



CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING EN LOS GRANDES RÍOS DE VENEZUELA

Mónica G. Osío Yépez, Federico F. Valencia Ventura Edilberto Guevara y Humberto Cartaya
Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Resumen

La mayor dificultad en la aplicación de la Ecuación de Manning para estimar el caudal de una corriente está en la determinación del coeficiente de rugosidad "n", ya que no existe ningún método exacto para la selección de éste término. Seleccionar un valor de "n" significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado, lo cual, demanda una experiencia del Ingeniero para evitar que el problema se limite a un proceso de aproximaciones. En tal sentido, en este trabajo se estima el coeficiente de rugosidad "n" de Manning utilizando las funciones de distribución de velocidades obtenidas mediante los aforos realizados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) en los Grandes Ríos del sur de Venezuela. Como resultado de la investigación se ha encontrado que el valor de "n" se puede calcular en función del diámetro medio de las partículas de fondo.

Palabras claves: Coeficiente de rugosidad, Coeficiente de Manning, Función de Distribución de velocidades.

Summary

There is a remarkable difficulty in the calculation of roughness coefficient when using Manning equation to estimate the rate of flow in a channel. To select a value of "n" means to estimate the resistance to flow, what requires judgement and experience. In this investigation an effort has been made to determine the value of "n" by the analytical procedure based on the theoretical velocity distribution in the channel cross section and on the data of velocity measurements in big rivers of Venezuela. The results indicate a general relationship between Manning's "n" and the velocity distribution. The analysis of "n" in relation to the theoretical channel roughness indicate that the roughness function $\phi(R/k)$ is constant, so that can be concluded that Manning's "n" varies with the one-sixth power of the roughness height.

Keywords: Roughness coefficient, Manning coefficient, velocity distribution function.

INTRODUCCION

El uso de los recursos hidráulicos ha jugado un papel preponderante en el desarrollo de las sociedades; tan es así, que las grandes civilizaciones han florecido a las orillas de los grandes ríos. En la Ingeniería moderna, los proyectos para cubrir las demandas de agua, requieren de estudios hidrológicos e hidráulicos, donde la determinación del caudal es una necesidad.

El caudal se puede medir directamente o estimar mediante procedimientos indirectos. Uno de los métodos más conocidos y de aplicación universal para estimar el caudal es la Ecuación de Manning, la cual se fundamenta en los parámetros de la sección hidráulica de la estructura de conducción y en la rugosidad de dicha sección. Los parámetros hidráulicos del cauce son el área, el perímetro mojado, el radio hidráulico y la pendiente hidráulica, cuyos valores son fáciles de determinar una vez que se ha definido el tipo de sección y la diferencia de nivel que

hay que vencer en el transporte (pendiente). De ese modo, el parámetro que aún debe ser estimado es el coeficiente de rugosidad " n ", y es el más difícil de establecer. En este trabajo se utilizan las funciones de distribución de velocidades de grandes ríos de Venezuela calculadas mediante los aforos realizados por la Dirección de Hidrología del Ministerio del Ambiente de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) para estimar el valor de " n ".

ANTECEDENTES

Es frecuente que en el caso de canales, tanto naturales, como artificiales, existan diferentes valores de coeficiente de rugosidad a lo largo del perímetro de la sección transversal. El cálculo del flujo uniforme por la ecuación de Manning, usa diferentes métodos para estimar el valor del coeficiente de rugosidad " n ". Entre los más importantes figuran el Método del Ex - Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (S.C.S.) (Chow, 1994), hoy renombrado como Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (N.R.C.S.), cuyo objetivo es el de estimar la magnitud del coeficiente de rugosidad " n " a partir de un valor básico tabulado al cual se le aplican una serie de modificaciones de acuerdo con las características del tramo que se analiza.

Muchas veces, el valor de n se extrae de tablas elaboradas sobre la base de experiencias profesionales. Generalmente estas tablas van acompañadas de fotografías que facilitan al diseñador la selección del valor más apropiado para las condiciones reales del canal mediante un proceso de similitud o comparación de las características del canal que se estudia con las de los casos mostrados en las fotografías.

Fuentes y López (1979) desarrollaron una expresión teórica que permite obtener el valor del coeficiente de rugosidad " n " para un tramo de canal. Este valor se obtiene llevando a cabo un proceso iterativo en la ecuación, y la mayor o menor exactitud dependerá del número de iteraciones y de pasos para calcular las integrales usadas. Esta expresión incluye términos como: pendiente del fondo del canal, pendiente de la línea de energía, el coeficiente de Manning " n ", el número de Froude y las profundidades correspondientes a los extremos del tramo de canal seleccionado.

