

# Estudio experimental de coeficientes de pérdida de carga local de energía por constricción excéntrica en canal de pendiente variable H91.8D

Experimental study of coefficients of local energy load loss by eccentric constriction in variable slope channel H91.8D

Franklyn Jhon Pacco Cabrera<sup>1</sup>  
Pedro Pablo Naranjo Andonaire<sup>1</sup>  
José Luis Serrano Hernández<sup>2</sup>

Recibido: 05 de abril de 2019  
Aceptado: 11 de abril de 2019

## RESUMEN

Se realizó el análisis del comportamiento de los perfiles de flujo de agua de los canales a través de las constricciones excéntrica y céntrica, conservación de energía, energía específica, tirante crítico, número de Froude y el cálculo de los coeficientes de pérdida de carga local. Para la simulación controlada se utilizó el canal de pendiente variable H91.8D, cuyo rango de caudales se estimó entre 4.29 L/s a 20.74 L/s. Los prototipos experimentales construidos presentaron las siguientes características: ancho de la constricción céntrica de 20 cm, longitud L de 15, 30, 45 cm y ancho de la constricción excéntrica con dimensiones 15, 10, 7.5 cm y una longitud L de 15, 30, 45 cm. Los resultados experimentales indicaron que los rangos de los coeficientes de contracción ( $K_c$ ) están entre 0.3 - 0.5 y los coeficientes de expansión ( $K_e$ ) están entre 0.2 - 0.5. Además, se propusieron las siguientes ecuaciones que calculan coeficientes mediante el uso de la excentricidad:  $K_c = 0,68e^2 - 0,88e + 0,62$  (Denli) y  $K_c = 0,85e^2 - 1,05e + 0,67$  (Hinds).  $K_e = -0,32e^2 + 0,52e + 0,11$  (General) y  $K_e = -0,40e^2 + 0,24e + 0,38$ . Se concluyó que las fórmulas que mejor se adaptan para los coeficientes de contracción son Hinds y Denli y para los coeficientes de Expansión son General y Denli.

**Palabras claves:** Coeficientes de pérdida, carga local, constricción excéntrica, canal de pendiente variable

1 Ingeniero civil, Universidad Privada Antenor Orrego

2 Maestría en ciencias con mención en ingeniería de recursos hídricos, Docente contratado, Universidad Privada Antenor Orrego

## ABSTRACT

The following experimental research made an analysis of the behaviour of the flow profile of water in open channels between centric and eccentric constrictions, energy conservation, specific energy, critical depth, Froude number and the calculation of local energy losses coefficient. For simulation purposes, the research team used the computerized open surface tilting flow channel H91.8D, that have a flow between 4.29 and 20.74 L/s. The experimental prototypes that were built presents the next characteristics: the centric constriction have a width of 20 cm and a variable length L of 15,30,45 cm while the eccentric constriction have a width of 15,10 and 7.5cm and a length L of 15,30,45 cm. After the analysis of the data, it can be seen that there is a range between 0.3 - 0.5 for contraction coefficient( $K_c$ ) and a range between 0.2 - 0.5 for expansion coefficient ( $K_e$ ). Also, the authors proposed four equations that let you calculate coefficients using the eccentricity.  $K_c = 0,68e^2 - 0,88e + 0,62$  (Denli's Formula) and  $K_c = 0,85e^2 - 1,05e + 0,67$  (Hinds Formula).  $K_e = -0,32e^2 + 0,52e + 0,11$  (General's Formula) and  $K_e = -0,40e^2 + 0,24e + 0,38$ , (Denli's Formula). It concluded that for contraction coefficients the best equations are Denli and Hinds and for Expansion coefficients the best ones are General and Denli.

**Key Words:** Coefficient of local energy losses, Excentric Constriction, computerized open surface tilting flow channel H91.8D

## INTRODUCCIÓN

Las constricciones modifican el patrón de flujo de agua en canales a superficie libre con la consecuente pérdida de carga local reduciendo la eficiencia de conducción en el transporte del agua, por lo que es importante cuantificar la pérdida de carga local experimentalmente ya que existe una variedad de fórmulas propuestas para tal fin que necesitan ser comprobadas para validar sus resultados. El efecto de las constricciones sobre el flujo es tan complicado que el patrón de flujo resultante no es fácil objeto de una solución analítica. Sin embargo, es posible una solución práctica mediante una investigación experimental (Ven te Chow,1959). Esto plantea la necesidad de cuantificar el efecto por excentricidad de constricción en la pérdida de carga local de energía en canal de pendiente variable H91.8D.

El estudio se basó en la teoría de constricciones y el principio de continuidad (Chow, 1959)

Eb (2012) investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México realizó un análisis experimental de pérdida de carga local de energía

céntricas, en la cual la variación se realizaba en sección de canales abiertos en tramos cortos, la pérdida de carga es significativa de hasta un 50% y esto genera una baja eficiencia para la conducción de agua, por ello el autor recomienda tener en consideración este fenómeno.

Najad (2010) investigador de la universidad Concordia de Canadá encontró que los coeficientes de pérdida de energía para contricciones céntricas variaron de 0.46 a 0.62, estos resultados serían útiles para el diseño de expansiones de canales céntricos; para la calibración y validación de modelos numéricos de hidrodinámica. Demostró que la presencia del resalto acelera el flujo, convierte un gradiente de presión adverso a favorable y reduce los coeficientes de pérdida de energía en más del 50% en comparación con los valores correspondientes.

En el presente trabajo se determinó los coeficientes de pérdida de carga local de energía por constricción excéntrica en canal de pendiente variable H91.8D.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue de tipo experimental. La muestra estuvo constituida por 12 prototipos con variación de excentricidad.

### DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

#### Canal de pendiente variable H91.8D

La Universidad Privada Antenor Orrego cuenta con el canal de pendiente variable de serie H91.8D diseñada por Didacta Italia para el estudio de los fenómenos hidrodinámicos de las corrientes de superficie libre en los canales con pendiente variable H91.8D (Figura 1). El laboratorio permite la experimentación práctica de los principios básicos del fluido-dinámica y de las máquinas de fluido más importantes.

### TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### Instrumentos de medición

##### Medidor de pendiente

Este instrumento es parte del canal de pendiente variable H91.8D y sirve para la medición y toma de datos de la pendiente del canal, esta toma de datos es muy importante para la investigación. La regla esta graduada en milímetros para una mejor aproximación. La precisión del instrumento es 1mm.

#### Cinta métrica

Este instrumento es utilizado para medir distancias, las cuales serán de gran utilidad para el procesamiento de datos. La cinta métrica utilizada será transparente y metálica(wincha) la cual su mínima unidad son los milímetros, esto nos ayudara a realizar una mejor toma de datos con menos errores. Sera utilizado para la variación de altura en la pérdida de carga local. la precisión del instrumento es 0.5 mm.

