

Experimental Evaluation of the Coriolis Coefficient in Open Channels with High Roughness

Evaluación Experimental del Coeficiente de Coriolis en Canales Abiertos con Elevada Rugosidad

Pietro Corapi, M.Sc.¹, Ximena Carolina Acaro Chacón, M.S.c. ¹, Juan Carlos Mendoza Alfonzo¹, Pedro Enrique Vera Rosales¹

¹Universidad de Guayaquil, Ecuador, pietro.corapi@ug.edu.ec, ximena.acaroc@ug.edu.ec, juan.mendozaa@ug.edu.ec, pedro.veraro@ug.edu.ec

Resumen— *Investigaciones realizadas en canales abiertos han demostrado que la distribución de velocidad en la sección transversal y longitudinal no es homogénea. El objetivo de esta investigación es determinar con datos obtenidos en laboratorio, el perfil de velocidad y evaluar el coeficiente de Coriolis, parámetro que afecta la carga de velocidad y por ende la energía total del flujo. Los factores considerados son: rugosidad, pendiente del canal, caudal, distribución de velocidad, tipo de flujo, geometría, tipo de material del fondo del canal y tirante. La evaluación y determinación experimental del coeficiente de Coriolis obtenido a partir del perfil de velocidad promediado en tiempo y espacio, indica que en las condiciones característica de los experimentos desarrollados el coeficiente de Coriolis es igual a 1,0919. Este resultado denota que la carga de velocidad es del 9% mayor, respecto al caso de uso del coeficiente de Coriolis igual a 1, condición usual en el diseño hidráulico de canales abiertos.*

Palabras clave— *Coeficiente de Coriolis, Rugosidad, canales abiertos, perfil de velocidad, ADV.*

Abstract— *Previous investigations of open channels shown that the velocity distribution in the cross section and longitudinal section is not homogeneous. The objective of this research is find with laboratory data, the velocity profile and evaluate the Coriolis coefficient, a parameter that affects the velocity load and therefore the total flow energy. The factors considered are: roughness, channel slope, flow rate, velocity distribution, type of flow, geometry, type of material at the bottom of the channel, and the water depth. The evaluation and experimental determination of the Coriolis coefficient obtained from the velocity profile averaged in time and space, indicates that the characteristic conditions of the developed experiments the Coriolis coefficient is equal to 1,0919. This result denotes that the velocity load is 9% higher, with respect to the case of using the Coriolis coefficient equal to 1, the usual condition in the hydraulic design of open channels.*

Key words: *Coriolis coefficient, roughness, open channels, velocity profile, ADV.*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.123>
ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

Dada la trascendencia de los canales abiertos y su utilidad, es necesario un diseño y análisis detallado que implica ciertos factores que han sido estudiados en el tiempo, por ejemplo, la rugosidad, condición de flujo y pendiente. La rugosidad es una de las variables que afecta el flujo dando como resultado una desigualdad en las distribuciones de velocidad. En un canal abierto, debido al área libre del fluido y la presencia de las paredes laterales y del fondo establece la formación de gradientes de la velocidad transversal y vertical en el plano de la sección. Por ende, la magnitud de la velocidad varía de punto en punto en toda la sección. También esta distribución no uniforme de velocidad en un canal dependerá de factores como: la pendiente del canal, la rugosidad de las paredes laterales y del fondo, la irregularidad de la sección transversal y las modificaciones de alineamiento [1- 2].

Por lo general, en un canal abierto la velocidad varía de un punto a otro en toda la sección transversal, debido a la influencia de la rugosidad sobre el flujo en paredes laterales y fondo del canal. La información sobre estudios de perfiles de velocidad, en donde se considera una rugosidad elevada de fondo, para proyectos de obras hidráulicas, ocasiona que no se determine la efectiva energía cinética y su relativa pérdida de energía.