Existen otras expresiones que permiten calcular el valor de " n " para un tramo de canal, tal como la que se origina al relacionar la descarga de sedimentos y las relaciones de velocidad (Karim, 1990). En la expresión final intervienen variables como el factor de fricción de Darcy- Weisbach, el factor de fricción del flujo sobre una lámina de lecho inmóvil y el tamaño mediano de las partículas del material del lecho. Esta ecuación, expresada en unidades inglesas o métricas, suministra un procedimiento que relaciona la rugosidad en el flujo con el tamaño del sedimento y con el régimen del lecho en el marco de la ecuación de Manning.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio.

El área de estudio, se ubica en la región sur de Venezuela (Ver figura 1), y forma parte del bosque tropical lluvioso. Se trata de un área plana de formación geológica antigua. Todas las estaciones hidrométricas que se usan en esta investigación pertenecen a la Cuenca del Río Orinoco, la que se clasifica como se indica a continuación:

- ⇒ Alto del Orinoco: ríos Brazo Casiquiare y Ventuari al sur del Estado Amazonas. Son ríos de corrientes rápidas en los raudales de las partes altas de la cuenca, que están en contacto con altas penillanuras, las cuales son el resultado de la acción de agentes erosivos sobre la masa granítica que constituyó la orografía original. Estos ríos transitan sobre extensas superficies casi planas o llanas.
- ⇒ Orinoco Medio, región de los Llanos Occidentales: ríos Orinoco, Arauca, Capanaparo, Meta, Apure, Sarare, Uribante y Portuguesa. Son ríos de grandes caudales de agua claras por la ausencia de sedimentos. Las aguas se tranquilizan por la escasa pendiente del relieve (pendientes de 0.06 m /Km.) la

cual se hace mínima a partir de la confluencia del río Atabapo. Debido a esto se comporta como un río de llanura, aún cuando la tranquilidad de sus aguas se ve interrumpida por los raudales que origina los afloramientos rocosos del macizo.

⇒ Orinoco Medio, región Sur: ríos Caura, Cuchivero y Aro, con aguas color rojizo debido a la presencia de material húmico en disolución. También son zonas de llano y en consecuencia son corrientes relativamente lentas con pendientes entre los 0.06 m /Km.

Información básica.

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó la siguiente información básica proveniente del M.O.P. (1968) y M.A.R.N.R. (1976):

- 1.- Mapa de Ubicación de las estaciones de aforo de Grandes ríos de Venezuela.
- 2.- Curvas de distribución vertical de velocidades.
- 3.- Perfil de velocidades.
- 4.- Información sobre los parámetros de aforo, tales como caudal, área y tirante de agua.

En la Tabla 1 se presenta la información sobre las estaciones de aforos y en la Figura 1 su ubicación en el territorio Nacional.

Base teórica.

Para la determinación del coeficiente de rugosidad "n" de Manning existen cuatro procedimientos generales: estimar el valor sobre la base del conocimiento de los factores que lo afectan; extraer el dato de tablas con valores típicos de "n"; estimar "n" en base a la similitud del caudal que se estudia con casos conocidos; y determinar el valor de "n" mediante un proceso analítico sobre la base de la distribución teórica de las velocidades en la sección transversal del canal y de los datos de velocidad o medidas de rugosidad. En lo que sigue se describe la base teórica del cuarto procedimiento que es el que se ha utilizado en esta investigación. De acuerdo con las acepciones de Prandtl para la capa límite turbulenta en el sentido de que la longitud de mezcla, l , es proporcional a la profundidad del flujo, y ; y , que la fuerza cortante, τ , es constante e igual al esfuerzo cortante unitario, τ_0 , se puede demostrar que se cumplen las dos siguientes igualdades:

$$V_f = \sqrt{gRS} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (1)$$

$$v = 2.5 V_f \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad (2)$$

Donde:

- V_f : Velocidad de fricción.
- g : Gravedad.
- R : Radio Hidráulico.
- S : Pendiente Hidráulica.
- τ_o : Fricción unitaria en la capa límite.
- y_o : Altura de rugosidad igual a $k/30$ para superficies rugosas.
- y : Distancia normal desde el fondo del canal.
- ρ : Densidad del fluido.
- k : Altura de rugosidad.
- V : Velocidad del agua.