#### Medidor de tirante laser

Este instrumento es utilizado para tirantes de agua de manera electrónica, las cuales serán de gran utilidad para el procesamiento de datos. la precisión del instrumento es 1 mm.

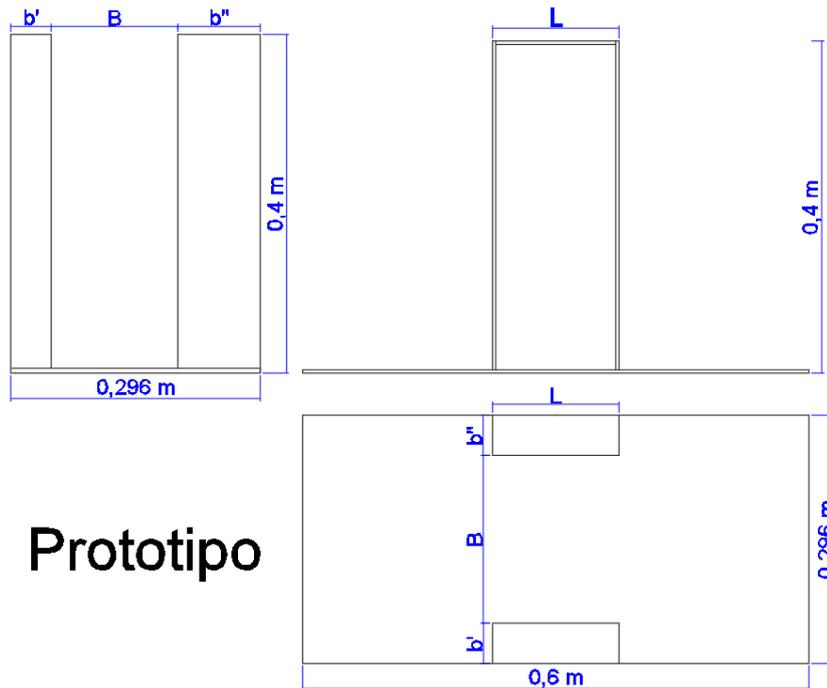
#### Prototipos Experimentales

Se crearon 12 prototipos experimentales (Figura 5) que simulan el fenómeno conocido como constricción, tanto céntrica como excéntrica. Son de Acrílico Cristal de 6mm (Para evitar rupturas por la presión del agua) y una base de 29.6 cm x 60 cm, los 4 mm faltantes se completan con Foam en los bordes del prototipo para evitar el daño al canal de pendiente variable H91.8D y evitar pérdidas de agua. Las dimensiones de los prototipos se muestran en la Figura 2 y Tabla 1. La excentricidad de los prototipos se muestra en la figura 3,4 y tabla 1.



Figura 1. Canal de Pendiente Variable H91.8D con Prototipo

Fuente: Manual Operativo y Ejercicios Didácticos de Canal de pendiente variable H91.8D – DIDACTA ITALIA



Prototipo

Figura 2. Dimensiones de Prototipos

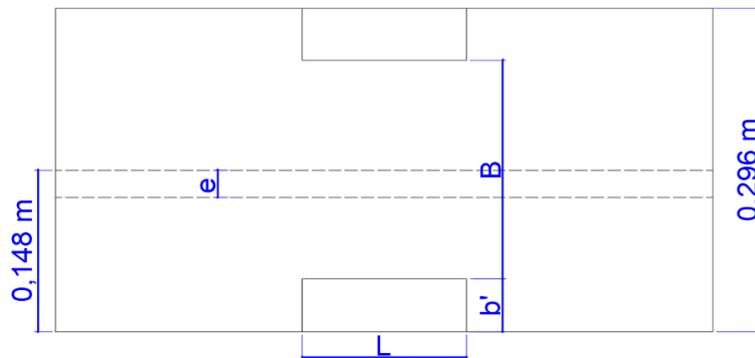


Figura 3. Excentricidad de los prototipos

$$e = \frac{\frac{B}{2} + b'}{14.8}$$

Figura 4. Fórmula para calcular la excentricidad según el ancho de contricción.

**Tabla 1.** Dimensiones de prototipos experimentales

Nº	L(cm)	B(cm)	b'	b''	e
1		20		4.8	1.00
2	15	15		9.8	0.83
3		10		14.8	0.66
4		7.5		17.3	0.58
5		20		4.8	1.00
6		15		9.8	0.83
7	30	10	4.8	14.8	0.66
8		7.5		17.3	0.58
9		20		4.8	1.00
10		15		9.8	0.83
11	45	10		14.8	0.66
12		7.5		17.3	0.58



**Figura 5.** Prototipo Construido

## ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

**Tabla 2.** Toma de datos según variables

Prototipos Céntricos B=20cm nº de ensayos=36	S(%)=0.00	Q(L/s)= 4.295 Q(L/s)= 8.690 Q(L/s)= 20.742	
	S(%)=0.56	Q(L/s)= 4.254 Q(L/s)= 8.540 Q(L/s)= 19.570	
	S(%)=1.11	Q(L/s)= 4.524 Q(L/s)= 8.619 Q(L/s)= 18.920	
	S(%)=0.00	Q(L/s)= 4.295 Q(L/s)= 8.690 Q(L/s)= 20.742	
	S(%)=0.56	Q(L/s)= 4.254 Q(L/s)= 8.540 Q(L/s)= 19.570	
	S(%)=1.11	Q(L/s)= 4.524 Q(L/s)= 8.619 Q(L/s)= 18.920	
	Prototipos Excéntricos B=15,10,7.5cm nº de ensayos=108	S(%)=0.00	Q(L/s)= 4.295 Q(L/s)= 8.690 Q(L/s)= 20.742
		S(%)=0.56	Q(L/s)= 4.254 Q(L/s)= 8.540 Q(L/s)= 19.570
		S(%)=1.11	Q(L/s)= 4.524 Q(L/s)= 8.619 Q(L/s)= 18.920

## PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES CON LOS EQUIPOS

### Alcances

Los ensayos experimentales fueron realizados en condiciones similares de un canal real a diferentes caudales y pendientes (Tabla 2), para la medición de dichos fenómenos se utilizaron los instrumentos presentes en laboratorio.

Para la representación del fenómeno hidráulico se utilizó el canal de pendiente variable H91.8D, el cual permitió variar el caudal y la pendiente.