Unas de las ecuaciones más utilizadas en hidráulica, es el principio de la energía donde se ve implicado el coeficiente de Coriolis [1]. Al utilizar esta ecuación, se considera un promedio de todo el campo de velocidades que se origina en la sección del canal. Por lo tanto, esta consideración produce un porcentaje de error en el análisis hidráulico. Por ello, se debe incluir un coeficiente de corrección como es en este caso el coeficiente de Coriolis, que depende del tipo de distribución de velocidades que pueda existir en una determinada sección. Estudios empíricos indican que, el coeficiente de Coriolis varía entre 1,03 - 1,36, pero normalmente se adopta el valor de 1,00. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de determinar en condiciones de elevada rugosidad cual es el valor real [3].

La ecuación de energía expresada de forma general utiliza el promedio de la distribución uniforme de velocidades. Esto produce errores en la evaluación de la energía cinética. Por tal razón, se debe usar un coeficiente de corrección en la aplicación de este método, que se conoce como coeficiente de Coriolis [1]. El coeficiente de Coriolis es una de las variables a calcular en la aplicación de diseño y construcción de canales. Según las aplicaciones de la teoría hidráulica a canales abiertos, esto producirá que se obtengan resultados muy cercanos a la realidad. Por ejemplo, en este caso el análisis del resultado de distribución no uniforme de velocidades de un canal puede realizar una correcta evaluación de los valores obtenidos para el factor de Coriolis que depende de la forma como se distribuye la velocidad en la sección del canal.

La investigación tiene como finalidad determinar con datos obtenidos en laboratorio, el perfil de velocidad para a su vez evaluar el coeficiente de Coriolis. Para el diseño de canales abiertos se consideran varios factores, como: rugosidad, pendiente del canal, caudal, velocidades, tipo de flujo, geometría, tipo de material del cuerpo del canal, tirante, etc. Por lo tanto, se realizará la evaluación y determinación experimental del coeficiente de Coriolis con datos de laboratorio donde se obtendrá un valor promedio en tiempo y espacio de los perfiles de velocidad y de acuerdo con los resultados establecer el valor del coeficiente de Coriolis. Para una mejor estimación de la energía cinética y pérdidas de energía de flujo, así como optimizar el diseño de canales abiertos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología a emplearse en el desarrollo de esta investigación es de tipo experimental-cuantitativa (Figura 1), para lo cual se llevará a cabo el análisis de datos obtenidos en laboratorio en estudios previos, conformados por la magnitud de la velocidad en las direcciones x , y , z , mediante la utilización del software de cálculo matricial MATLAB en el cual se desarrollarán los códigos útiles para determinar perfiles de velocidad y el coeficiente de Coriolis para la relativa comparación con resultados presentes en literatura. De acuerdo con la fundamentación teórica se aplicarán métodos como:

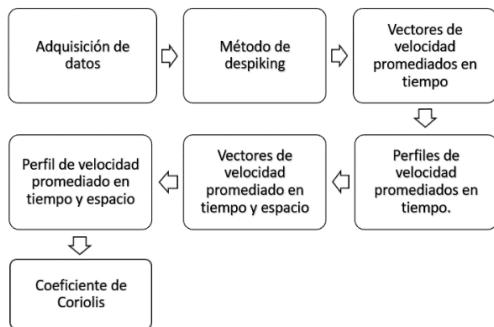


Fig. 1 Sección transversal del canal

- Método de despiking, necesario para el procedimiento de limpieza de señales en los datos de velocidad [4].
- Método de la media doble (DAM), basado en promediar inicialmente en tiempo y después en espacio las componentes de velocidades analizadas [5].
- Cálculo del Coeficiente de Coriolis (α) presente en la expresión de energía cinética y determinado mediante la ecuación [6].

A. Coeficiente de Coriolis

Se tiene conocimiento que la distribución de la velocidad es no uniforme ya que varía de un punto a otro en una sección de canal. Por lo tanto, la altura de la velocidad del flujo en canales abiertos de manera general es mayor que el valor calculado con respecto a la expresión $\frac{V^2}{2g}$, siendo V la velocidad media. En los cálculos del principio de energía se suele utilizar la altura de la velocidad real expresado como $\frac{\alpha V^2}{2g}$, donde α es conocido como coeficiente de energía o coeficiente de Coriolis, en honor a G. Coriolis quien lo propuso por primera vez en 1836 [7].

