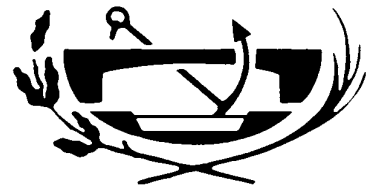




**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE
INGENIERÍA TÉCNICA CIVIL**



***INGENIERÍA TÉCNICA DE OBRAS PÚBLICAS
ESPECIALIDAD HIDROLOGÍA***

Proyecto Fin de Carrera

**CARACTERIZACIÓN PARAMÉTRICA DE
RESALTOS HIDRÁULICOS LIBRES Y SUMERGIDOS
A PARTIR DE MEDIDAS DE VELOCIDADES
INSTANTÁNEAS CON EQUIPO DOPPLER**

MARÍA DEL CARMEN MÁRQUEZ MULERO

Dirigido por:

D. LUIS G. CASTILLO ELSITDIÉ

Doctor Ingeniero de Caminos, C. y P.

Cartagena, junio de 2006

A mi madre y a mi padre por su apoyo y su ayuda incondicional en todo momento.

A mi hermano, porque además de su apoyo, me ofreció su tiempo para explicarme el funcionamiento del canal y la sonda en el comienzo de este proyecto. Gracias por servirme de ejemplo en la realización de este trabajo fin de carrera.

A mi director de proyecto, Dr. Luis G. Castillo, por su disponibilidad y por saber solventar cualquier duda o problema que haya surgido.

Al resto de mis familiares y amigos por su ánimo, a pesar de no haberles dedicado todo el tiempo que quisiera en algunos momentos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
1 OBJETIVOS	9
2 RESUMEN	11
3 LABOR EXPERIMENTAL Y FILTRADO DE DATOS	41
3.1 Trabajo de laboratorio	41
3.1.1 <u>Configuración de la sonda</u>	41
3.1.2 <u>Rango de caudales de trabajo</u>	42
3.1.3 <u>Situación actual del canal</u>	43
3.2 Ensayos de laboratorio	46
3.3 Filtrado de datos	49
4 FUNDAMENTOS Y ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPERIMENTAL	57
4.1 Introducción	57
4.2 Condiciones de flujo y características de la longitud del resalto	58
4.2.1 <u>Resaltos hidráulicos libres</u>	58
4.2.1.1 Características de la longitud del resalto	58
4.2.1.2 Caída de la velocidad máxima	62
4.2.1.3 Perfil superficial	64
4.2.2 <u>Resaltos hidráulico sumergidos</u>	65
4.2.2.1 Características de la longitud del resalto	65
4.2.2.2 Caída de velocidad máxima	67
4.2.2.3 Perfil superficial	69
4.3 Relación entre profundidades inicial y final	70
4.3.1 <u>Resaltos hidráulicos libres</u>	70
4.3.2 <u>Resaltos hidráulicos sumergidos</u>	74

4.4 Pérdida de energía en los resaltos hidráulicos	79
4.4.1 <u>Resaltos hidráulicos libres</u>	79
4.4.2 <u>Resaltos hidráulicos sumergidos</u>	84
4.5 Longitud del resalto hidráulico	93
4.5.1 <u>Resaltos hidráulicos libres</u>	93
4.5.2 <u>Resaltos hidráulicos sumergidos</u>	95
4.6 Campos de velocidad media en los resaltos hidráulicos	101
4.6.1 <u>Resaltos hidráulicos libres</u>	101
4.6.2 <u>Resaltos hidráulicos sumergidos</u>	116
 CONCLUSIONES	 123
 ANEXO 1. RESULTADOS DEL FILTRADO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO	 127
 ANEXO 2. GRÁFICAS DE VELOCIDAD FRENTE CALADO	 165
 ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LOS RESALTOS HIDRÁULICOS ANALIZADOS	 187
 BIBLIOGRAFÍA	 191