### Procedimientos

#### Para Preparar los equipos:

- Ajuste de pendiente de canal a cero, para esto se utilizó la Escala vertical presente en el canal, su unidad en el 1 mm. El caudal se ajustó con la válvula de mariposa la cual cuenta con un mecanismo de engranaje y seguro.
- Se instala el prototipo en el cuerpo 4-5 del canal, este se ajusta con unos pernos para mantener la estabilidad (Ver figura 1).
- Verificación y uso de instrumentos de medición como el medidor de tirantes laser.

#### Para Realizar los ensayos:

- Se realizó un ajuste de la válvula tipo mariposa para que inicie con un caudal aproximado de 4.295 L/s. y se ajusta según lo necesario, lo mismo con la pendiente iniciando esta en 0.
- Se realizó la Medición correspondiente de tirantes con Medidor de tirante laser, cinta métrica o regla metálica.
- Se Anotó los datos de manera ordenada y entendible.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 6 a 23 muestran los resultados de la investigación que fueron calculados teniendo en cuenta 3 formulas: General, Denli y Hinds, encontrando que, a Mayor Caudal, Menor coeficiente de pérdida de carga, tanto para contracción(Kc) y expansión(Ke) además demuestran que a mayor longitud (L) de constricción, hay mayor cantidad de coeficientes de pérdida de carga entre los rangos aceptables de 0 a 1. En la investigación realizada hubo un 92.13% de datos válidos.

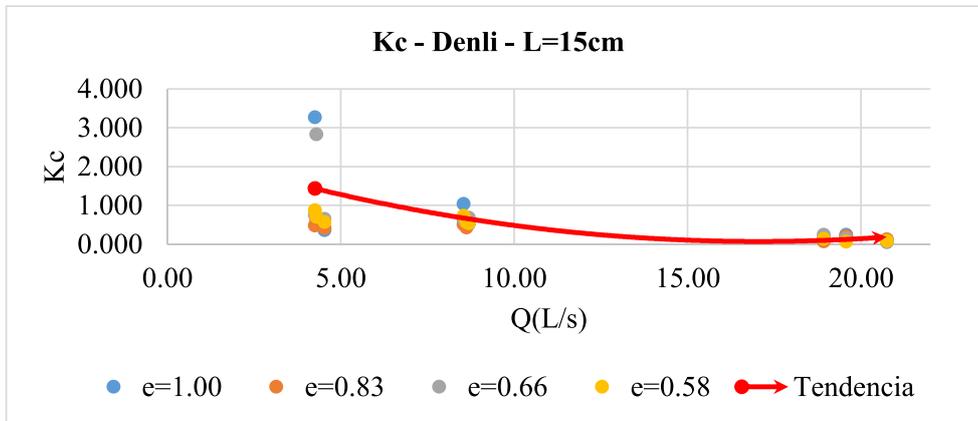
Con todos los resultados agrupados según Longitud de prototipo, excentricidad y formula, se obtuvo lo siguiente:

- Para los Coeficientes de Contracción (Kc) de L=15cm; los datos se estabilizan entre 0.06 y 0.77. Aplicando las fórmulas de Denli y Hinds (figura 7,8) se generó una tendencia convexa marcada, mientras que con la formula general (figura 6) esta es menor.
- Para los Coeficientes de Expansión (Ke) de L=15cm; los datos se estabilizan entre 0.22 y 0.76. Aplicando las fórmulas general y Denli (Figura 9,10) se generó una tendencia convexa marcada; en comparación con la fórmula de Hinds (Figura 11) que presenta una tendencia cóncava.
- Para los Coeficientes de Contracción (Kc) de L=30cm; los datos se estabilizan entre 0.12 y 0.61, La Tendencia es similar aplicando las fórmulas de General, Denli y Hinds (Figura 12,13,14)
- Para los Coeficientes de Expansión (Ke) de L=30cm; los datos se estabilizan entre 0.18 y 0.62. Aplicando las fórmulas general y Denli (Figura 15,16) se generó una tendencia convexa marcada; en comparación con la fórmula de Hinds (Figura 17) que presenta una tendencia cóncava.
- Para los Coeficientes de Contracción (Kc) de L=45cm; los datos se estabilizan variando entre 0.07 y 0.89. La Tendencia es similar aplicando las fórmulas de General, Denli y Hinds (Figura 18,19,20)
- Para los Coeficientes de Expansión (Ke) de L=45cm; los datos se estabilizan entre 0.04 y 0.77. Aplicando las fórmulas General y Denli (Figura 21,22) se generó una tendencia convexa marcada; en comparación con la fórmula de Hinds (Figura 23) que presenta una tendencia ascendente.

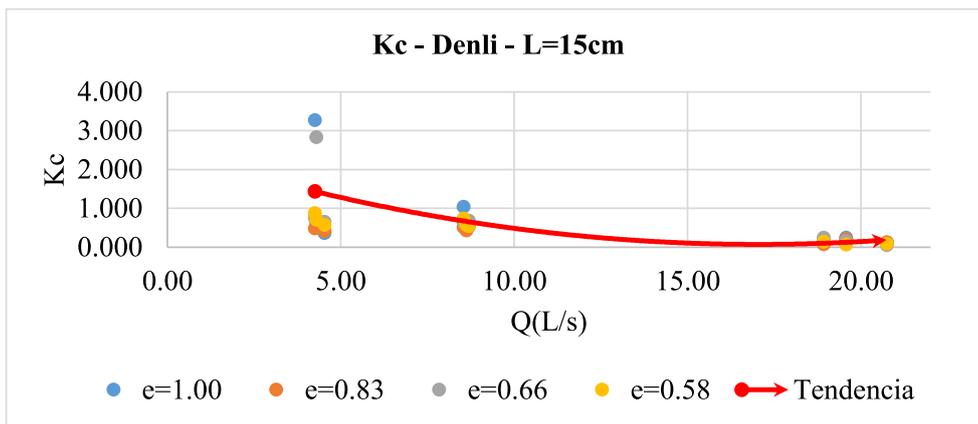
La importancia de la comparativa de todos los resultados obtenidos durante la investigación es que, mediante el uso de estas gráficas, se observó, el comportamiento de los coeficientes según las diferentes fórmulas y se compararon los resultados obtenidos con lo referenciado por otros autores que nos dicen que para los coeficientes de Contracción (Kc), las fórmulas que se adaptan son Denli y Hinds y para los coeficientes de expansión(Ke), las fórmulas que se adaptan son General y Denli.