Sea ΔA un área elemental en el área mojada completa A , y w el peso unitario del agua; entonces el peso de agua que pasa a través de ΔA por unidad de tiempo con una velocidad v es $wv\Delta A$. La energía cinética del agua que pasa a través de ΔA por unidad de tiempo es $\frac{wv^3\Delta A}{2g}$. Esto es equivalente al producto del peso $wv\Delta A$ y la altura de velocidad $\frac{v^2}{2g}$. La energía cinética total para el área mojada completa es igual a $\frac{\sum wv^3\Delta A}{2g}$. Ahora, al tomar el área completa A , la velocidad media como V , y la altura de velocidad corregida para el área completa como $\frac{\alpha V^2}{2g}$ la energía cinética total es $\frac{\alpha wV^3 A}{2g}$. Al igualar esa cantidad con $\frac{\sum wv^3\Delta A}{2g}$ y reduciendo [7]:

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{V^3 A} \approx \frac{\sum v^3 \Delta A}{V^3 A} \quad (1)$$

Donde:

v = componente vertical de la velocidad;
 dA =diferencial de área correspondiente a la velocidad;
 V =velocidad media;
 A =área completa.

El valor del coeficiente de Coriolis varía entre 1,03 – 1,36 según estudios experimentales. El valor es mayor en canales

pequeños. Los valores aproximados para el coeficiente de Coriolis, propuesto por [8] se presentan en la Tabla I.

TABLA I

VALORES DE COEFICIENTE DE CORIOLIS PARA DIVERSOS CANALES

Canales	Appearance Valores de α		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Canales regulares, canaletas y vertederos	1,10	1,15	1,20
Corrientes naturales y torrentes	1,15	1,30	1,50
Ríos bajo cubiertas de hielo	1,2	1,50	2,00
Valles de ríos, inundados	1,50	1,75	2,00

B. Correlación del Coeficiente de Coriolis con el Coeficiente de Rugosidad.

Se tiene la siguiente correlación basado en 371 mediciones de descarga realizadas en secciones transversales de canal natural con forma trapezoidal y canal artificial considerados sin flujo de sobrecarga. Se tiene la siguiente ecuación de regresión [3]:

$$\alpha = 14,8n + 0,884 \quad (2)$$

Donde:

n= coeficiente de rugosidad.

Concerniente a la correlación está bien definida entre los valores n de 0,012 ($\alpha=1,06$) y 0,070 ($\alpha = 1,92$). Se ha considerado que el valor máximo de α es de 2,00. En la Tabla II se tienen los coeficientes de Coriolis según los diferentes valores que puede tomar el coeficiente de rugosidad n [3].

TABLA II

COEFICIENTE DE CORIOLIS SEGÚN VALORES DE N

n	α	n	α	n	α
0,012	1,06	0,032	1,36	0,052	1,65
0,013	1,08	0,033	1,37	0,053	1,67
0,014	1,09	0,034	1,39	0,054	1,68
0,015	1,11	0,035	1,40	0,055	1,70
0,016	1,12	0,036	1,42	0,056	1,71
0,017	1,14	0,037	1,43	0,057	1,73
0,018	1,15	0,038	1,45	0,058	1,74
0,019	1,17	0,039	1,46	0,059	1,76
0,020	1,18	0,040	1,48	0,060	1,77
0,021	1,19	0,041	1,49	0,061	1,79
0,022	1,21	0,042	1,51	0,062	1,80
0,023	1,22	0,043	1,52	0,063	1,82
0,024	1,24	0,044	1,54	0,064	1,83
0,025	1,25	0,045	1,55	0,065	1,85
0,026	1,27	0,046	1,56	0,066	1,86
0,027	1,28	0,047	1,58	0,067	1,88
0,028	1,30	0,048	1,59	0,068	1,89
0,029	1,31	0,049	1,61	0,069	1,91