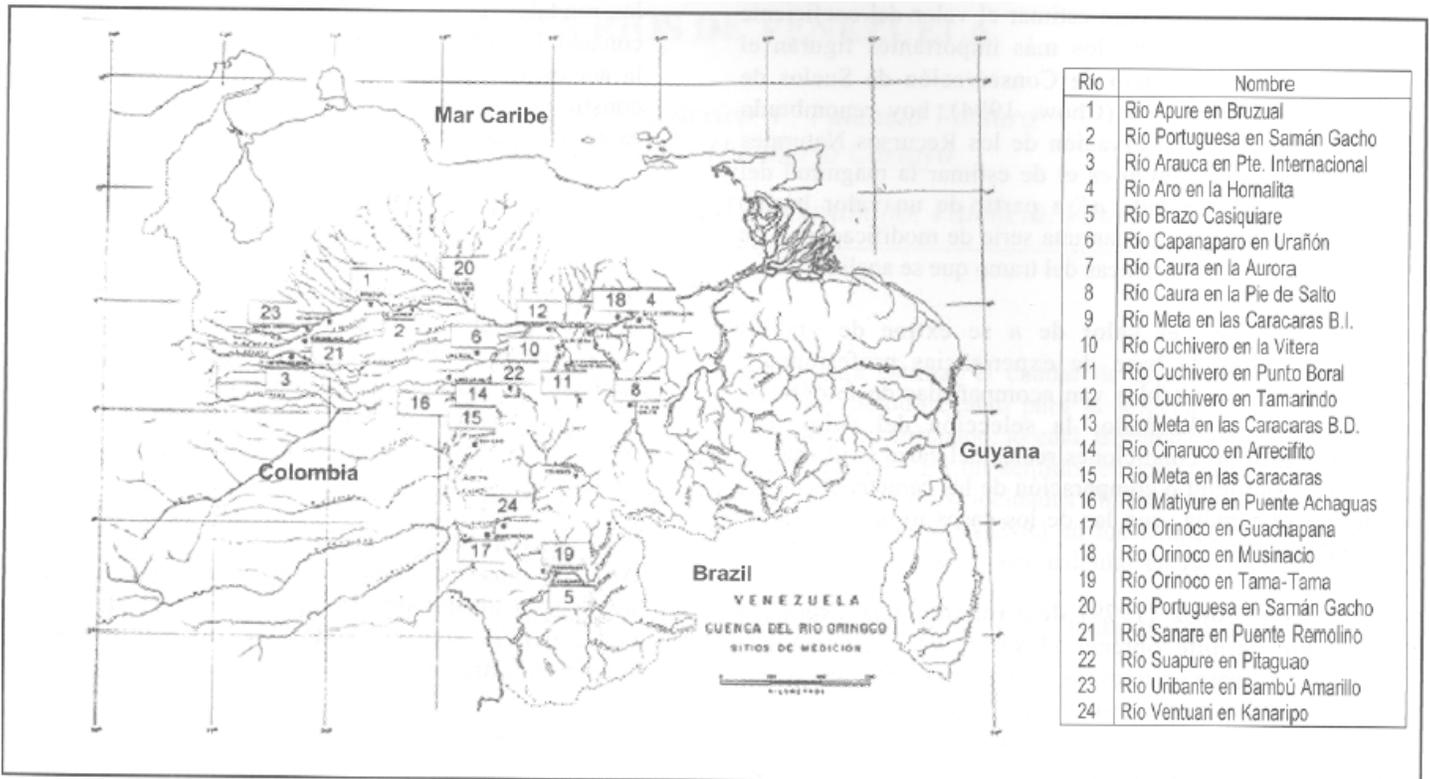


Figura 1. Mapa de Venezuela con la Ubicación de las Estaciones de Aforo en el Territorio Nacional

Nombre de la Estación	Río	Area de la Cuenca (Km ²)	N° Aforos	Año
Bruzual	Apure	41300	4	1968
El Saman	Apure	51200	2	1968
Totumito	Apure	10500	1	1968
Puente Internacional	Arauca	8800	4	1968
La Hortalita	Aro	15450	2	1968
Tama-Tama	Brazo Casiquiare	0	3	1968
Urañon	Capanaparo	18000	5	1968-1969
La Aurora	Caura	40000	12	1968-1969
Pie de Salto	Caura	22800	5	1968-1969
Arrecifito	Cinaruco	11200	2	1968-1969
La Vitera	Cuchivero	15000	3	1968
Punto Boral	Cuchivero	7500	4	1968
Tamarindo	Cuchivero	17500	1	1969
Puente Achaguas	Mayiture	5950	1	1968
Las Caracaras Bif. Izquierda	Meta	103000	1	1968
Las Caracaras Bif. Derecha	Meta	103000	3	1968-1969
Guachapana	Orinoco	60000	3	1968-1969
Musinacio	Orinoco	790000	1	1969
Tama-Tama	Orinoco	44000	3	1968-1969
Saman Gacho	Portuguesa	37000	3	1968-1969
Pitigao	Sarare	4150	2	1968-1969
Bambu Amarillo	Uribante	6800	1	1968
Kanaripo	Ventuari	45000	3	1968-1969

Tabla 1. Relación de las Estaciones de Aforo en la Zona del Sur de Venezuela.