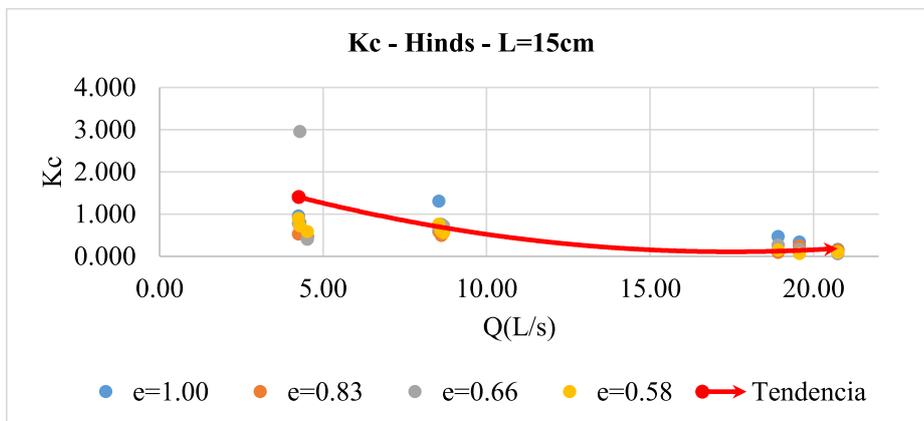
**Coefficientes de Contracción (Kc) en prototipos L=15cm**



**Figura 6.** Coeficientes de contracción (Kc); L=15cm - General

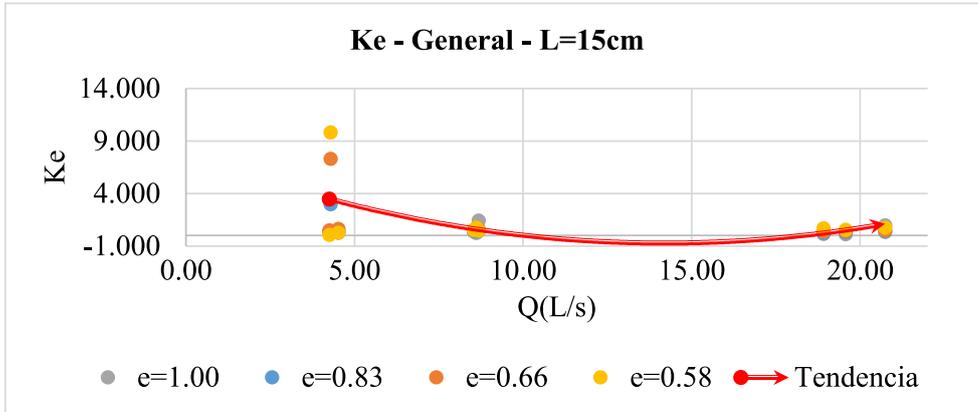


**Figura 7.** Coeficientes de contracción (Kc); L=15cm - Denli

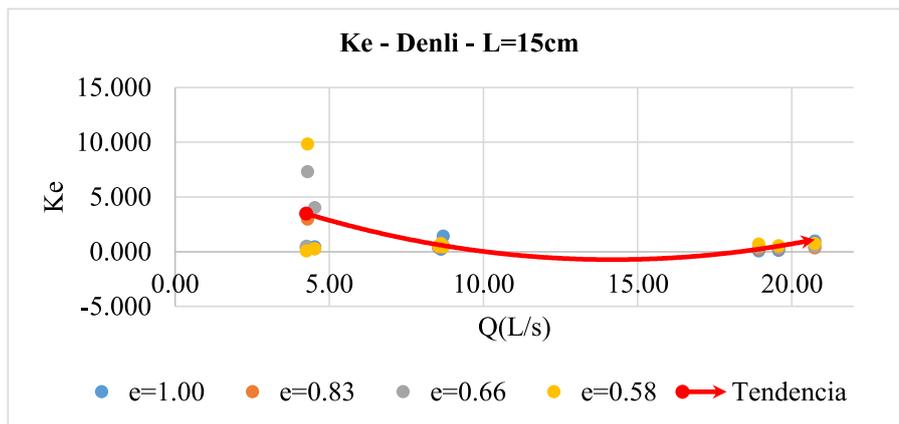


**Figura 8.** Coeficientes de contracción (Kc); L=15cm - Hinds

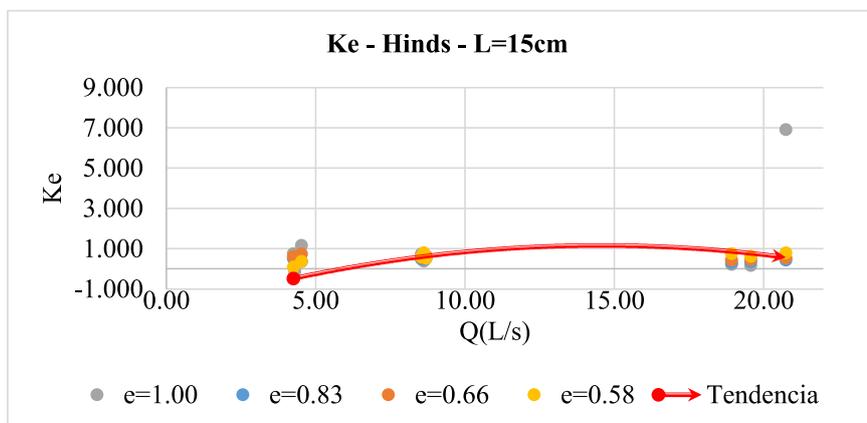
**Coefficientes de Expansión ( $K_e$ ) en prototipos  $L=15\text{ cm}$**



**Figura 9.** Coeficientes de expansión ( $K_e$ );  $L=15\text{ cm}$  - General



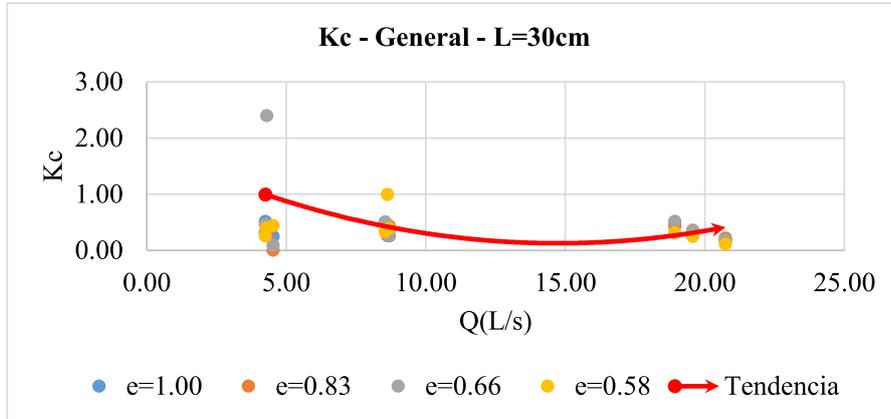
**Figura 10.** Coeficientes de expansión ( $K_e$ );  $L=15\text{ cm}$  - Denli



