

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XI CONGRESO CHILENO

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN RIOS CON GRAN PENDIENTE

ALFONSO UGARTE S.¹

MANUEL MADRID A.²

R E S U M E N

Se analiza el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en ríos con pendiente fuerte y lecho constituido por materiales granulares gruesos, sobre la base de experiencias realizadas en ríos de la zona central del país. Se proponen ecuaciones implícitas para la determinación del coeficiente de rugosidad.

¹ Ingeniero civil U. de Chile. Profesor Universidad Gabriela Mistral.

² Ingeniero civil. Universidad Técnica Federico Santa María.

1.- INTRODUCCION.

La determinación del coeficiente de rugosidad n de Manning en los ríos de fuerte pendiente es generalmente difícil, debido a la existencia de especiales características de este tipo de escurrimientos, que lo diferencian claramente de los correspondientes a los de ríos en zonas planas.

Estos escurrimientos se caracterizan por tener grandes pendientes y lechos formados por materiales de granulometría gruesa y extendida, razón por la cual se debe tener cuidado en la aplicación de ecuaciones deducidas para otras condiciones, ya que éstas generalmente tienden a subestimar la rugosidad de este tipo de cauces

2.- FORMULAS EMPIRICAS.

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en ríos de pendiente fuerte existe una serie de fórmulas empíricas, que toman en cuenta la granulometría del sedimento, entre las cuales es posible citar las dos siguientes:

i) Fórmula de Limerinos :

$$n = \frac{0,113 \cdot R^{\frac{1}{6}}}{1,16 + 2 \cdot \log \left(\frac{R}{D_{84}} \right)} \quad (1)$$

ii) Fórmula de Strickler. De acuerdo a la referencia (4), esta ecuación puede ser expresada como :

$$n = \frac{(C \cdot D_c)^{\frac{1}{6}}}{21} \quad (2)$$

Donde C es una constante de ponderación del diámetro característico del sedimento, con un valor $C = 3.4$ si D_c es el D_{84} .

3.- DATOS EXPERIMENTALES.

Con el propósito de estudiar el problema de la determinación de n , se hizo una recopilación de información experimental publicada, seleccionandose para estos efectos las bases de datos contenidas en trabajos de Madrid (1992), Bathurst(1985) y Jarrett(1984), que se refieren a ríos chilenos, ingleses y norteamericanos respectivamente.

Adicionalmente se ha supuesto escurrimiento uniforme, situación que de acuerdo a los antecedentes antes mencionados, es aceptable en este tipo de estudios. De acuerdo a lo anterior, el valor de n se puede calcular a partir de los datos experimentales mediante la ecuación:

$$n = \frac{\sqrt{J} \cdot R^{\frac{2}{3}}}{V} \quad (3)$$

Al analizar el comportamiento de las ecuaciones N°1 y N° 2, es posible concluir que en general sus resultados son buenos, pero queda claro que dichas expresiones no modelan totalmente el fenómeno en estudio. Sobre la base de los antecedentes de Madrid(1992), que se resumen en el cuadro N° 1, al estimar las velocidades con estas dos ecuaciones, los errores obtenidos están en su mayoría en el rango $\pm 25\%$ con respecto a los valores medidos, lo que se puede apreciar en las figuras N°1 y N°2.

4.- ANALISIS DEL PROBLEMA.

La rugosidad de un cauce de gran pendiente depende de múltiples factores, los cuales de acuerdo a lo indicado anteriormente, sólo están parcialmente modelados por las ecuaciones N° 1 y N° 2. Esto último queda claro al comparar los valores de n calculados con la ecuación N° 2 con los valores medidos, tal como se puede apreciar en los cuadros N° 1 y N° 2.

Sobre esta base, es posible plantear la siguiente expresión para el cálculo de n:

$$n = n_b + \Delta n \quad (4)$$

Donde n_b es un valor base, que se puede calcular con la ecuación N°2 como:

$$n_b = \frac{(3,4 \cdot D_{84\%})^{\frac{1}{6}}}{21} = 0,183 \frac{D_{84\%}^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}} \quad (5)$$

En relación a Δn , se ha planteado la siguiente ecuación adimensional.

$$\frac{\sqrt{g} \cdot \Delta n}{D_{84\%}^{\frac{1}{6}}} = f \left(J, \frac{R}{D_{84\%}}, F_d \right) \quad (6)$$

5.- Ecuaciones Propuestas.