La ecuación (2) se conoce como la ley Universal de Distribución de Velocidades de Prandtl-Von Karman, la cual viene a ser una función logarítmica que adopta las siguientes expresiones:

$$v = 5.75V_f \log\left(\frac{9yV_f}{\nu}\right) \quad \text{Superficies Lisas} \quad (3)$$

$$v = 5.75V_f \log\left(\frac{30y}{k}\right) \quad \text{Superficies Rugosas} \quad (4)$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática.

k : Altura de rugosidad.

El valor de " k " es igual al diámetro medio de los granos de arena utilizados en el laboratorio para el desarrollo experimental de las expresiones (3) y (4).

Para relacionar el coeficiente " n " de Manning con el valor teórico de la rugosidad del canal para superficies rugosas, se elimina el valor C de Chézy de las dos expresiones siguientes:

$$C = \frac{1.49}{n} R^{1/6} \quad (5)$$

$$C = 32.6 \log\left(\frac{12.2R}{k}\right) \quad \text{Canales rugosos} \quad (6)$$

Con lo cual se obtiene para "n":

$$n = \phi(R/k) k^{1/6} \quad (7)$$

Donde:

$$\phi(R/k) = \frac{\left(\frac{R}{k}\right)^{1/6}}{21.9 \log\left(\frac{12.2R}{k}\right)} \quad (8)$$

De las ecuaciones (7) y (8) se deduce que el valor de "k" está dado por:

$$k = \frac{12.2R}{R^{1/6} 10^{21.9n}} \quad (9)$$

En la bibliografía técnica se encuentra que en la representación gráfica de la ecuación (8), la función $\phi(R/k)$ no varía significativamente con la variación de R/k , y puede aproximarse mediante el valor medio. Strickler encontró para ríos de Suiza un valor de $\phi(R/k) = 0.0342$; donde "k" es la mediana del diámetro de las partículas. Los datos de varios ríos de EEUU, incluyendo el río Mississippi, arrojan resultados similares a los de Strickler. La conclusión es que el valor de "n" de Manning varía con la potencia 1/6 de la altura de rugosidad ($k^{1/6}$); y que "k" como una medida de la rugosidad del canal es más sensible que "n"; por lo tanto, los errores que se puedan cometer en el cálculo de "n" usando la ecuación (7) son comparativamente pequeños.

Sobre la base de los fundamentos teóricos expresados, el coeficiente de rugosidad de Manning se puede calcular utilizando las mediciones de la velocidad en las secciones de aforos como sigue:

$$v_{0.2} = 5.75 V_f \log\left(\frac{24y}{k}\right) \quad (10)$$

$$v_{0.8} = 5.75V_f \log\left(\frac{6y}{k}\right) \quad (11)$$

Donde:

$v_{0.2}$: Velocidad a 0.2 de profundidad a partir de la superficie del agua (a 0.8 desde el fondo).

$v_{0.8}$: Velocidad a 0.8 de profundidad a partir de la superficie del agua (a 0.2 desde el fondo).

Haciendo

$$x = \frac{v_{0.2}}{v_{0.8}}$$

y eliminando

$$V_f$$

de las ecuaciones (10) y (11) se tiene:

$$n = \frac{y^{1/6}(x-1)}{6.78(x+0.95)} \quad (12)$$

La ecuación (12) proporciona el valor de "n" para canales rugosos de gran anchura con una distribución logarítmica de velocidades. El valor de "y" representa la profundidad media del flujo.

Fases del estudio

Para el desarrollo de este trabajo se siguió el siguiente procedimiento:

- ⇒ Procesamiento de la información de la sección transversal del río. La función de distribución de velocidades se da para cada estación de aforos como líneas de igual velocidad a lo ancho de la sección hidráulica. Para la estimación del perfil de velocidades se recomienda dividir la anchura de la sección de aforos en un número de subsecciones , de tal modo que por cada una no circule más del 10 % del caudal total (US Department of the Interior, 1984). Para incrementar la precisión a las estimaciones, en la presente investigación se tomaron 15 subsecciones identificadas mediante su respectiva progresiva a partir de una de las orillas de la sección de aforo.
- ⇒ Aplicación de la función de distribución de velocidades para el cálculo de "n" en cada subsección. Para cada progresiva, en cada sección transversal, se calculó el valor de "n" aplicando la ecuación (12). De las curvas de distribución de velocidades se obtuvo el valor correspondiente a la velocidad a dos y a ocho décimos de la profundidad ($V_{0.2}$ y $V_{0.8}$), es decir, a 0.8 y 0.2 respectivamente desde el fondo del canal. En algunos casos los valores de $V_{0.2}$ y $V_{0.8}$ se obtuvieron por interpolación.

El valor de " n " para la sección total fue estimado como la media de los valores de " n " de las diferentes subsecciones. También se calculó la desviación estándar de " n ", σ_n (ver Tabla 2).