0,030	1,33	0,050	1,62	0,070	1,92
0,031	1,34	0,051	1,64	0,075	2,00

C. Detalles del Canal

Se realizó la investigación experimental en el laboratorio “Grandes Modelos Hidráulicos” (GMI) del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de la Calabria, se utilizó un canal rectangular (sección de 1,00 x 0,70 m) con un fondo de elevada rugosidad, conformado por partículas con diámetros que varían entre 60 mm y 100 mm. Los ensayos se realizaron con caudal constante (Q) y el experimento consistió en medir 15 perfiles de velocidad, donde cada perfil consta de un promedio de 32 puntos en la dirección vertical. Por cada punto se requirió 5 minutos (tiempo de adquisición) para obtener los datos de velocidad, con una frecuencia de adquisición de 100 Hz, es decir 1 valor de velocidad en las tres direcciones cada 0,01 s.

El canal en estudio tiene una longitud es de 16,00 m y la pendiente del 2,5%. Aguas arriba, posee una bomba sumergible que reingresa el agua drenada al canal, se recolecta en un estanque aguas abajo y desemboca en el canal de alimentación que circula hacia el estanque donde se encuentra sumergida la bomba creando un circuito cerrado. En la parte final del canal se encuentra un vertedero para el control del tirante. Un conjunto de ladrillos perforados se sitúa aguas abajo de la bomba y aguas arriba del canal. Se representa en la Figura 2. Esto se necesita para reducir las turbulencias generada por la bomba y disminuir los efectos de las corrientes secundarias en las mediciones.

La sección del canal del canal tiene un aspecto rectangular con ancho B=1,00 m, la altura H=0,70 m. La rugosidad k_s fue extrapolada desde los sedimentos y resulta ser 79,94 mm con desviación estándar geométrica de los agregados (σ_g) igual a 17,63 mm.

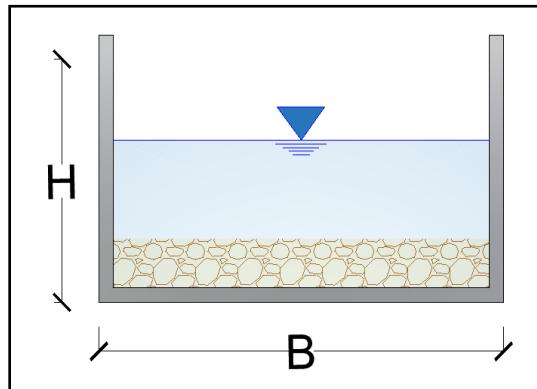


Fig. 2 Sección transversal del canal

Aguas abajo del tanque de recolección, en el canal de alimentación, se tiene un vertedero tipo Bazin, de pared delgada con el que se calcula el caudal mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q = \mu * b * \sqrt{2 * g} * h^{3/2} \quad (3)$$

Con coeficiente de flujo:

$$\mu = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \left(1 + 0,55 * \frac{h^2}{H^2} \right) \quad (4)$$

Donde:

Q = caudal del umbral;

b = ancho del umbral;

p = altura del umbral;

H = altura total del fluido aguas arriba del umbral;

h = altura del flujo por encima el umbral.

Por lo tanto, se tiene un caudal (Q) de: 52,1 [l/s].

Por consiguiente, con el valor del caudal Q se puede obtener el resultado de la velocidad media del flujo, $V = \frac{Q}{A} = 0,236 \frac{m}{s}$, desde el cual se puede deducir el número de Reynolds como: $R_e = \frac{4VR}{v} = 1,28 \cdot 10^5$, en que R representa el radio hidráulico. Con números de Reynolds mayores a 4000, se puede definir que el régimen de flujo es de tipo turbulento.

D. Acoustic Doppler Velocimeter

La herramienta de medición empleada consta de un emisor acústico, cuatro receptores acústicos y un módulo de procesamiento de señales. El emisor acústico produce una señal acústica que se oye por la dispersión del sonido de las partículas existentes en el agua y se desplazan a la misma velocidad de la corriente del flujo de agua. Se utilizó el equipo para medir el campo de velocidad con altas frecuencias, en las tres direcciones x , y , z .