De acuerdo a Bathurst (1985), para caracterizar este tipo de escurrimiento se usa el concepto de sumergencia relativa ($R/D_{84\%}$) que corresponde a la relación entre el radio hidráulico y el diámetro 84% del sedimento. De acuerdo a esto, los escurrimientos se pueden clasificar en:

1. Escurrimiento de rugosidad alta : $0 < R/D_{84\%} < 1$.
2. Escurrimiento de rugosidad intermedia: $1 < R/D_{84\%} < 4$.
3. Escurrimiento de rugosidad pequeña : $R/D_{84\%} > 4$.

En función de esta clasificación se estudió la ecuación N° 5, a partir de la información experimental disponible, mediante análisis de regresión lineal múltiple.

5.1 Escurrecimiento de Rugosidad Alta ($0 < R/D_{644} < 1$).

En este caso se utilizaron las bases de datos publicadas por Bathurst (1985) y Jarrett (1984), obteniéndose la siguiente ecuación para n:

$$n = (0,183 + \ln(\frac{1,7462 \cdot J^{0,1581}}{F_d^{0,2631}})) \cdot \frac{D_{644}^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}} \quad (7)$$

Mediante esta ecuación, el error promedio al estimar la velocidad fue igual a 7,2%, con un error máximo de 47% y mínimo de 0,13%. Estos resultados se pueden apreciar en la figura N° 3 y en el cuadro N° 2, en que se puede comparar directamente los valores de n medidos y los calculados con esta ecuación.

5.2 Escurrecimiento de Rugosidad Intermedia. ($R/D_{644} > 1$).

Para este tipo de escurrecimiento, se usó la base de datos obtenida por Madrid (1992), la que cubre el rango $1 < R/D_{644} < 12,54$. La ecuación propuesta en este rango de sumergencias relativas es:

$$n = (0,183 + \ln(\frac{1,3014 \cdot J^{0,0785} \cdot (\frac{R}{D_{644}})^{0,0211}}{F_d^{0,1705}})) \cdot \frac{D_{644}^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}} \quad (8)$$

Esta ecuación de Strickler modificada, estima la velocidad con error promedio igual a 2,25% en relación a los valores medidos; el error máximo es de 9,86% y el mínimo de 0,03%, situación que se

puede apreciar en la figura Nº 4 y también en el cuadro Nº 1 , en el que se comparan los valores de n estimados con la ecuación Nº 8 y los medidos experimentalmente.

6.- VALIDACION.

Con el proposito de verificar la aplicabilidad de las ecuaciones propuestas, se trató de realizar una validación que permitiera estudiar su comportamiento en una situación diferente a la utilizada para su deducción.

Esto no fue posible en el caso de la ecuación Nº 7, ya que no se dispuso de mayores antecedentes experimentales que los empleados para su determinación.

En relación a la ecuación Nº 8, válida para $R/D_{50} > 1$, se pudo realizar una validación utilizando los antecedentes publicados por Bathurst(1985) y Jarrett(1984). Los resultados obtenidos son buenos, especialmente si se considera que la información corresponde a datos obtenidos independientemente de los utilizados en la deducción de la fórmula. Los errores en la estimación de la velocidad son aceptables, alcanzando un valor medio igual a 6.3%, con un máximo de 37% y un mínimo de .03%; estos resultados se pueden apreciar en la figura Nº 5.

7.- CONSIDERACIONES FINALES.