⇒ Cálculo de los parámetros hidráulicos. Utilizando las ecuaciones estándares de flujo en canales abiertos, se calcularon los parámetros de las subsecciones hidráulicas en cada una de las estaciones de aforo. Por integración de estos parámetros, se calcularon los correspondientes a la sección total.

La velocidad media en cada progresiva de la sección de aforos se estimó como el promedio entre las velocidades a 0,2 ($V_{0.8}$) y a 0,8 ($V_{0.2}$) de la profundidad " y ". La velocidad media de la sección se estimó como el promedio de las velocidades medias de las subsecciones o progresivas en las que quedo dividida dicha sección

El caudal (Q) de cada subsección se determinó usando la ecuación de continuidad, es decir, multiplicando la velocidad media de la subsección por el área correspondiente. El caudal total que atraviesa la sección transversal, se obtuvo mediante la integral de los caudales parciales.

Para calcular la altura de rugosidad en la sección de aforos, se uso la ecuación (9)

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Siguiendo el procedimiento indicado, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2. Con los valores dados en dicha tabla se llevó a cabo un análisis gráfico de la relación entre el coeficiente de rugosidad " n " y los elementos de la sección hidráulica que podrían ejercer influencia sobre su magnitud. Al respecto, se encontró que la magnitud de " n " no se ve influenciada por los parámetros hidráulicos de la sección de aforos. En cambio, los resultados indican que existe una marcada influencia de la altura de rugosidad, k , sobre el valor de " n "; esta relación se presenta en la Figura 2, donde se observa que la tendencia es claramente hacia un ascenso logarítmico de " n " a medida que se incrementa la altura de rugosidad. En la Figura 2 se han trazado las envolventes superior e inferior, las cuales dan un rango de variación de " n " con el correspondiente valor de k .

TABLA 2. Resultados obtenidos para la magnitud de n en grandes ríos de Venezuela.