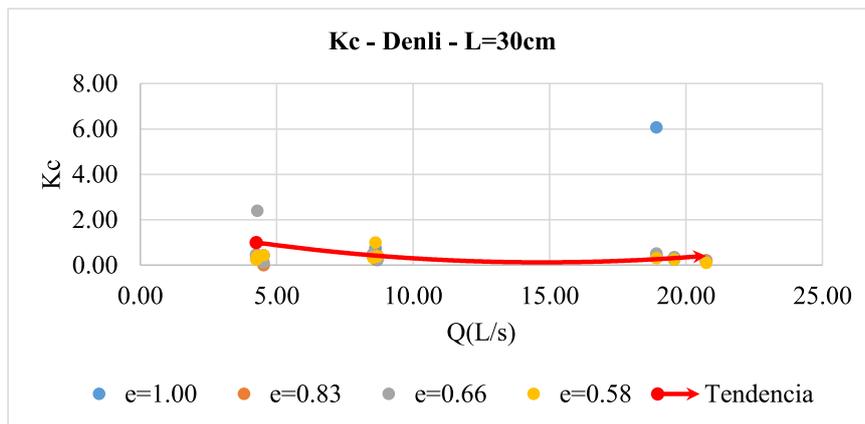
**Figura 11.** Coeficientes de expansión ( $K_e$ );  $L=15\text{ cm}$  - Hinds



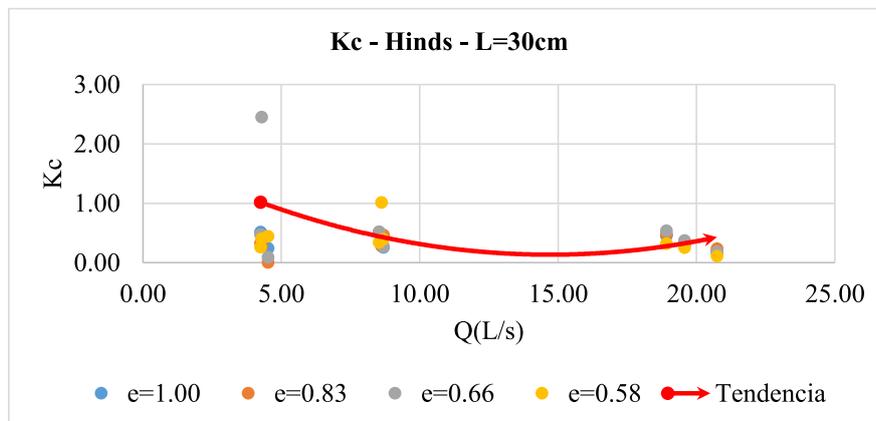
**Coeficientes de Contracción ( $K_c$ ) en prototipos  $L=30$  cm**



**Figura 12.** Coeficientes de contracción ( $K_c$ );  $L=30$ cm - General

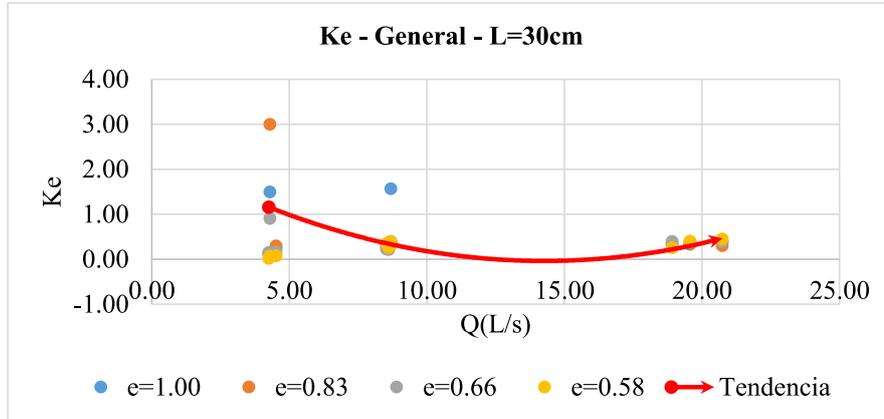


**Figura 13.** Coeficientes de contracción ( $K_c$ );  $L=30$ cm - Denli

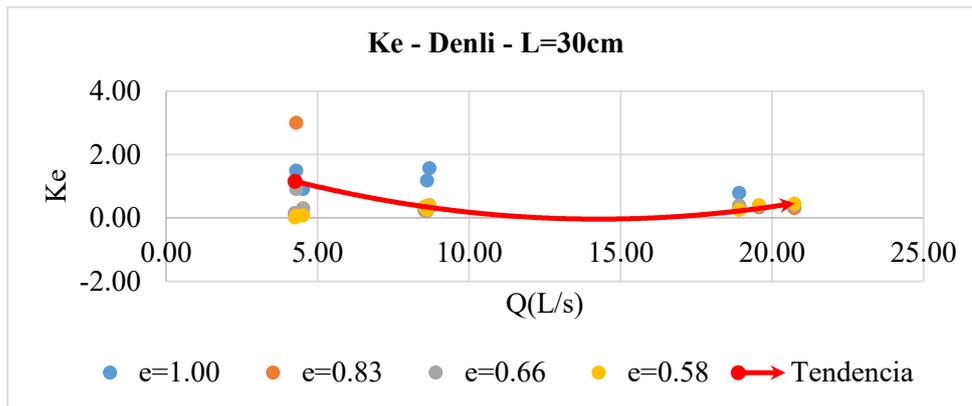


**Figura 14.** Coeficientes de contracción ( $K_c$ );  $L=30$ cm - Hinds

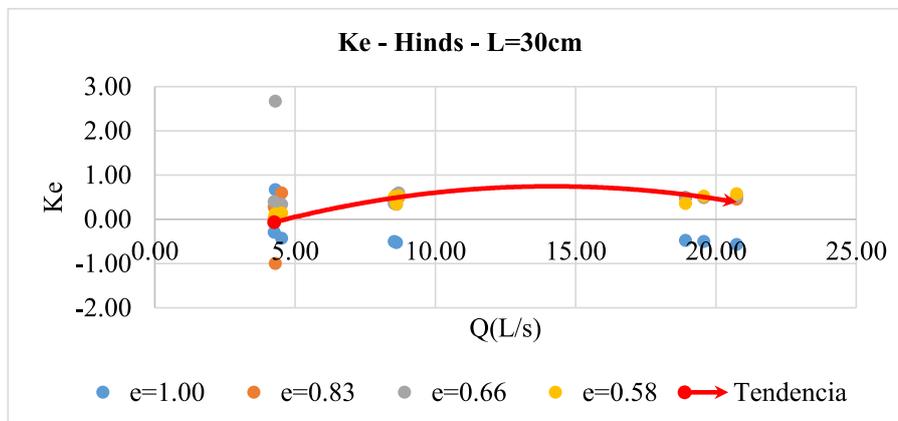
**Coeficientes de Expansión ( $K_e$ ) en prototipos  $L=30\text{cm}$**