Sobre la base de lo expuesto es posible concluir lo siguiente:

a) El coeficiente de rugosidad de Manning en ríos de gran pendiente y granulometría gruesa varía de una manera complicada, dependiendo de la escala de rugosidad y otros factores característicos del escurrimiento. Esto queda reflejado en la obtención de fórmulas implícitas para el cálculo de n , que constituyen una modificación de la fórmula de Strickler.

b) De acuerdo a la validación efectuada, se recomienda utilizar la ecuación N° 8 para los escurrimientos de rugosidad intermedia, con valores de J comprendidos entre 0.2% y 4% y de $R/D_{s_{ii}}$ en el rango 1 a 16.4.

c) Se debe continuar la investigación de este tipo de escurrimientos, especialmente en el rango de rugosidad alta ($R/d_{s_{ii}} < 1$). La ecuación N° 7 debe ser considerada un resultado preliminar, aún cuando sus resultados superan a los obtenidos en otras investigaciones similares.

d) Al parecer este tipo de escurrimientos tendrían una estructura claramente distinta en relación a la de los ríos de baja pendiente. Se debería continuar con esta investigación, estudiando con mayor profundidad, otros factores tales como: la influencia del número de Froude, del arrastre de sedimento y de las irregularidades del lecho entre otros.

8.- BIBLIOGRAFIA.

1. BATHURST, J.C., FLOW RESISTANCE ESTIMATION IN MOUNTAIN RIVERS. Journal of Hydraulic Engineering A.S.C.E. 1985.
2. JARRETT R.D., HYDRAULICS OF HIGH GRADIENT STREAMS Journal of Hydraulic Engineering A.S.C.E. 1984.
3. MADRID, M., HIDRAULICA DE RIOS CON GRAN PENDIENTE, U.T.F.S.M. 1992.
4. UGARTE, A.Y MADRID, M. , HIDRAULICA DE RIOS CON GRAN PENDIENTE. XI Congreso Chileno de Hidráulica. 1993.

9.- NOMENCLATURA.

| | |
|------------------|---|
| C : | Constante de ponderación del diámetro característico del sedimento. |
| Dc : | Diámetro característico del sedimento (m) |
| F _s : | Número de Froude. |
| g : | Aceleración de gravedad (m/s ²). |
| J : | Pendiente de la línea de energía. |
| log : | Logaritmo base 10 . |
| ln : | Logaritmo natural. |
| n : | Coefficiente de rugosidad de Manning. |
| R : | Radio hidráulico (m). |
| V : | Velocidad media (m/s). |

RESUMEN INFORMACION EXPERIMENTAL (R/084 > 1)