Nombre	Aforo	A cuenca (km ²)	n	Des. St. de n	k (pies)	R (pies)	(R/k)	$\phi(R/k)$
Río Apure en Bruzual	1	41300	0,0348	0,0194	1,66	19,01	11,4558	0,03195618
Río Apure en Bruzual	2	41300	0,0396	0,0171	3,23	23,71	7,3448	0,03260847
Río Apure en Bruzual	3	41300	0,0372	0,0154	1,86	9,10	4,8926	0,03350124
Río Apure en Bruzual	4	41300	0,0416	0,0519	3,91	22,34	5,7187	0,03312014
Río Apure en el Samán	1	51200	0,0575	0,0219	11,10	17,22	1,5514	0,03847009
Río Apure en el Samán	2	51200	0,0315	0,0408	0,92	10,34	11,2499	0,03197713
Río Aráuca en Puente Internacional	1	10500	0,0344	0,0317	1,34	9,07	6,7858	0,03275792
Río Aráuca en Puente Internacional	2	8800	0,0591	0,0385	20,82	54,21	2,6039	0,03656833
Río Aráuca en Puente Internacional	3	8800	0,0487	0,0345	10,79	72,96	6,7635	0,03276436
Río Aráuca en Puente Internacional	4	8800	0,0503	0,0347	7,74	19,74	2,5500	0,03575045
Río Aráuca en Puente Internacional	5	8800	0,0619	0,0625	25,38	59,97	2,3625	0,03610038
Río Aro en la Hornalita	1	15450	0,0271	0,0182	0,41	10,30	24,8513	0,03143136
Río Aro en la Hornalita	2	15450	0,0228	0,0164	0,15	5,56	37,9128	0,03140262
Brazo Quisiquiare en Tama-Tama	1	0	0,0433	0,0307	3,99	14,44	3,6207	0,03439389
Brazo Quisiquiare en Tama-Tama	2	0	0,0254	0,0222	0,28	8,70	30,8226	0,03139676
Brazo Quisiquiare en Tama-Tama	3	0	0,0391	0,0227	2,32	9,48	4,0890	0,03400636
Río Capanaparo en Urañon	1	18000	0,0325	0,0244	1,18	19,05	16,0793	0,03164223
Río Capanaparo en Urañon	2	18000	0,0370	0,0251	2,31	21,38	9,2727	0,0322291
Río Capanaparo en Urañon	3	18000	0,0275	0,0252	0,44	24,12	54,2370	0,03149598
Río Capanaparo en Urañon	4	18000	0,0328	0,0209	1,23	17,41	14,2094	0,03174024
Río Capanaparo en Urañon	5	18000	0,0346	0,0257	1,52	13,76	9,0593	0,03226315
Río Caura en la Aurora	1	40000	0,0414	0,0302	3,26	13,30	4,0825	0,0340112
Río Caura en la Aurora	2	40000	0,0320	0,0216	1,08	19,26	17,7985	0,03157491
Río Caura en la Aurora	3	40000	0,0372	0,0184	2,56	32,38	12,6686	0,03184789
Río Caura en la Aurora	4	40000	0,0276	0,0156	0,45	25,42	56,7090	0,03151455
Río Caura en la Aurora	5	40000	0,0284	0,0596	0,34	24,60	72,3748	0,03164187
Río Caura en la Aurora	6	40000	0,0353	0,0126	1,85	23,77	12,8391	0,0318345
Río Caura en la Aurora	7	40000	0,0487	0,0359	6,03	14,22	2,3564	0,0361125
Río Caura en la Aurora	8	40000	0,0312	0,0196	0,90	11,99	13,3543	0,0317964
Río Caura en la Aurora	9	40000	0,0403	0,0254	2,48	8,38	3,3828	0,03462786
Río Caura en la Aurora	10	40000	0,0363	0,0246	1,65	8,29	5,0329	0,03342834
Río Caura en la Aurora	11	40000	0,0240	0,0185	0,20	8,17	41,1882	0,03141512
Río Caura en la Aurora	12	40000	0,0334	0,0210	1,15	8,09	7,0485	0,03268485
Río Caura en Pie de Salto	1	22800	0,0339	0,0270	1,48	20,33	13,7134	0,03177181
Río Caura en Pie de Salto	2	22800	0,0394	0,0305	3,11	22,80	7,3229	0,0326139
Río Caura en Pie de Salto	3	22800	0,0619	0,0337	15,51	21,72	1,4002	0,03918459
Río Caura en Pie de Salto	4	22800	0,0420	0,0274	3,71	16,60	4,4713	0,03374582
Río Caura en Pie de Salto	5	22800	0,0388	0,0356	2,59	15,09	5,8161	0,03308186
Río Cinaruco en Arrecifo	1	11200	0,0308	0,0132	0,83	12,0344817	14,4826	0,03172396
Río Cinaruco en Arrecifo	2	11200	0,0501	0,0279	7,86	21,2218876	2,6985	0,03550468
Río Cuchivero en la Vitera	1	15000	0,0318	0,0228	0,96	10,1949977	10,6558	0,0320425
Río Cuchivero en la Vitera	2	15000	0,0244	0,0152	0,19	24,8558147	128,4524	0,03210171
Río Cuchivero en la Vitera	3	15000	0,0474	0,0241	5,94	17,3368335	2,9162	0,03518547
Río Cuchivero en Punto Boral	1	7500	0,0242	0,0094	0,08	0,1594815	2,0009	0,03694039
Río Cuchivero en Punto Boral	2	7500	0,0293	0,0167	0,58	6,2192756	10,7012	0,03203723
Río Cuchivero en Punto Boral	3	7500	0,0466	0,0362	3,08	4,6602640	1,5109	0,03864856
Río Cuchivero en Punto Boral	4	7500	0,0247	0,0121	0,22	19,1836810	86,8202	0,03176411
Río Cuchivero en Tamarindo	1	17500	0,0259	0,0121	0,31	4,8440109	15,5947	0,03166481
Río Matiyure en Puente Achaguas	1	5950	0,0391	0,0379	2,79	17,0167933	6,0965	0,03297818
Río Meta en la Caracacas B.D.	1	103000	0,0326	0,0235	1,06	8,3101985	7,8324	0,03249506
Río Meta en la Caracacas B.I.	1	103000	0,0399	0,0185	1,99	5,2940022	2,6659	0,03555657