**Figura 15.** Coeficientes de expansión ( $K_e$ );  $L=30\text{cm}$  - General

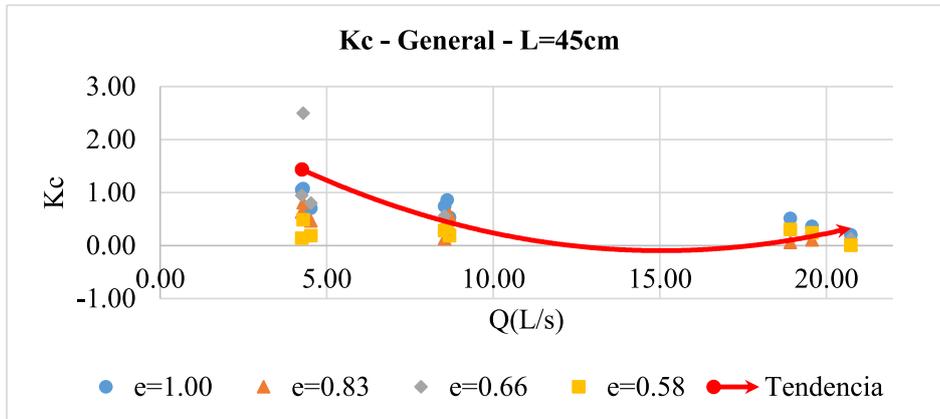


**Figura 16.** Coeficientes de expansión ( $K_e$ );  $L=30\text{cm}$  - Denli

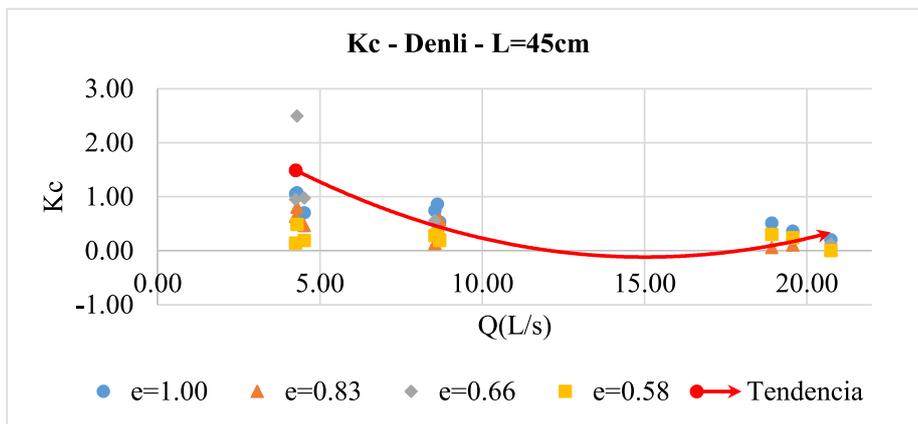


**Figura 17.** Coeficientes de expansión ( $K_e$ );  $L=30\text{cm}$  - Hinds

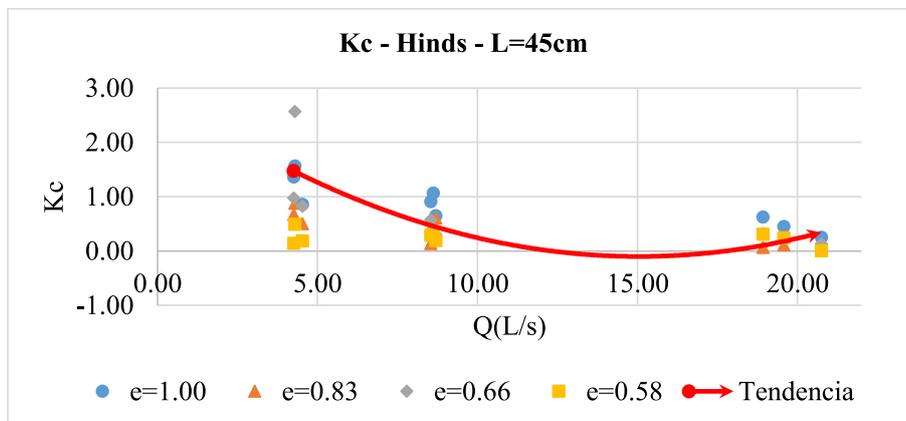
**Coeficientes de Contracción (Kc) en prototipos L=45cm**