La señal acústica reflejada es detectada por los receptores acústicos y usada para calcular el recorrido de fase Doppler del que se origina el campo de velocidad. La Figura 3 muestra las dimensiones del volumen de control h y b que son la altura y el ancho correspondientemente. En el interior del volumen de control se tienen la presencia de partículas en suspensión que originan la relación señal-ruido (SNR), definido como una medida de nivel de la señal con referencia al nivel de ruido de fondo.

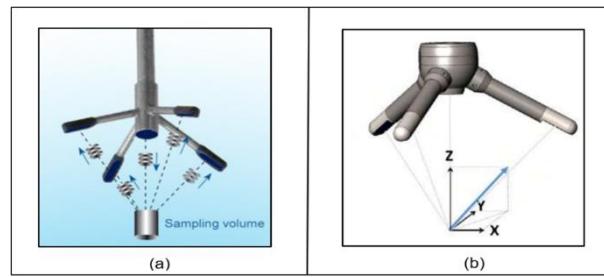


Fig. 3 ADV: a) Principio de funcionamiento, b) Componentes ortogonales de la velocidad del agua, flecha azul indica una velocidad positiva. [9].

El ADV está equipado con un software para la gestión de adquisición, configuración y ejecución de la recopilación de datos en tiempo real, llamado Vectrino Plus, desarrollado por Nortek AS [10].

El programa tiene una función llamada “Probe Check” que “permite inspeccionar la región donde el Vectrino realiza sus mediciones mostrando como varía la señal con el rango” [10]. Es utilizado para optimizar el almacenamiento de los datos, para diagnosticar y corregir problemas. Adicionalmente, muestra las características de la sonda con el tiempo de la prueba, la distancia al fondo en donde se está haciendo las mediciones y las tablas con valores de las variables medidas por el equipo [11].

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se puede observar en la Figura 3, que las señales tienen valores dispersos o picos que pueden afectar al valor de la desviación estándar y de la media. Un pico, se puede producir “cuando la velocidad del flujo excede el rango de velocidad preestablecido o cuando hay contaminación de pulsos anteriores reflectados desde los límites de geometría complejas” [4].

En ocasiones es un probable error en las mediciones del instrumento y que se asemejan con las fluctuaciones naturales de la velocidad. Por ende, se debe aplicar un método denominado despiking, procedimiento de limpieza de señales.

Se divide en dos etapas:

- Localizar el pico fuera de rango;
- Sustitución de picos.

Goring & Nikora [4] presentaron varios métodos. Por lo tanto, se seleccionó uno de los métodos de despiking, que se detalla a continuación:

En el primer control, se debe realizar una revisión de la correlación de los datos y de la desviación estándar (σ). Se muestran los límites:

$$\text{corr } u < 70 \quad u' > 4\sigma_u \quad (5)$$

Para mediciones ADV es aceptable el 70% de correlación, mientras que la desviación de 4σ elimina los puntos que quedan fuera del fractil de un 99,994%, según la hipótesis de que la señal se distribuye según la ley normal del caso" [2].

Para el segundo control, se realiza la verificación fundamentada en el análisis de las componentes de la aceleración (a_u), dividido en dos etapas: para aceleraciones positivas y aceleraciones negativas. Se realizan diferentes interacciones de análisis de datos hasta que se ajusten al criterio de aceleración ($\lambda_a g$) y umbral de magnitud ($k\sigma$) [4].

$$\begin{array}{lll} a_i < -\lambda_a g & y & u_i < -k\sigma \\ a_i > \lambda_a g & y & u_i > k\sigma \end{array} \quad (6)$$

Donde:

$g = 9,806 \frac{m}{s^2}$ → aceleración gravitacional;
 $a_i = \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta t}$ → aceleración de las partículas en el i enésimo punto;
 σ = desviación estándar;
Los valores de los parámetros son: $\lambda_a = 1,5$ y $k = 1,5$.

Los valores de velocidad instantánea evaluados que no se localicen dentro de los límites establecidos para cada condición, serán reemplazados por el valor medio de velocidad u_{med} referente a la medición, esto se logra aplicando el método despiking [5]. Por lo tanto, se consiguió eliminar los picos, como se observa en la Figura 4 y 5, donde se puede comparar la señal de la velocidad original con respecto a la señal de velocidad procesada.