CUADRO N° 1

| ESTACION | Caudal (m ³ /s) | Pendiente E. Hidrau. | Diam. 84 % (mm) | n medido | n EC. 2 | n EC. 8 | V (m/s) | R/084 | NUMERO FROUDE |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|------------|------------|------------|-------|------------------|
| MAIPO EN EL MARZANO | 371.69 | 0.00820 | 241.90 | 0.0415 | 0.0461 | 0.0401 | 3.53 | 8.52 | 0.77 |
| MAIPO EN EL MARZANO | 344.33 | 0.00820 | 241.90 | 0.0462 | 0.0461 | 0.0446 | 3.26 | 8.89 | 0.70 |
| MAIPO EN SAN ALPONSO | 230.35 | 0.01540 | 303.51 | 0.0481 | 0.0479 | 0.0475 | 3.71 | 5.67 | 0.86 |
| MAIPO EN SAN ALPONSO | 203.22 | 0.01080 | 303.51 | 0.0449 | 0.0479 | 0.0451 | 3.41 | 5.90 | 0.77 |
| MAIPO EN EL MARZANO | 223.19 | 0.00800 | 241.90 | 0.0356 | 0.0461 | 0.0338 | 3.29 | 6.20 | 0.85 |
| MAIPO EN EL MARZANO | 182.43 | 0.00612 | 241.90 | 0.0374 | 0.0461 | 0.0366 | 2.93 | 5.54 | 0.79 |
| MAIPO EN SAN ALPONSO | 125.73 | 0.01000 | 303.51 | 0.0481 | 0.0479 | 0.0481 | 2.66 | 4.78 | 0.68 |
| MAIPO EN EL MARZANO | 112.97 | 0.00730 | 241.90 | 0.0393 | 0.0461 | 0.0385 | 2.32 | 4.55 | 0.70 |
| ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | 102.11 | 0.00526 | 232.20 | 0.0420 | 0.0458 | 0.0437 | 2.51 | 7.54 | 0.56 |
| ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | 85.34 | 0.00514 | 232.20 | 0.0394 | 0.0458 | 0.0397 | 2.48 | 6.85 | 0.61 |
| MAIPO EN LAS MELOSAS | 83.04 | 0.00673 | 235.30 | 0.0403 | 0.0459 | 0.0398 | 2.33 | 5.23 | 0.67 |
| COLORADO EN DESEMBOCADURA | 75.01 | 0.01000 | 217.40 | 0.0446 | 0.0453 | 0.0445 | 2.82 | 6.49 | 0.72 |
| MAIPO EN SAN ALPONSO | 70.98 | 0.01080 | 303.51 | 0.0458 | 0.0479 | 0.0468 | 2.28 | 3.33 | 0.69 |
| ACONCAGUA EN SAN FELIPE | 67.19 | 0.00811 | 190.30 | 0.0405 | 0.0443 | 0.0404 | 2.03 | 4.57 | 0.68 |
| COLORADO EN DESEMBOCADURA | 66.75 | 0.01050 | 217.40 | 0.0428 | 0.0453 | 0.0437 | 2.82 | 5.89 | 0.75 |
| COLORADO ANTE OLIVARES | 52.86 | 0.01460 | 189.50 | 0.0385 | 0.0443 | 0.0374 | 2.28 | 3.27 | 0.92 |
| ACONCAGUA EN RIO BLANCO | 50.61 | 0.00780 | 257.20 | 0.0501 | 0.0466 | 0.0512 | 2.06 | 4.90 | 0.55 |
| MAIPO EN LAS MELOSAS | 44.86 | 0.00690 | 235.30 | 0.0412 | 0.0459 | 0.0411 | 1.85 | 3.74 | 0.62 |
| COLORADO ANTE OLIVARES | 47.32 | 0.01460 | 189.50 | 0.0421 | 0.0443 | 0.0409 | 2.11 | 3.32 | 0.84 |
| COLORADO EN DESEMBOCADURA | 46.91 | 0.00970 | 217.40 | 0.0488 | 0.0453 | 0.0488 | 2.24 | 5.38 | 0.63 |
| ACONCAGUA EN SAN FELIPE | 42.32 | 0.00780 | 190.30 | 0.0322 | 0.0443 | 0.0309 | 2.02 | 3.31 | 0.81 |
| ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | 33.78 | 0.00376 | 232.20 | 0.0462 | 0.0458 | 0.0472 | 1.44 | 4.87 | 0.42 |
