

# "SOBRE LA DISTRIBUCION VERTICAL DE LAS VELOCIDADES MEDIAS PUNTUALES EN CANALES ABIERTOS"

Dr. Ing. Javier Paz Martínez  
Investigador-Profesor IIEA  
Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados  
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas  
Universidad de Guayaquil.

## RESUMEN:

**E**n el presente trabajo se expone una breve revisión de diferentes investigaciones y propuestas, para determinar la distribución vertical de las velocidades medias puntuales en canales abiertos y el coeficiente de Karman, parámetro de la fórmula tipo logarítmica de mayor difusión, concluyendo que las propuestas son esquemáticas y no reflejan lo observado en la naturaleza y además fueron realizadas para flujos bidimensionales excluyendo factores importantes como la forma del cause, propiedades e índice de turbulencia por lo que el problema continúa abierto y amerita dedicación investigativa.

Entre los factores principales, que influyen en la distribución vertical de las velocidades medias puntuales tenemos: rugosidad

Entre los factores principales, que influyen en la distribución vertical de las velocidades medias puntuales tenemos: rugosidad del flujo, tirante, pendiente de la superficie de agua, intensidad de la turbulencia, forma del cauce, etc. La interrelación entre la turbulencia del flujo y el cauce, provoca una distribución específica de velocidades, que por ahora no es posible describirlas en forma teóricamente exacta.

En la actualidad existen algunas teorías empíricas de turbulencia en canales abiertos, sobre las que se fundamentan varias propuestas de fórmulas que permiten el cálculo del diagrama de las velocidades medias puntuales de un flujo, es decir su distribución vertical.

Sin embargo las soluciones existentes se refieren principalmente al caso más simple de la distribución vertical de las velocidades en flujos bidimensionales. Estas fórmulas se han determinado en base a teorías de turbulencia semiempíricas, o en base de datos hidrométricas tomados en prototipos.

Por primera vez, basado en teorías semiempíricas de turbulencia, el problema de la determinación de la velocidad media puntual y su distribución vertical  $\bar{U} = U(y)$  fue resuelto por Prandtl en el año 1925 usando el criterio de los desplazamientos  $1/\kappa$  para la solución de la ecuación de Reynolds de la velocidad media del flujo turbulento. Como resultado se obtuvo una dependencia logarítmica de la distribución de las velocidades medias puntuales para aflujos turbulentos paralelos bidimensionales:

$$\bar{U}_y = \frac{U^*}{\kappa} \ln \eta + C, \text{ ó} \quad (1)$$

$$U_y = U_m - \frac{U^*}{\kappa} \ln \eta \quad (2)$$

En años posteriores la fórmula (1) fue confirmada por datos experimentales lo que permitió una gran difusión en la práctica.

En la fórmula (1):

$U_*$  - velocidad dinámica

$$U^* = \sqrt{g h Y}$$

$\kappa$  - constante de Karman

$\eta$  - tirante relativo

$$\eta = \frac{Y}{h}$$

$h$  - tirante del flujo

$Y$  - distancia del fondo al punto de determinación de la velocidad.

En el año 1944. Landau y Lifshiz /2/ obtuvieron también una Ley logarítmica de distribución de velocidades medias en base del análisis dimensional. Sin optar las suposiciones referentes al mecanismo de los desplazamientos turbulentos y considerando al flujo turbulento bidimensional y paralelo, en el cual el gradiente de velocidad  $\frac{du}{dy}$  no depende del coeficiente de viscosidad cinemática  $\nu$ , obtuvieron para el diagrama de velocidades a la expresión logarítmica (1).

La velocidad dinámica  $U^*$  se la determina suponiendo un flujo uniforme bidimensional, en el cual el radio hidráulico  $R$  puede ser sustituido por el tirante medio del flujo  $h$ .