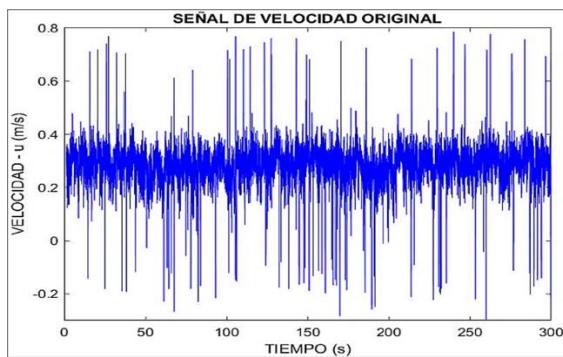


Fig. 4 Señal de velocidad original.

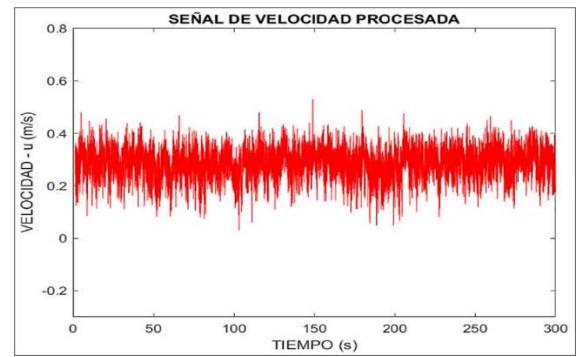


Fig. 5 Señal de velocidad procesada

E. Perfil de velocidad

La medición de 15 perfiles de velocidad, en un promedio de 32 puntos en la dirección vertical, mientras que en la dirección del flujo se identificaron las zonas de cada medición, como se aprecia en la Figura 6 y 7.

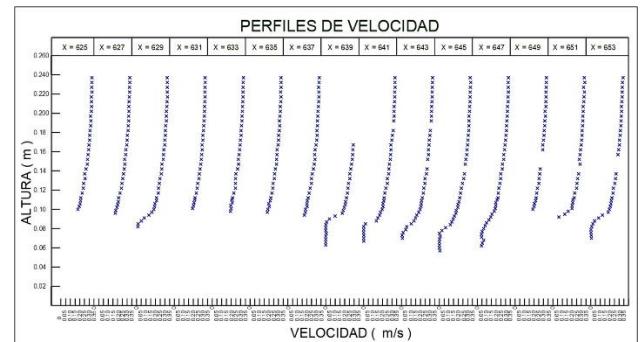


Fig. 6 Perfiles de velocidad

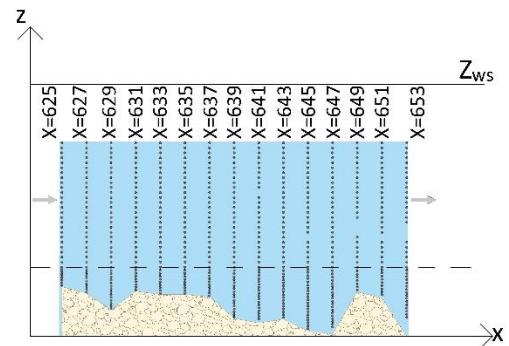


Fig. 7 Malla de medición

Una vez realizado el proceso de limpieza y análisis de señal, se procede a la descomposición en el tiempo. Con la señal de velocidad procesada y tratada por cada punto en la dirección vertical, se efectúa un promedio temporal referido a un único perfil de Z definido, obteniéndose valores independientes del tiempo. El promedio espacial de los valores de perfiles

individuales que están referidos a cada punto de elevación establecida. Por lo tanto, de 30 000 valores que se analizaron en cada punto de medición en Z y las cuales eran dependientes del tiempo y del espacio, con el presente procedimiento se consiguió obtener un único perfil de velocidad promediado en tiempo y espacio, que se muestra en la Figura 8.