**Figura 18.** Coeficientes de contracción (Kc); L=45cm - General

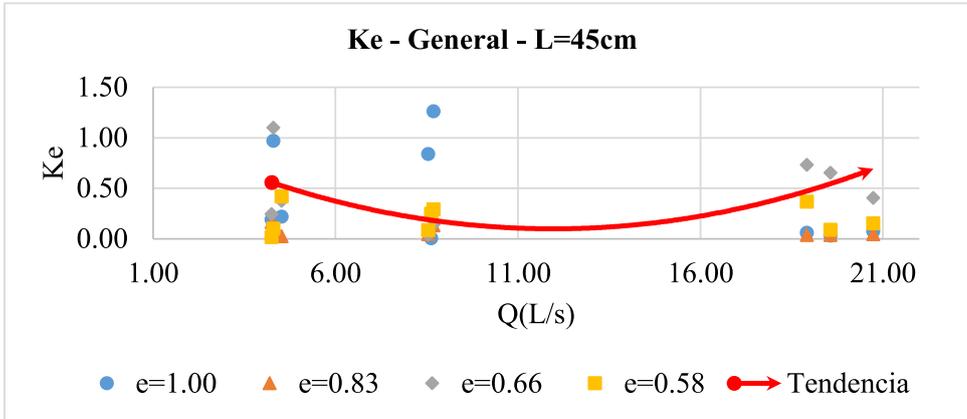


**Figura 19.** Coeficientes de contracción (Kc); L=45cm - Denli

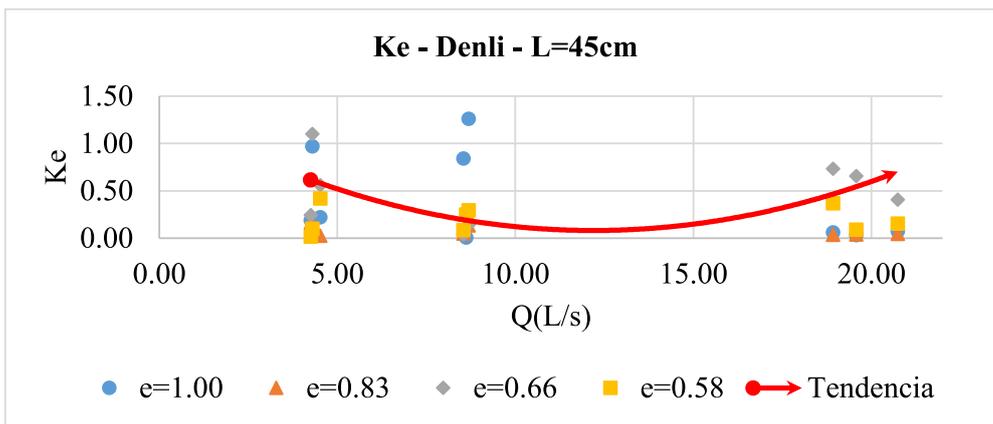


**Figura 20.** Coeficientes de contracción (Kc); L=45cm - Hinds

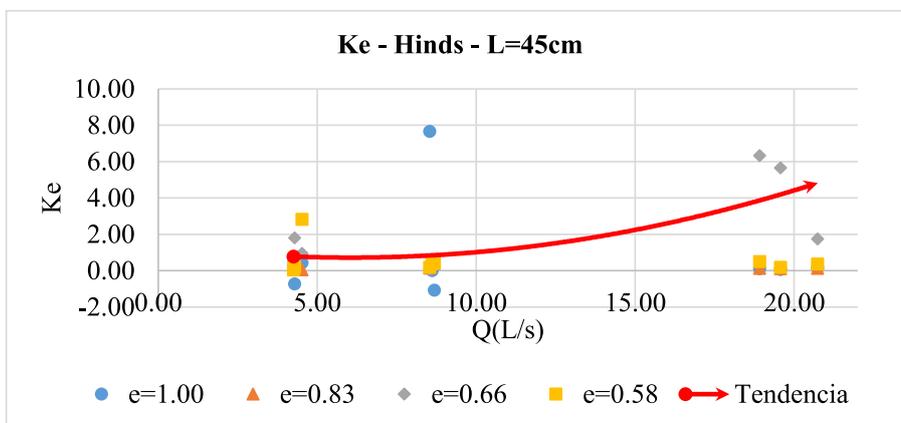
**Coefficientes de Expansión (Ke) en prototipos L=45cm**



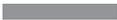
**Figura 21.** Coeficientes de expansión (Ke); L=45cm - General



**Figura 22.** Coeficientes de expansión (Ke); L=45cm - Denli



**Figura 23.** Coeficientes de expansión (Ke); L=45cm - Hinds



### Rango de Coeficientes de Contracción(Kc) por excentricidad

El aporte de la investigación fueron 4 ecuaciones que nos permiten calcular los coeficientes de pérdida tanto de contracción como expansión según la fórmula adecuada y su excentricidad.

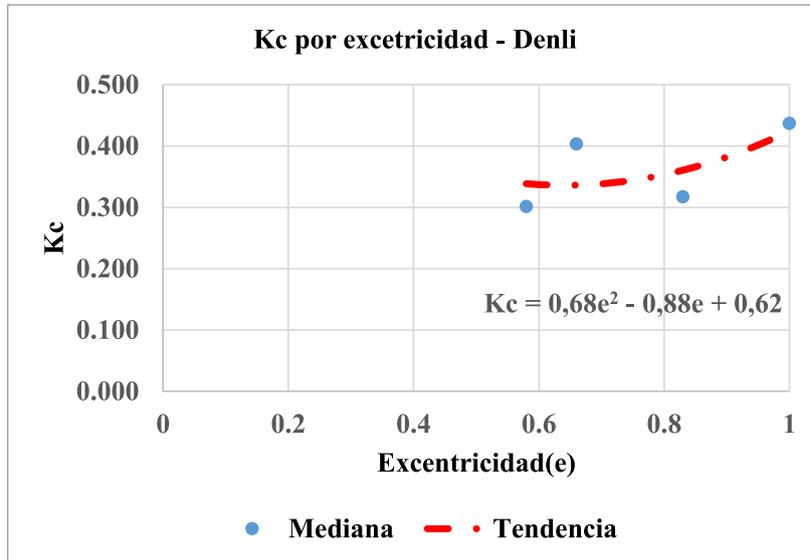


Figura 24. Coeficientes de pérdida de carga de contracción (Kc) vs excentricidad(e)- Denli

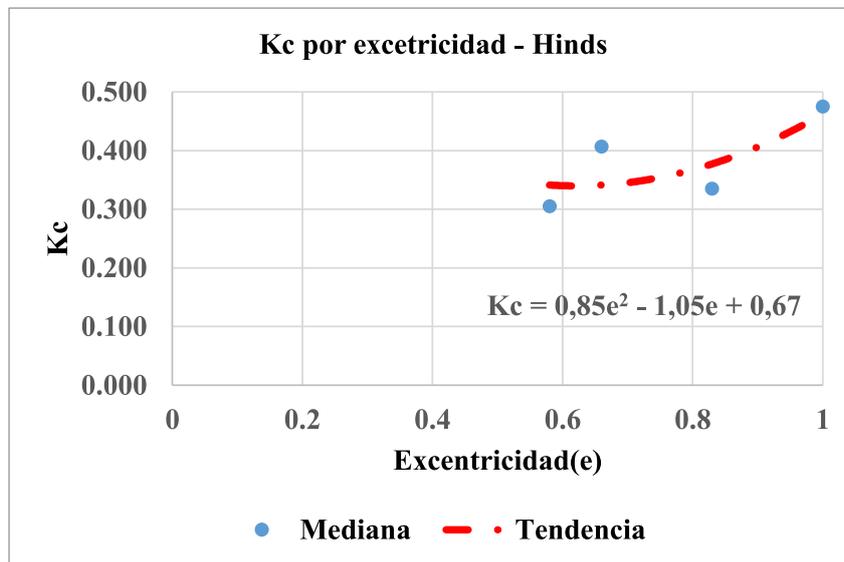


Figura 25. Coeficientes de pérdida de carga de contracción (Kc) vs excentricidad(e)- Hinds

