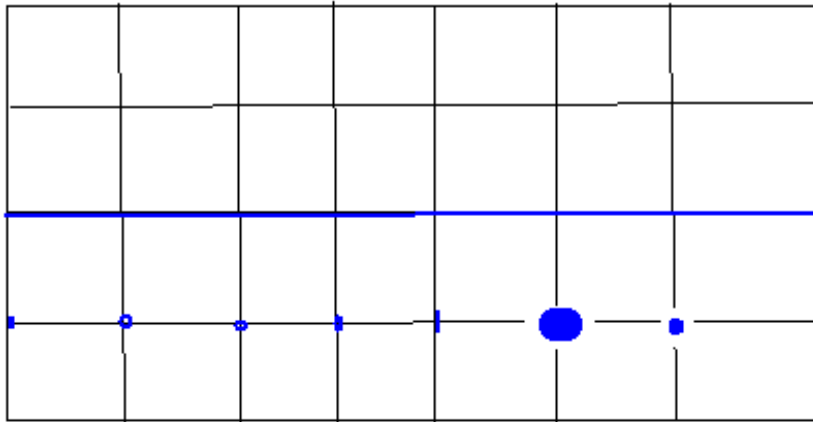


**La mayor fuente de
incertidumbre de este método es
la estimación confiable del
coeficiente de rugosidad de
Manning, n**

Método de Walman-Conteo de piedras

- Seleccionada la sección en el cauce, se determina el ancho B.
- Se determina un área de ancho, B, a cada lado de la sección de aforo; en esta área, se distribuye una retícula o malla de un ancho tal que contenga al menos 70 interceptos.
- En cada intercepto, se mide la cara expuesta más larga del grano que allí se encuentre.
- Los valores medidos se agrupan por rango de tamaños, para preparar la curva granulométrica del material. Los rangos pueden definirse de la siguiente manera: sedimentos menores de 2 mm, entre 2 mm y 4 mm a 8 mm a 16 mm a 32 mm, de 32 mm a 64 mm, de 64 mm a 128 mm, etc.
- Adicionalmente, se debe tomar una muestra de finos del fondo del cauce para realizar la curva granulométrica completa.
- Se calculan los diferentes porcentajes de sedimentos. Estos valores se hallan a partir de la curva granulométrica (D_{90} , D_{84} , D_{75} , D_{65} , D_{50} , D_{16} , etc.).

Malla y conteo de piedras Río Quindío



<2 mm	5
2-4	15
4-8	20
8-16	45
16-32	32
32-64	56
>64	5



Ecuaciones para la rugosidad

$$n = 0.038 \cdot D_{90}^{1/6}$$

Meyer – Peter & Muller, 1948

$$n = 0.0389 D_{50}^{1/6}$$

Raudkivi, 1976

$$n = 0.047 D_{50}^{1/6}$$

Simons y Senturk, 1976

$$n = 0.0593 \cdot D_{50}^{0.179}$$

Garden & Raju, 1978 Subramanya, 1978

$$n = 0.0411 \cdot D_{65}^{1/6}$$

Bray, 1979

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = a \left[-\log(1.352a) + \log\left(\frac{4R}{k}\right) \right]$$

Cano, 1988

$$n = \frac{R_H^{1/6}}{\sqrt{8 \cdot g / f}} \quad a = 5.7798 k^{0.139633}$$

$$n = 0.0487 \cdot D_{50}^{1/6} \longrightarrow$$

Posada (1998) Para ríos de montaña en Colombia

Ejemplo: Q. El Chumbimbo

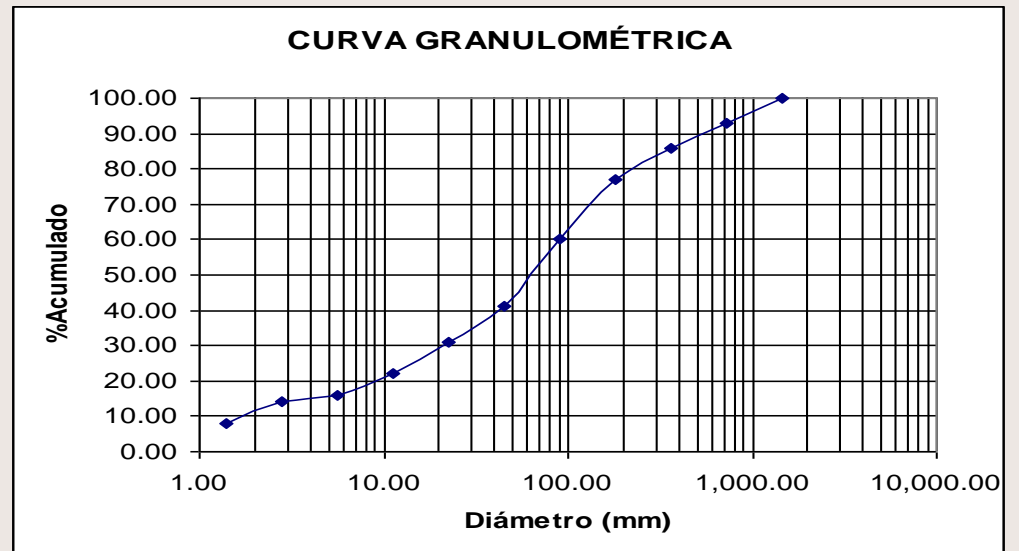
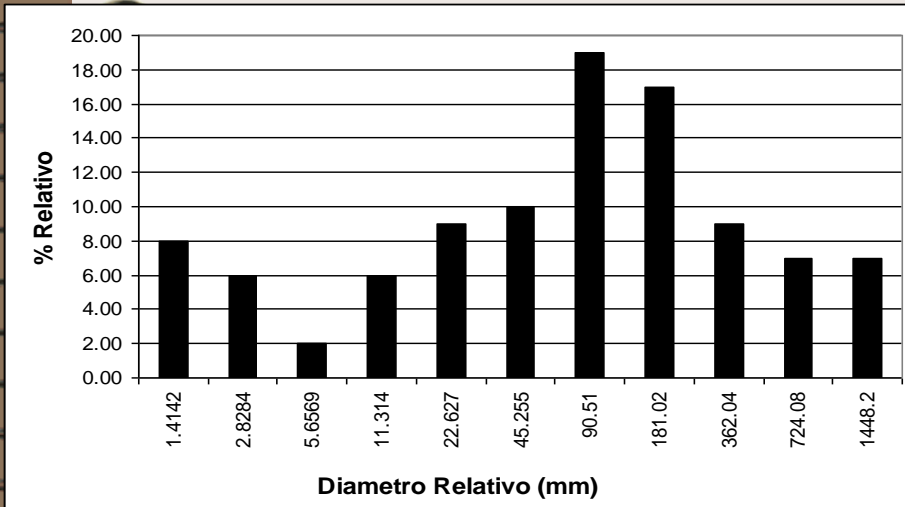
Localización: tramo predios de la Facultad de Minas, entre la urbanización Nebraska e Ingeominas (sede antigua)