| VOLCAN EN QUELTERUES | 33.56 | 0.01260 | 238.29 | 0.0458 | 0.0460 | 0.0508 | 2.72 | 4.91 | 0.68 |
| VOLCAN EN QUELTERUES | 35.08 | 0.01260 | 238.29 | 0.0458 | 0.0460 | 0.0509 | 2.75 | 4.99 | 0.68 |
| CORATORRAL ANTE CACHAPOAL | 31.46 | 0.01110 | 233.40 | 0.0509 | 0.0458 | 0.0501 | 1.72 | 3.26 | 0.62 |
| ACONCAGUA EN RIO BLANCO | 32.38 | 0.00780 | 257.20 | 0.0558 | 0.0466 | 0.0558 | 1.63 | 4.12 | 0.48 |
| TENO DESPUES DE JUNTA | 28.81 | 0.00240 | 176.50 | 0.0395 | 0.0437 | 0.0407 | 1.35 | 6.46 | 0.40 |
| COLORADO ANTES PALOS | 28.82 | 0.00485 | 255.70 | 0.0550 | 0.0465 | 0.0546 | 1.11 | 3.21 | 0.39 |
| OLIVARES ANTES COLORADO | 25.37 | 0.01550 | 253.60 | 0.0479 | 0.0465 | 0.0482 | 2.12 | 2.92 | 0.76 |
| PALOS ANTES COLORADO | 25.72 | 0.00962 | 221.70 | 0.0506 | 0.0454 | 0.0495 | 1.38 | 2.71 | 0.57 |
| PALOS ANTES COLORADO | 24.08 | 0.00962 | 221.70 | 0.0455 | 0.0454 | 0.0454 | 1.43 | 2.44 | 0.62 |
| COLORADO EN DESEMBOCADURA | 25.75 | 0.00980 | 217.40 | 0.0565 | 0.0453 | 0.0549 | 1.62 | 4.37 | 0.51 |
| OLIVARES ANTE COLORADO | 23.57 | 0.01550 | 253.60 | 0.0418 | 0.0465 | 0.0419 | 2.26 | 2.60 | 0.86 |
| COLORADO ANTE PALOS | 22.70 | 0.00480 | 255.70 | 0.0589 | 0.0465 | 0.0579 | 1.00 | 3.09 | 0.36 |
| COLORADO ANTE OLIVARES | 29.44 | 0.01600 | 189.50 | 0.0416 | 0.0443 | 0.0410 | 1.84 | 2.48 | 0.85 |
| ARGOS EN VALDIVIA DE PAINE | 24.05 | 0.00331 | 54.24 | 0.0301 | 0.0359 | 0.0294 | 1.42 | 11.80 | 0.56 |
| ARGOS EN VALDIVIA DE PAINE | 21.32 | 0.00338 | 54.24 | 0.0357 | 0.0359 | 0.0350 | 1.26 | 12.54 | 0.48 |
| ARGOS EN VALDIVIA DE PAINE | 20.48 | 0.00320 | 54.24 | 0.0292 | 0.0359 | 0.0284 | 1.39 | 11.25 | 0.56 |
| ACONCAGUA EN SAN FELIPE | 20.78 | 0.00756 | 190.30 | 0.0381 | 0.0443 | 0.0381 | 1.44 | 2.83 | 0.65 |
| TENO DESPUES DE JUNTA | 18.14 | 0.00230 | 176.50 | 0.0436 | 0.0437 | 0.0450 | 1.07 | 5.44 | 0.34 |
| VOLCAN EN QUELTERUES | 17.60 | 0.00910 | 238.29 | 0.0515 | 0.0460 | 0.0548 | 1.85 | 4.20 | 0.53 |
| COLORADO ANTE OLIVARES | 16.73 | 0.01610 | 189.50 | 0.0533 | 0.0443 | 0.0512 | 1.29 | 2.11 | 0.65 |
| ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | 17.23 | 0.00352 | 232.20 | 0.0488 | 0.0458 | 0.0499 | 1.11 | 3.75 | 0.37 |
| OLIVARES ANTE COLORADO | 16.93 | 0.01500 | 253.60 | 0.0396 | 0.0465 | 0.0402 | 2.07 | 2.17 | 0.86 |
| PALOS ANTE COLORADO | 16.58 | 0.00910 | 221.70 | 0.0486 | 0.0454 | 0.0484 | 1.17 | 2.07 | 0.55 |
| COLORADO ANTE PALOS | 15.68 | 0.00461 | 255.70 | 0.0623 | 0.0465 | 0.0612 | 0.84 | 2.66 | 0.32 |