### Rango de Coeficientes de Contracción( $K_e$ ) por excentricidad

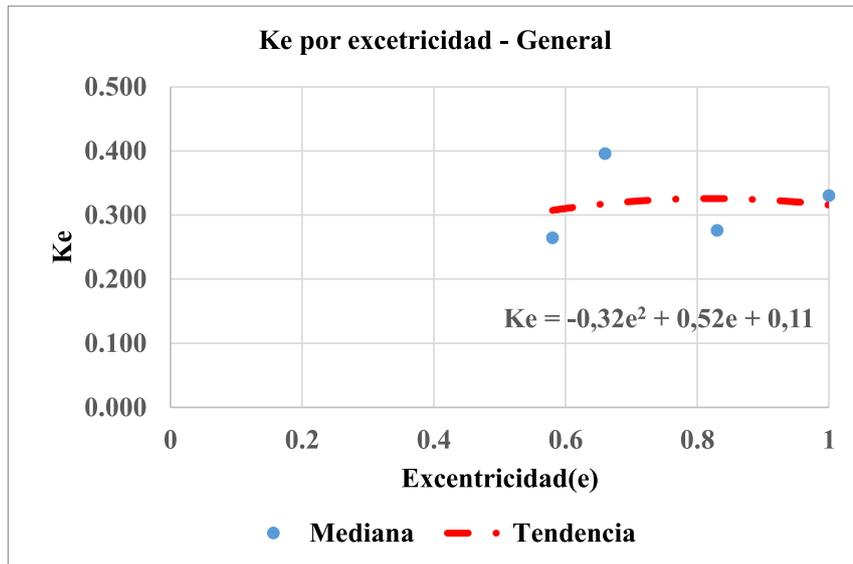


Figura 26. Coeficientes de perdida de carga de expansión ( $K_e$ ) vs excentricidad(e)- General

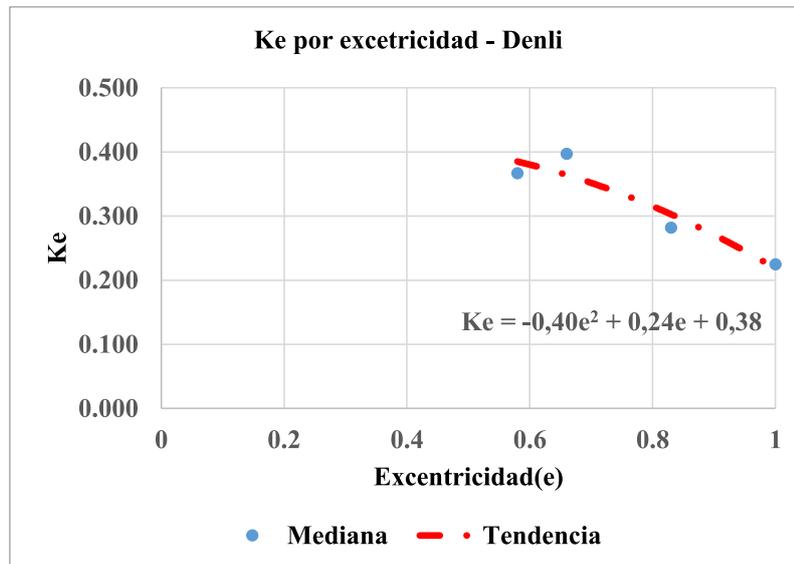


Figura 27. Coeficientes de perdida de carga de expansión( $K_e$ ) vs excentricidad(e)- Denli

## CONCLUSIONES

Los coeficientes de pérdida local de energía por constricción céntrica y excéntrica en el canal de pendiente variable H91.8D se determinaron. Se construyeron 12 prototipos (3 céntricos y 9 excéntricos) para una simulación real controlada del comportamiento del fenómeno hidráulico estudiado. Se corrobora que las fórmulas de Denli y Hinds se adaptan mejor para los coeficientes de constricción y que la fórmula general y Denli para coeficiente de expansión.

1. Se determinó los coeficientes de pérdida de carga local de energía por contracción debido a la constricción céntrica en el flujo de canal de pendiente variable H91.8D, utilizando las fórmulas indicadas y se obtuvieron los siguientes rangos: Fórmula general =  $0.34 \leq K_c \leq 0.52$ ; Denli =  $0.20 \leq K_c \leq 0.51$  y Hinds =  $0.25 \leq K_c \leq 0.46$ . Se concluyó que las fórmulas que mejor se adaptan son Denli y Hinds.
2. Se determinó los coeficientes de pérdida de carga local de energía por contracción debido a la constricción excéntrica en el flujo de canal de pendiente variable H91.8D, utilizando las fórmulas indicadas y se obtuvieron los siguientes rangos: Fórmula general =  $0.09 \leq K_c \leq 0.75$ ; Denli =  $0.08 \leq K_c \leq 0.77$  y Hinds =  $0.08 \leq K_c \leq 0.75$ . Se concluyó que las fórmulas que mejor se adaptan son Denli y Hinds.
3. Se determinó los coeficientes de pérdida de carga local de energía por expansión debido a la constricción céntrica en el flujo de canal de pendiente variable H91.8D, utilizando las fórmulas indicadas y se obtuvieron los siguientes rangos: Fórmula general =  $0.32 \leq K_e \leq 0.84$ ; Denli =  $0.21 \leq K_e \leq 0.79$  y Hinds =  $-0.48 \leq K_e \leq 0.21$ . Se concluyó que las fórmulas que mejor se adaptan son General y Denli.
4. Se determinó los coeficientes de pérdida de carga local de energía por expansión debido a la constricción excéntrica en el flujo del canal de pendiente variable H91.8D, utilizando las fórmulas indicadas y se obtuvieron los siguientes rangos: Fórmula General =  $0.10 \leq K_e \leq 0.72$ ; Denli =  $0.09 \leq K_e \leq 0.78$  y Hinds =  $0.25 \leq K_e \leq 0.64$ . Se concluyó que las fórmulas que mejor se adaptan son General y Denli.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chow, V.T. (1959). hidráulica de canales abiertos. México: McGraw-Hill.
2. Denli y Altan-Sakarya. (2011). Local energy losses at positive and negative steps in subcritical open channel flows. sudafrica: Water SA Vol. 37 No. 2.
3. Didáctica. (2002). Manual de canal de pendiente variable. Italia: Didáctica Italia.
4. Eb-Pareja, J.E. (2012). "Análisis experimental de algunas pérdidas locales de energía en canales de sección rectangular abiertos". México: Universidad Nacional Autónoma De México.
5. Espir-Nureña, J.J. y Morales-Leiva, J.A. (2015). "Evaluación de fenómenos hidráulicos en el canal Chaquin del sistema de riego del valle de Virú primer tramo". Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
6. French, R.H. (1985). Hidráulica de Canales Abiertos. the University of Michigan: McGraw-Hill.
7. Hinds, J. (1928), The hydraulic design of flume and syphom transition, U.S.A.: ASCE, Vol 92
8. Najafi (2011), "An experimental investigation of flow energy losses in open-channel expansions", Canadá, Tesis de Maestría, Concordia Universidad
9. Rodríguez-Ruiz, P. (2010). Conceptos y elementos de un canal. octubre 25 de 2017, de Civil Geek Sitio web: <https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>.