TABLA 2. Continuación

Nombre	Aforo	A cuenca (km ²)	n	Des. St. de n	k (pies)	R (pies)	(R/k)	ψ(R/k)
Río Meta en las Caracaras	2	103000	0,0481	0,0230	5,36	12,0098859	2,2423	0,03635237
Río Meta en las Caracaras	3	103000	0,0266	0,0344	0,37	7,7467370	21,1824	0,03148576
Río Orinoco en Guachapana	1	60000	0,0473	0,0189	7,18	28,7610669	4,0055	0,03406944
Río Orinoco en Guachapana	2	60000	0,0479	0,0589	6,30	18,0324121	2,8628	0,03525982
Río Orinoco en Guachapana	3	60000	0,0363	0,0285	1,97	16,5398560	8,3843	0,03238236
Río Orinoco en Musinacio	1	790000	0,0523	0,0328	11,89	40,2590401	3,3852	0,03462531
Río Orinoco en Tama-Tama	1	44000	0,0448	0,0318	5,64	26,6575402	4,7250	0,03359352
Río Orinoco en Tama-Tama	2	44000	0,0248	0,0159	0,24	10,6051394	44,4407	0,0314315
Río Orinoco en Tama-Tama	3	44000	0,0157	0,0121	0,01	17,9231452	1,700	0,03886092
Río Portuguesa en Saman Gacho	1	37000	0,0366	0,0214	2,21	22,4367255	10,1496	0,03210465
Río Portuguesa en Saman Gacho	2	37000	0,0355	0,0333	1,89	22,8714356	12,0905	0,0318965
Río Portuguesa en Saman Gacho	3	37000	0,0345	0,0243	1,23	6,3744767	5,1991	0,0333467
Río Sanare en Puente Remolino	1	3600	0,0509	0,0362	7,70	17,6655584	2,2953	0,03623817
Río Sanare en Puente Remolino	2	3600	0,0592	0,0301	9,63	11,3158511	1,1756	0,04055808
Río Suapure en Pitaguao	1	4150	0,0288	0,0389	0,59	14,7314739	25,0966	0,03142884
Río Suapure en Pitaguao	2	4150	0,0646	0,0536	13,92	14,4999104	1,0420	0,04163668
Río Urbante en Bambú Amarillo	1	6800	0,0359	0,0282	1,58	8,4607195	5,3459	0,03327855
Río Ventuari en Kanapiro	1	45000	0,0386	0,0168	3,09	34,2659807	11,0827	0,03199477
Río Ventuari en Kanapiro	2	45000	0,0383	0,0264	2,77	24,7805	8,9315	0,03228432
Río Ventuari en Kanapiro	3	45000	0,0580	0,0328	12,07	19,2111	1,5918	0,03830069

Figura 2. Representación gráfica de la influencia de la Altura de Rugosidad (k) sobre el coeficiente de rugosidad medio (n).

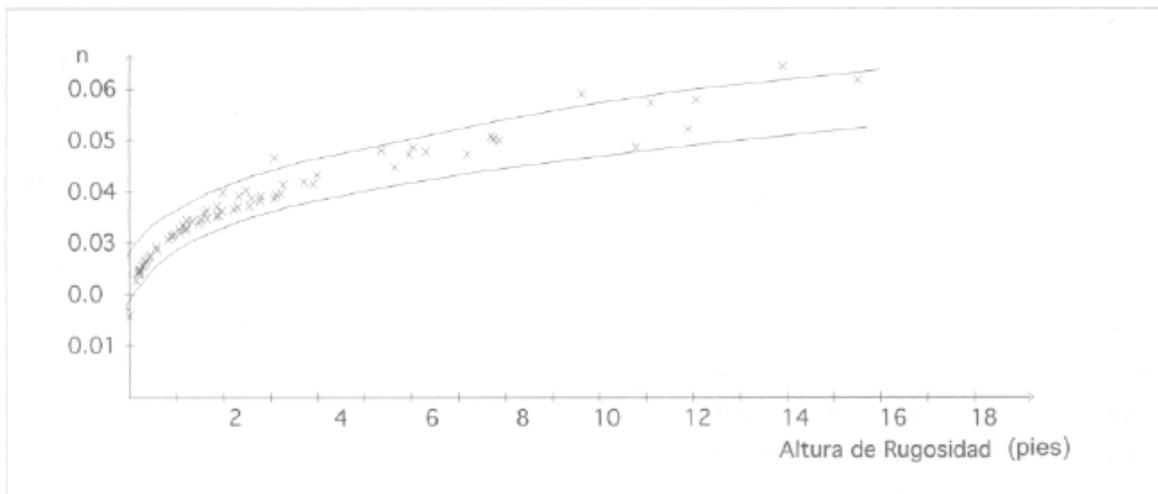
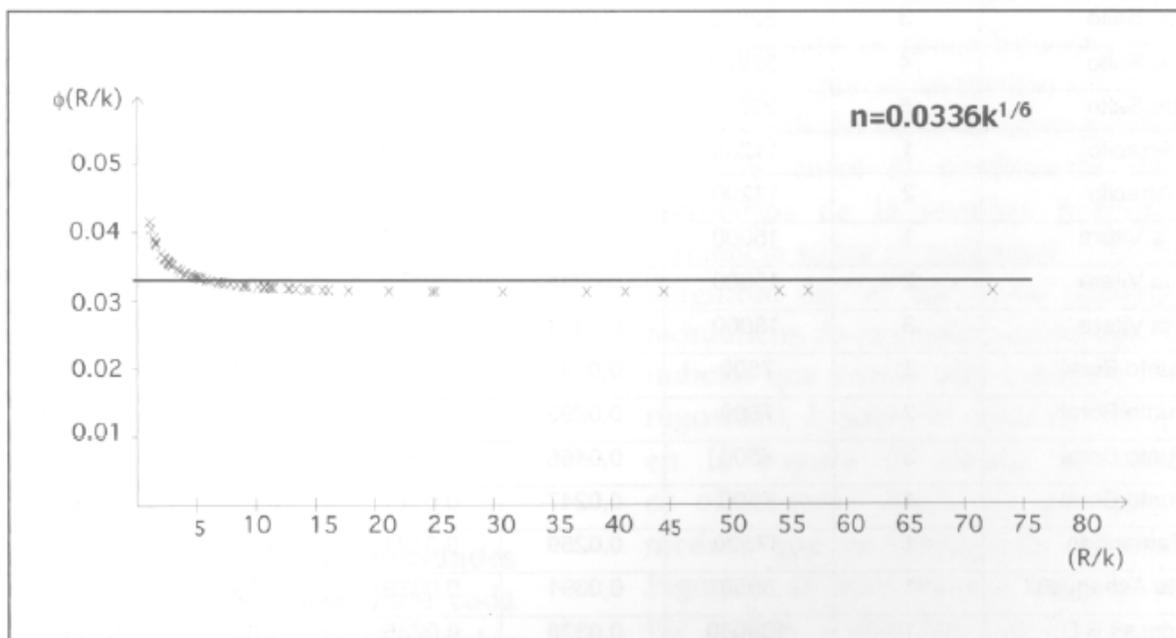