Para un cauce infinitamente ancho Bazén /3/ propuso la siguiente fórmula de cálculo de la distribución de velocidades que obedece a la Ley parabólica de distribución:

$$U = U_m - m \sqrt{hS} (1 - \eta)^2 \quad (3)$$

donde:

U - velocidad puntual

$U_m$  - velocidad máxima en la superficie del flujo

$m$  - parámetro con dimensiones de la gravedad  
y Bazén  $m = (22 \div 24)$  (según Bussinesk

h - tirante del flujo

S - pendiente de la superficie del flujo

$\eta$  - tirante relativo

De acuerdo a las investigaciones de Karashev A.V. /3/ se deduce que m en la ecuación parabólica de Bazén (3) no es una constante y propone determinarla por la fórmula:

$$m = 0,35 C + 3 \quad (4)$$

Como resultado del procesamiento de datos obtenidos por medición en prototipos V.F. Talmaza /4/ propuso la siguiente fórmula empírica:

$$\text{donde } m = \frac{3C \sqrt{g}}{1,5\sqrt{g} + 0,314 C}$$

C - coeficiente de Chezy

Kristen /1/ propuso la fórmula

y Prandtl en base de investigaciones teóricas propuso cambiar el exponente 1/8 por 1/7. Después Nikuradze determinó una dependencia entre el denominador en el exponente y el número de Reynolds Re. De esta manera la distribución conocida como "la ley del

un séptimo" obtuvo una forma más general:  $U = U_m \eta^{1/8}$  (5)

$$U = U_m \eta^{1/k}$$

donde K - coeficiente cuyo valor es mayor

$R_e$  a medida que aumenta

Posteriormente se hicieron algunas propuestas de fórmulas de tipo exponencial para determinar la distribución de velocidades medias puntuales. Entre las fórmulas de este tipo la más conocida es la de Levi I.I. /5/

$$U = a \cdot \sqrt{\frac{g h Y}{\lambda}} \left[ \left( \frac{h}{\delta} - 1 \right)^k - 1 \left( \frac{Y}{\delta} \right)^k \right] \quad (6)$$

en donde: a - coeficiente empírico

h - tirante

Y - pendiente

$\lambda$  - coeficiente de resistencia

$\delta$  - altura de las protuberancias de la rugosidad

$\frac{h}{\delta}$  - rugosidad relativa

$$k = \frac{1}{6} \dots \dots \dots \frac{1}{8}$$

Según G.V. Zheleznikov /6/ con valores k=7

mejor se circunscribe

La distribución de velocidades medias en flujos de canales abiertos.

V.C. Altynin /7/ propuso la fórmula: (7)

$$U = U_m \eta^k$$

donde  $k = \delta / (h - \delta)$ ;  $\delta$  - espesor de la capa turbulenta del pre fondo.

En base de datos de mediciones experimentales fue propuesta también una fórmula para la distribución vertical de las velocidades medias, de tipo elíptica

$$U = U_m \sqrt{1 - P \eta^2}$$

donde: P - parámetro dependiente del gradiente de velocidad y coeficiente de Chezy C.

Es de anotar que los Investigadores han concedido un gran interés en la determinación del coeficiente de Karman de la fórmula de tipo logarítmica (1). Muchos autores afirman que el coeficiente  $\kappa$  de Karman depende del coeficiente de Chezy C. Para la determinación de esta dependencia los autores de algunas fórmulas han utilizado resultados de mediciones realizadas, en canales, canalones, modelos fluviales y ríos. De acuerdo a estos datos se determinó que  $\kappa$  no es un parámetro constante, sino que varía de acuerdo a leyes definidas en dependencias del coeficiente de Chezy C, el mismo que en una primera aproximación puede caracterizar la turbulencia del flujo. En la siguiente tabla se presentan algunas fórmulas para la determinación del coeficiente de karman y sus autores.