RESUMEN INFORMACION EXPERIMENTAL (E/D844 > 1)
(CONTINUACION)

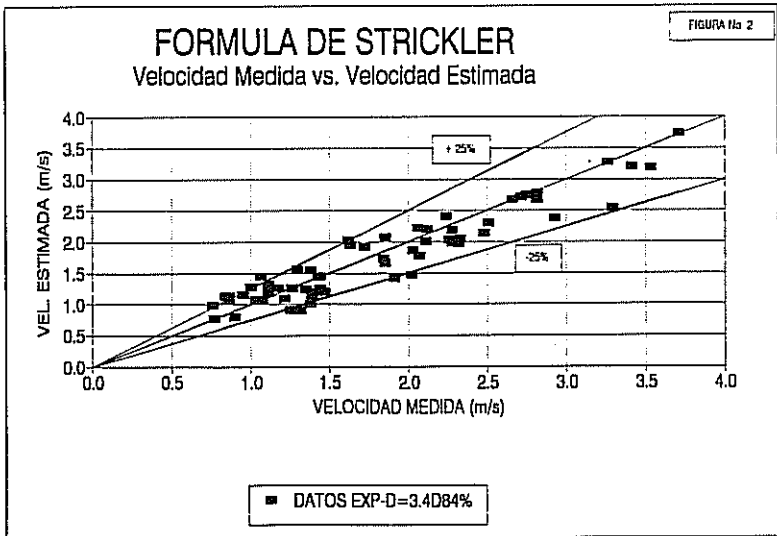
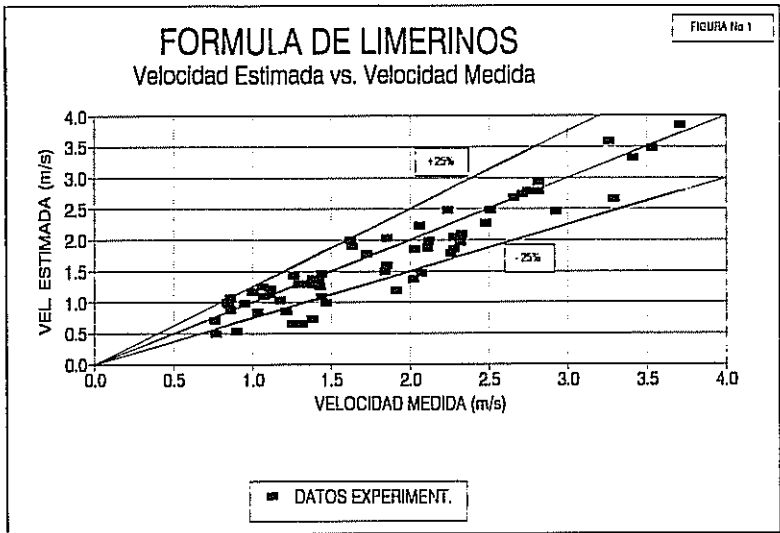
CUADRO N° 1

| ESTACION | Caudal (m ³ /s) | Pendiente K.Hidrau. | Diam. Ø 4 (mm) | n medido | n EC. 2 | n EC. 8 | V (m/s) | R/D844 | NUMERO PROUDE |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|-------------|------------|------------|------------|--------|------------------|
| RIO BLANCO EN BLANCO | 16.30 | 0.00870 | 269.20 | 0.0347 | 0.0469 | 0.0348 | 1.91 | 2.23 | 0.77 |
| TERRA DESPUES DE JURTA | 13.75 | 0.00240 | 176.50 | 0.0536 | 0.0437 | 0.0533 | 0.86 | 5.16 | 0.28 |
| MAIPO EN LAS MELOSAS | 10.93 | 0.00670 | 235.30 | 0.0557 | 0.0459 | 0.0551 | 0.95 | 2.21 | 0.42 |
| HAPOCHO EN LOS ALMENDROS | 11.08 | 0.00910 | 212.70 | 0.0370 | 0.0451 | 0.0374 | 1.47 | 2.02 | 0.71 |
| CLARO EN LOS QUENES | 11.73 | 0.00725 | 237.70 | 0.0479 | 0.0460 | 0.0490 | 1.03 | 1.85 | 0.49 |
| COLORADO ANTES ACONCAGUA | 9.66 | 0.00820 | 283.60 | 0.0646 | 0.0473 | 0.0628 | 1.06 | 2.33 | 0.40 |
| HAPOCHO EN LOS ALMENDROS | 8.16 | 0.00840 | 212.70 | 0.0406 | 0.0451 | 0.0414 | 1.21 | 1.83 | 0.61 |
| CLARO EN LOS QUENES | 6.46 | 0.00850 | 237.70 | 0.0594 | 0.0460 | 0.0581 | 0.76 | 1.43 | 0.41 |
| CLARO EN LOS QUENES | 6.53 | 0.00700 | 237.70 | 0.0407 | 0.0460 | 0.0416 | 0.90 | 1.22 | 0.54 |
| OLIVARES ANTE COLORADO | 6.30 | 0.00700 | 253.60 | 0.0340 | 0.0465 | 0.0347 | 1.25 | 1.42 | 0.65 |
| COLORADO ANTES ACONCAGUA | 6.03 | 0.00700 | 283.60 | 0.0624 | 0.0473 | 0.0618 | 0.86 | 1.80 | 0.37 |
| ACONCAGUA EN SAN FELIPE | 5.91 | 0.00742 | 190.30 | 0.0588 | 0.0443 | 0.0563 | 0.65 | 2.31 | 0.41 |
| HAPOCHO EN LOS ALMENDROS | 7.00 | 0.00820 | 212.70 | 0.0309 | 0.0451 | 0.0301 | 1.31 | 1.41 | 0.77 |
| RIO BLANCO EN BLANCO | 4.33 | 0.00710 | 269.20 | 0.0336 | 0.0469 | 0.0346 | 1.38 | 1.52 | 0.67 |
| HAPOCHO EN LOS ALMENDROS | 2.38 | 0.00820 | 212.70 | 0.0454 | 0.0451 | 0.0470 | 0.77 | 1.13 | 0.50 |