Figura 3. Representación gráfica de $\phi(R/k)$ y R/k



La gráfica de la función $\phi(R/k)$ vs. R/k (Figura 3), muestra que para un rango amplio de R/k , la variación de la función $\phi(R/k)$ es muy pequeña, lo cual indica que existe una relación constante entre ambas variables, la misma que es aproximadamente igual a 0.0336 (media de los valores). Este valor coincide con los resultados encontrados por Strickler para ríos de los Alpes y con el resultado dado en la bibliografía para el río Mississippi y otros ríos del oeste de Estados Unidos.

Combinando los resultados de la Figura 3 con la ecuación (7) se establece el siguiente modelo para calcular el valor de "n" en los grandes ríos de Venezuela:

$$n = 0.0336 k^{1/6} \quad (13)$$

Donde:

k : diámetro medio de las partículas de fondo.

La ecuación (13) constituye una herramienta sencilla y útil para el cálculo del coeficiente "n", con sólo conocer la granulometría del material del lecho de los ríos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la discusión realizada sobre los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones:

- 1.- La relación entre la altura de rugosidad (k) y el coeficiente de rugosidad "n" de Manning, se ajusta a una función logarítmica. La variabilidad de "n" en función de la altura de rugosidad (k) se puede describir

mediante dos curvas envolventes (una interna y otra externa), para la estimación aproximada de los rangos de variación del coeficiente de rugosidad.

- 2.- El valor de la altura de rugosidad se puede estimar sobre la base de las características granulométricas del material de fondo, utilizando la ecuación (13).
- 3.- Considerando que la ecuación de Manning es uno de los métodos de estimación de flujos más conocidos y de aplicación universal, se puede concluir que el modelo encontrado para determinar " n ", ecuación (13), es útil y de fácil aplicación.
- 4.- En los ríos de la zona sur de Venezuela, existe una relación bien definida para la función $\bar{O}(R/k)$ y similar a la encontrada por Strickler, tanto para ríos en Suiza, como para el río Mississippi de los Estados Unidos de Norte América.
- 5.- Se recomienda realizar investigaciones adicionales en sitios de aforo del resto del país, para determinar si se confirma la tendencia de este estudio.

REFERENCIAS

- 1.- Campos A. (1982) "Factor de rugosidad en secciones compuestas". Revista Hidráulica. "El Agua". N° 27. SVIH, Caracas, Venezuela. Ediciones Líder.
- 2.- Chow V. T. (1994). "Hidráulica de Canales Abiertos". Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, Bogotá. Reimpresión.
- 3.- French, R. (1988) "Hidráulica de Canales Abiertos". Editorial McGraw-Hill. México.
- 4.- Fuentes R. y J. L. LOPEZ, (1979) "Determinación Numérica del Coeficiente de Manning en un Tramo de Canal de Longitud Arbitraria". Laboratorio Nacional de Hidráulica. Caracas, Venezuela.
- 5.- Karim F. (1990) "Menu of Coupled Velocity and Sediment Discharge Relations for Rivers ", en Sediment Discharge and Velocity. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 116 No 8, August.
- 6.- Ministerio De Obras Públicas (1968). Mediciones en Ríos Grandes. Caracas, Venezuela
- 7.- Ministerio Del Ambiente Y De Los Recursos Naturales Renovables. (1976). Atlas Nacional de la República de Venezuela. Segunda Edición. Caracas, Venezuela.
- 8.- Ranald V. G. (1974) "Mecánica de los Fluidos e Hidráulica", Serie Schaum. Ediciones McGraw-Hill. México.
- 9.- US Department Of The Interior. (1984) "Water Measurement Manual ". Second Edition. Denver-Colorado.