AUTOR

FORMULA

Talmaza V.F.

$$\kappa = \frac{\sqrt{g}}{C} + 0,134$$

Talmaza V.F.

$$\kappa = \frac{3 \sqrt{g}}{0,35 C + 3}$$

Mujamedoy A.M.

$$\kappa = 8,3 \frac{\sqrt{g}}{C}$$

Zheleznikoy G.V.

$$\kappa = \frac{2 \sqrt{g}}{g + \frac{C}{C_b}} + 0,3$$

Vinogradoba V.I.

$$\kappa = 0,09 \text{ An. } \frac{4,4}{K_b}$$

Skorodymoy D.E.

$$\kappa = 1,34 \left(\frac{g}{C}\right)^{1/6}$$

Es de anotar que las investigaciones de la distribución de la velocidad en canales abiertos realizadas por N.N. Panov /8/, donde se utilizaron datos obtenidos por Bazén, mostraron que a diferencia del criterio difundido de Prandtl que  $\kappa$  representa una constante universal del flujo en una sección dada, en realidad  $\kappa$  varía a lo ancho del cauce de rugosidad uniforme dependiendo de la relación entre Z - distancia desde la pared del canalón experimental hasta la vertical estudiada y el tirante del flujo en esta vertical. La expresión obtenida es la siguiente:

$$u = u_0 \frac{0,93 + \sqrt{\frac{z}{h}}}{0,23\alpha + \sqrt{\frac{z}{h}}}$$

en donde:  $u_0 = 0,257$  para  $C < 75$

$$u_0 = 0,25 + \left(\frac{C}{155} - 0,48\right)^2 \text{ para } C > 75$$

$C$  - coeficiente de Chezy

$\alpha = 10$  para secciones de rugosidad uniforme

Esta fórmula considera también valores  $\alpha > 10$  para rugosidad no uniforme del perímetro del cauce /9/

## CONCLUSIONES

De lo anotado, podemos indicar que los Investigadores tratan de expresar el diagrama de distribución de velocidades medias puntuales en forma de curvas matemáticas: parabólicas, elípticas, logarítmicas, exponenciales. Naturalmente, esta esquematización no refleja exactamente lo observado en la naturaleza con una diversidad de condiciones que determinan la distribución vertical de las velocidades medias en canales abiertos. Sin embargo en la práctica se considera que la mayor y mejor coincidencia, con datos reales, se da con la Ley Logarítmica de distribución vertical de velocidades. Es de anotar que esta comparación se cumple para flujos considerados bidimensionales.



Los Investigadores excluyeron de sus estudios la influencia de la forma del cauce, de las propiedades de la turbulencia y del índice de turbulencia del flujo. Si para cauces fluviales muy anchos esta influencia no es significativa, para los canales de riego sin revestimiento, en su mayoría de forma trapezoidal es muy importante determinar, como se distribuye la velocidad en los taludes del canal, los más expensos a deformarse, siendo esta causa importante para continuar las investigaciones en esta dirección.

Con respecto a la variación del coeficiente Karman  $K_c$  a lo ancho del cauce, este fenómeno se podría explicar por: turbulencia del flujo y la influencia de las corrientes secundarias.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- IBAD-ZADE. Canales abiertos. Moscú, Striizdat, 1975, 192 páginas (en ruso).
- 2.- GRINVALD D.Y. Turbulencia de flujos en canales abiertos Leningrado, Gidrometeoizdat, 1974, 168 páginas (en ruso).
- 3.- KARASHEV A.V. Hidráulica fluvial, Leningrado, Gidrometeoizdat, 1969 (en ruso).
- 4.- TALMAZA V.F., KROSHKIN A.N. Características hidromorfológicas de ríos montañosos. Frunze, 1968, 203 páginas (en ruso).

5.- LEVI Y.Y. Dinámica Fluvial, Moscú, Gosnergoizdar, 1957, 253 páginas (en ruso).

6.- ZHELEZNIKOV G.V. Fundamentos Hidráulicos de los métodos de la hidrometría fluvial, Moscú, Editorial de la Academia de Ciencias de la URSS, 1954 (en ruso).

7.- ALTUNIN V.C. Deformación de Cauces en canales. Moscú, Kolos, 1972 (en ruso).

8.- PANOV N.N. Distribución de velocidades y Resistencia Hidráulica en canales abiertos. Trabajos del Tercer Congreso Nacional de Hidrología, Tomo V, Leningrado, 1960, página 29-27 (en ruso).

9.- GIRGIDOV A.D. Corrientes turbulentas de los líquidos Leningrado, Editorial LPI, 1982, 80 páginas (en ruso)