BASE DE DATOS AMERICANOS E INGLESSES
($0 < R/D84\% < 1$)

CUADRO No 2

| CAUDAL (m ³ /s) | VELOCIDAD (m/s) | J | R/d84 % | n medido | n EC. 2 | n EC. 7 | FROUDE |
|-------------------------------|--------------------|--------|---------|-------------|------------|------------|--------|
| 0.34 | 0.26 | 0.0110 | 0.38 | 0.1144 | 0.0497 | 0.1169 | 0.22 |
| 0.32 | 0.99 | 0.0145 | 0.43 | 0.0330 | 0.0481 | 0.0305 | 0.84 |
| 1.10 | 0.30 | 0.0030 | 0.46 | 0.0580 | 0.0497 | 0.0612 | 0.22 |
| 1.36 | 0.46 | 0.0260 | 0.49 | 0.1124 | 0.0491 | 0.1196 | 0.34 |
| 1.67 | 1.29 | 0.0145 | 0.54 | 0.0295 | 0.0481 | 0.0201 | 0.98 |
| 1.53 | 0.38 | 0.0150 | 0.57 | 0.1465 | 0.0525 | 0.1371 | 0.22 |
| 2.00 | 0.52 | 0.0373 | 0.60 | 0.1545 | 0.0510 | 0.1455 | 0.32 |
| 4.19 | 0.66 | 0.0190 | 0.60 | 0.1064 | 0.0534 | 0.1169 | 0.34 |
| 6.74 | 0.55 | 0.0128 | 0.62 | 0.1210 | 0.0552 | 0.1225 | 0.26 |
| 0.88 | 0.45 | 0.0300 | 0.62 | 0.1590 | 0.0503 | 0.1443 | 0.28 |
| 2.69 | 0.62 | 0.0360 | 0.65 | 0.1362 | 0.0510 | 0.1349 | 0.36 |
| 2.60 | 0.61 | 0.0260 | 0.67 | 0.1033 | 0.0491 | 0.1109 | 0.39 |
| 0.62 | 0.31 | 0.0050 | 0.72 | 0.0601 | 0.0441 | 0.0596 | 0.27 |
| 10.30 | 0.66 | 0.0128 | 0.77 | 0.1165 | 0.0552 | 0.1163 | 0.28 |
| 2.07 | 0.45 | 0.0130 | 0.77 | 0.1129 | 0.0495 | 0.1099 | 0.26 |
| 2.38 | 0.56 | 0.0156 | 0.80 | 0.0739 | 0.0457 | 0.0797 | 0.41 |
| 2.66 | 0.82 | 0.0160 | 0.81 | 0.0723 | 0.0497 | 0.0804 | 0.45 |
| 1.10 | 0.34 | 0.0059 | 0.83 | 0.0647 | 0.0437 | 0.0639 | 0.28 |
| 4.35 | 0.57 | 0.0136 | 0.83 | 0.1134 | 0.0517 | 0.1114 | 0.28 |
| 6.06 | 0.92 | 0.0170 | 0.83 | 0.0841 | 0.0525 | 0.0919 | 0.43 |
| 5.61 | 0.70 | 0.0122 | 0.85 | 0.0883 | 0.0517 | 0.0916 | 0.35 |
| 1.55 | 0.56 | 0.0098 | 0.85 | 0.0724 | 0.0476 | 0.0748 | 0.35 |
| 3.25 | 0.97 | 0.0340 | 0.86 | 0.0969 | 0.0503 | 0.1064 | 0.51 |
| 0.49 | 0.71 | 0.0111 | 0.97 | 0.0339 | 0.0403 | 0.0280 | 0.69 |
| 2.43 | 0.42 | 0.0060 | 1.00 | 0.0787 | 0.0467 | 0.0760 | 0.25 |
| 0.37 | 0.36 | 0.0160 | 1.00 | 0.0994 | 0.0424 | 0.0944 | 0.30 |