Datos de campo

Material	Tamaño de Partícula	Rango (mm)		#	TOTAL	%	%Acum	Di (mm)
ARENAS	Arenas	<	2	8	8	8.00	8.00	1.41
GRAVAS	Muy Finas	2	4	6	33	6.00	14.00	2.83
	Finas	4	8	2		2.00	16.00	5.66
	Medias	8	16	6		6.00	22.00	11.31
	Gruesas	16	32	9		9.00	31.00	22.63
	Muy Gruesas	32	64	10		10.00	41.00	45.25
GUIJARROS	Pequeños	64	128	19	36	19.00	60.00	90.51
	Grandes	128	256	17		17.00	77.00	181.02
ROCAS	Pequeños	256	512	9	23	9.00	86.00	362.04
	Grandes	512	1024	7		7.00	93.00	724.08
	Muy Grandes	1024	2048	7		7.00	100.00	1,448.15

Curva granulométrica



Clase	%
Arenas	8
Gravas	33
Guijarros	36
Bloques Grandes	23

Diámetro	(mm)
D_{16}	5,7
D_{50}	66,7
D_{65}	117,1
D_{75}	170,4
D_{84}	321,8
D_{90}	1538,6

Cálculo de la rugosidad

Bray	$\eta = 0.041 \cdot D_{50}^{1/6}$	m
Strickler	$\eta = \frac{D^{1/6}}{21.1}$	ft
	$\eta = \frac{D_{50}^{1/6}}{31.3}$	mm
	$\eta = \frac{D_{45}^{1/6}}{75.75}$	in
Lane y Carlson	$\eta = \frac{D^{1/6}}{39}$	in
Keulegan	$\eta = \frac{D_{50}^{1/6}}{46.9}$	ft
	$\eta = \frac{D_{90}^{1/6}}{49}$	ft
	$\eta = \frac{D_{65}^{1/6}}{29.3}$	ft
Posada	$\eta = 0.0487 \cdot D_{50}^{1/6}$	m

AUTOR	n	UNIDADES
BRAY	0.0261	m
STRICKLER	0.0167	ft
	0.0292	mm
	0.0381	in
LANE Y CARLSON	0.0250	in
KEULEGAN	0.0196	ft
POSADA	0.0310	m

IDEAM

IDEAM Estudios Ambientales

Acerca de la Entidad | Normatividad | Políticas, Programas y Proyectos | Control y rendición de cuentas | Servicios de Información Ciudadano | Trámites y servicios

- Preguntas Frecuentes
- Fenómenos El Niño y La Niña
- Contáctenos
- Atención al ciudadano
- Directorio de funcionarios
- Centro de documentación
- Sistema de Información Ambiental (SIA)
- Agenda ambiental
- Glosario
- Búsqueda
- Regístrese
- Personaliza tu Portal
- Cambia tu diseño
- Ayúdanos a mejorar
- Reportar una falla

Pronósticos y Alertas

Meteorología Aeronáutica

Cambio Climático

Google Búsqueda personalizada

Audio y video | RSS | Foros | Chat | Wap | Salas virtuales

Noticias



Ideam informa que impactos de "La Niña" continuarán en el país

Bogotá D.C., marzo 7 de 2011 (IDEAM): •El país se encuentra en riesgo ante la ocurrencia de deslizamientos, inundaciones, crecientes súbitas o avalanchas debido a los efectos de la pasada temporada de lluvias [Ver más](#)

1 2 3 4 [Historial de Noticias](#)

Pronóstico del Tiempo

Temperatura	Máxima
Tumaco	30° C
	Mínima
	23° C

Lloviznas (Madrugada) [Ver todas las ciudades \(+\)](#)

ALERTAS.

Fuerte y Oleaje en el Mar Caribe Oriente (Mar Caribe Oriente)

Alertas Fenómeno de "La Niña"

Somos El Colombiano Ejemplar!

Trámites

Para usuarios | Para empresas

Certificaciones Tiempo y

Compra de información

Atención RUA Manufacturero!

Diligenciamiento 1ero de enero al 31 de marzo de 2011
Dependiendo del último dígito del NIT
(Resolución 1023 de 2010 expedida por el MAVDT)

Convocatoria