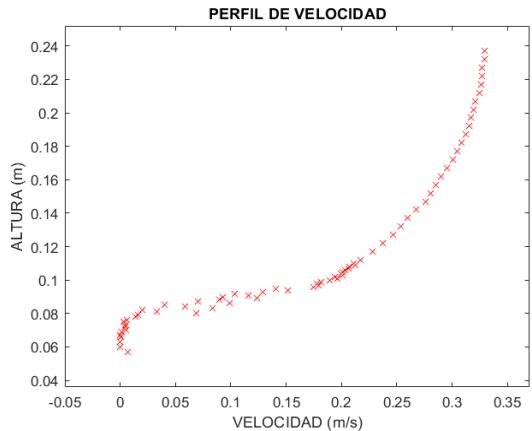


Fig. 8 Perfil de Velocidad promediado en tiempo y espacio

D. Coeficiente de Corolis

Definido el único perfil de velocidad (ver Figura 8) se procede a determinar el valor del coeficiente de Coriolis, ecuación (1). Donde: Base de canal $B = 1,00 \text{ m}$, tirante $H = 0,237 \text{ m}$.

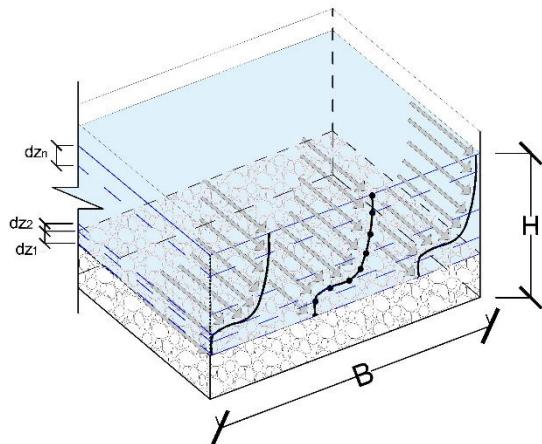


Fig. 9 Perfil de Velocidad promediado en tiempo y espacio

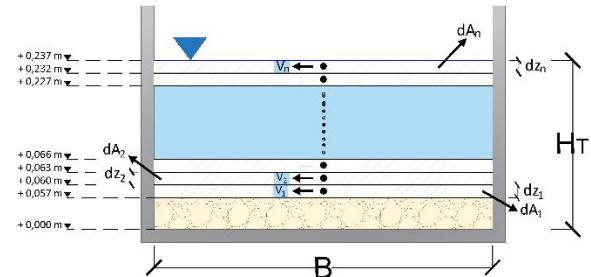


Fig. 10 Sección transversal del canal – división en franjas infinitesimales

La Figura 10 se evalúa la sumatoria cota por cota. Dividiendo cada z y calculando las alturas entre cada fracción del rectángulo infinitésimo de la base, denominado como dz . En la Figura 9, se puede observar que en cada z se tiene una velocidad distinta, por lo tanto, es necesario determinar el promedio de velocidad en una determinada altura dando un único valor en la franja rectangular infinitesimal que se está analizando. Luego, se calcula el área dA que es un área infinitesimal, ancho del canal B por el dz . Resumiendo, en una determinada altura se calcula la velocidad promedio, este valor se eleva al cubo y multiplicado por su dA de manera individual. El proceso se realiza hasta llegar a la altura total del agua. Finalmente, se ejecuta la sumatoria total por cada fracción infinitesimal establecida. Con una velocidad del canal de $V = 0,236 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, un área de la sección transversal $A = 0,1659 \text{ m}^2$, caudal $Q = 52,1 \frac{\text{l}}{\text{s}}$, pendiente de $2,5\%$ y rugosidad relativa de $79,94 \text{ mm}$. Para el valor del coeficiente no se consideró la rugosidad en las paredes laterales debido a que son de vidrio y la estimación es casi nula, por lo tanto, el valor del coeficiente de Corolis es $\alpha = 1,0919$.