FORMULA DE STRICKLER MODIFICADA ($R/D84\%$) < 1 (DATOS USA Y UK)

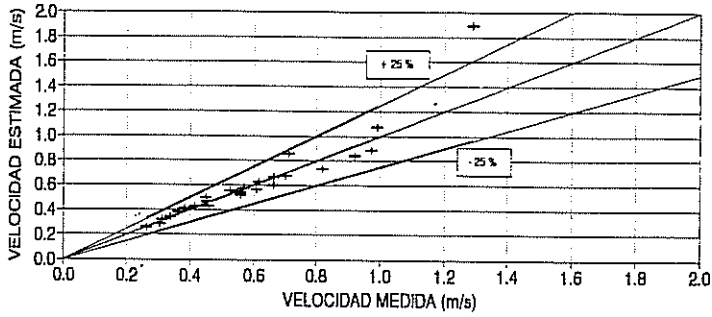


FIGURA No 3

FORMULA DE STRICKLER MODIFICADA BASE DE DATOS CHILE : ($R/D84\%$) > 1

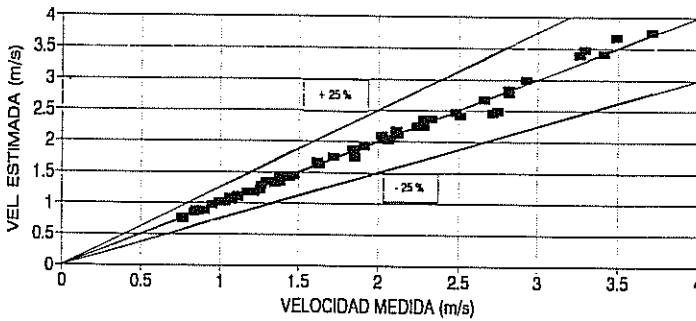
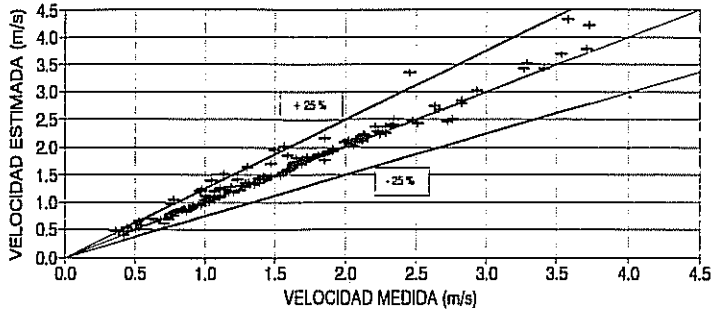


FIGURA No 4

FORMULA DE STRICKLER MODIFICADA ($R/D_{84\%} > 1$) (DATOS CHILE-USA-UK)



+ D caract. D84%

FIGURA No 5