El valor del coeficiente de Coriolis obtenido, en la presente investigación, puede ser comparado con estudios previos: en [3], se analizó el comportamiento del coeficiente de Coriolis en canales rectangulares obteniendo $\alpha = 1,10 - 1,20$; en [4] se propone una solución gráfica mediante uso del planímetro resultando $\alpha = 1,04 - 1,16$; además en [5] la medición del coeficiente también se desarrolló en un canal rectangular en condiciones de flujo supercrítico recabando un valor de $\alpha = 1,003 - 1,5225$. Por lo tanto, se puede indicar que el valor obtenido es acorde con los rangos obtenidos en investigaciones previas.

IV. CONCLUSIONES

Con el perfil de velocidad promediado en tiempo y espacio se determinó el coeficiente de Coriolis para las siguientes condiciones: canal rectangular con sección de $1,00 \times 0,70 \text{ m}^2$, caudal de $Q = 52,1 \frac{\text{l}}{\text{s}}$, pendiente de $2,5\%$ y rugosidad relativa de $79,94 \text{ mm}$, dando como resultado un coeficiente de Coriolis $\alpha = 1,0919$, sin considerar el efecto de la rugosidad de las paredes

laterales. Este resultado denota que la carga de velocidad es del 9% mayor, respecto al caso de uso del coeficiente de Coriolis igual a 1, condición usual en el diseño hidráulico de canales abiertos.

REFERENCIAS

- [1] J. P. Joule, "Iii. on the mechanical equivalent of heat," *Philosophical Transactions of the royal Society of London*, no. 140, pp. 61-82, 1850.
- [2] P. Corapi, Medicion de velocidades en canales abiertos mediante tecnología ADV, Guayaquil: Grupo Compas, 2022.
- [3] V. T. Chow, Hidraulica de Canales Abiertos, Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A., 1994.
- [4] M. P. O'Brien and J. W. Johnson, "Velocity-head correction for hydraulic flow," *Engineering News-Record*, vol. 113, no. 7, pp. 214-216, 1934.
- [5] M. Ardiçlioğlu, Artist, *Piürüzsüz açık kanal akımlarında türbülanslı hız dağılımının Laser Doppler Anemometresi ile incelenmesi*. [Art]. Çukurova Üniversitesi, 1994.
- [6] P. Rodríguez Ruiz, Hidráulica de Canales, Oaxaca, 2008.
- [7] X. TANG, "Lateral shear layer and its velocity distribution of flow in rectangular open channels," *Journal of Applied Mathematics and Physics*, vol. 7, no. 04, pp. 829-840, 2019.
- [8] J. H. Cadavid R., Hidráulica de canales: fundamentos, Medellin: Universidad EAFIT, 2006.
- [9] V. T. Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, M. E. Suárez R., Ed., Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A., 1994.
- [10] S. Kolupaila, "Methods of determination of the kinetic energy factor," *The Port Engineer*, vol. 5, no. 1, pp. 12-18, Enero 1956.
- [11] D. G. Goring and V. I. Nikora, "Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 128, no. 1, pp. 177-126, 2002.
- [12] Nortek AS, The Comprehensive Manual for Velocimeters, Nortek AS, 2021.
- [13] Nortek AS., Manual del usuario Vectrino Velocimetro, Nortek AS, 2009.
- [14] H. Hulsing, S. Winchell and E. D. Cobb, Velocity-head Coefficients in Open Channels, Washington, D.C.: U.S. Goverment Printing Office, 1966.
- [15] V. G. D. M. I. & G. G. Nikora, "Spatially averaged open-channel flow over rough bed," *Journal of Hydraulic engineering*, vol. 127, no. 2, pp. 123-133, 2001.
- [16] S. J. & N. A. McLellan, "A new method for evaluating errors in high-frequency ADV measurements," *Hydrological processes*, vol. 14, no. 2, pp. 351-366, 2000.
- [17] B. C. Yen, "Open channel flow resistance," *Journal of hydraulic engineering*, vol. 128, no. 1, pp. 20-39, 2002.
- [18] D. Li and W. H. Hager, "Correction coefficients for uniform channel flow," *Canadian Journal of Civil Enginnering*, vol. 18, no. 1, pp. 156-158, 1991.