INTRODUCCIÓN

A. Definición del tipo de flujo de trabajo

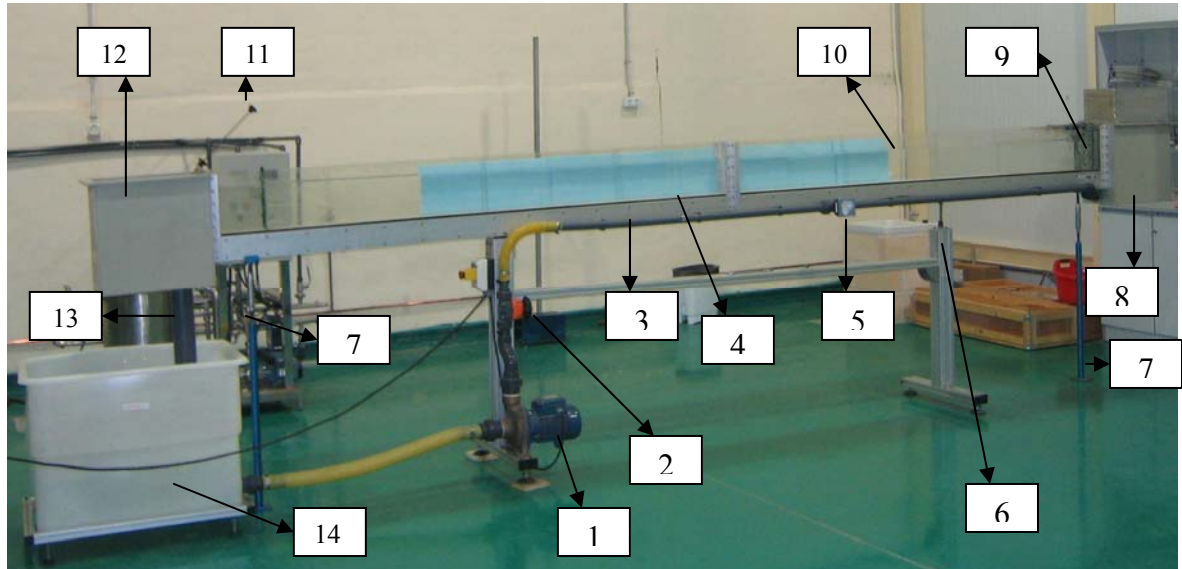
En este proyecto fin de carrera se realiza el estudio del comportamiento del agua en una canal rectangular en el que se han formado diferentes resaltos hidráulicos libres y sumergidos. Este fenómeno hidráulico se desarrolla en flujo permanente rápidamente variado, un tipo de flujo que ocurre cuando la profundidad del flujo no cambia o se supone constante con respecto al tiempo considerado, pero espacialmente el cambio de profundidad se produce de forma abrupta en distancias relativamente cortas.

B. Descripción del canal de laboratorio y de los elementos para la adquisición de datos con ADV

El trabajo experimental desarrollado en este proyecto fin de carrera consistió en la medida de velocidades instantáneas mediante un equipo Doppler en distintos tipos de resaltos producidos en un canal de laboratorio; así como la medida de otros parámetros característicos de los resaltos, como la longitud de resalto y las profundidades inicial y final utilizando un limnómetro. Posteriormente se comparan los resultados experimentales con trabajos ya afianzados. A continuación se muestra una descripción del canal y de los elementos para la adquisición de datos con ADV.

▪ Descripción de los elementos del canal

La fotografía 1 muestra los principales elementos que componen el canal sobre el que realizamos el estudio:



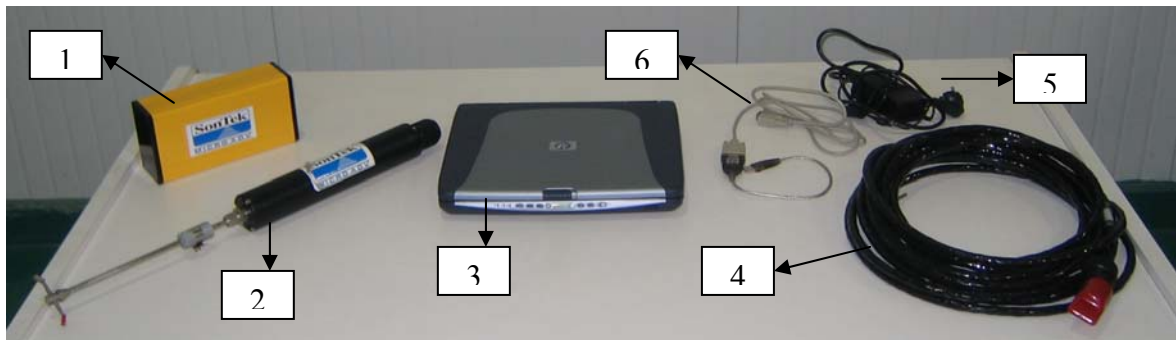
Fotografía 1. Elementos del canal de laboratorio

De manera que:

1. Bomba de alimentación
2. Válvula de membrana reguladora del caudal
3. Tubería de impulsión
4. Solera del canal
5. Caudalímetro
6. Soporte con regulación de altura
7. Soportes niveladores de la pendiente del canal
8. Depósito tranquilizador suplementado
9. Tranquilizadores de flujo
10. Sección del canal de 81 x 250 x 5000 mm de longitud
11. Regulador del calado del agua en el canal
12. Depósito regulador del calado del agua
13. Tubería de retorno
14. Depósito de almacenamiento

▪ Descripción de los elementos para la adquisición de datos con ADV

La fotografía 2 muestra los distintos elementos necesarios para realizar mediciones de velocidad con ADV:

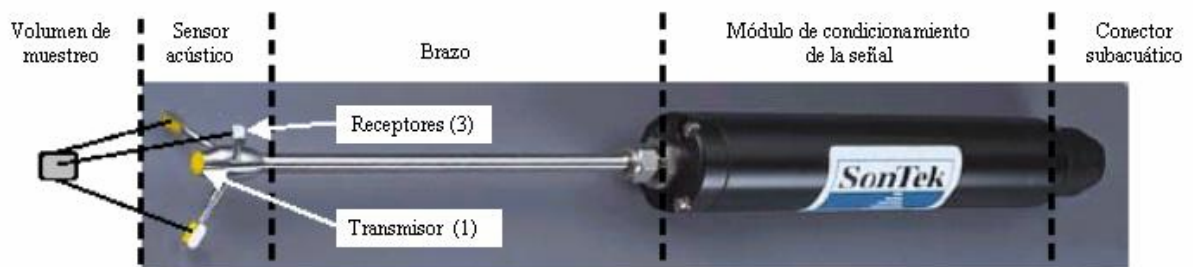


Fotografía 2. Elementos para la adquisición de datos con ADV

Son los siguientes:

1. Módulo de procesamiento ADVfield a prueba de salpicaduras
2. Sonda 2D de 16 MHz MicroADV
3. Ordenador con programa operativo Windows XP
4. Cable de unión entre la sonda y el procesador
5. Cable de alimentación del procesador
6. Cable para comunicar el módulo de procesamiento al ordenador

La fotografía 3 muestra los principales elementos de la sonda:



Fotografía 3. Elementos principales de la sonda

Se ha de aclarar que la sonda utilizada no dispone de 3 receptores sino de 2 (Sonda 2D de 16 MHz MicroADV).

1. OBJETIVOS

Los principales objetivos de este proyecto fin de carrera son:

- Un primer objetivo es el aprendizaje y correcto uso de una de las nuevas técnicas e instrumentación asociada para la medición de las velocidades instantáneas en un flujo en lámina libre.
- Un segundo objetivo es la adquisición de datos por medio del equipo Doppler y la comprobación y contrastación teórico-experimental de las distribuciones de velocidad; así como un filtrado numérico de los datos.
- Un tercer objetivo es un estudio paramétrico de la distribución de velocidades instantáneas y la disipación de energía, en distintas posiciones del resalto hidráulico libre y sumergido; así como un análisis de las características de longitud del resalto y la relación entre profundidades inicial y final.

2. RESUMEN

El trabajo realizado en el siguiente proyecto fin de carrera se divide en dos partes principales:

- Una parte de labor experimental y tratamiento de datos para el estudio paramétrico de los diferentes tipos de resaltos hidráulicos.
- Una parte teórica y experimental donde se exponen las formulaciones de los temas que trata el proyecto fin de carrera y donde se contrastan los datos obtenidos con trabajos experimentales ya afianzados.

En este proyecto se han realizado medidas de flujo en lámina libre, principalmente de velocidades instantáneas dentro del seno de algunos resaltos hidráulicos libres y sumergidos. A continuación se hace una comparación y contrastación de los resultados obtenidos en la práctica con trabajos experimentales ya afianzados. Una vez hecho el análisis crítico, se proponen nuevas leyes y se extraen las conclusiones más importantes.

Los puntos principales que se han tratado en la realización de este proyecto son los siguientes:

▪ Configuración de la sonda

Para el correcto funcionamiento de la sonda es necesario introducir unos parámetros de entrada. Los más importantes son el rango de velocidad, cuyo valor establecido es de ± 100 cm/seg, y la frecuencia de muestreo que fue de 5 Hz. Otro parámetro fundamental es la salinidad, cuyo valor estimado fue de 2 ppm.

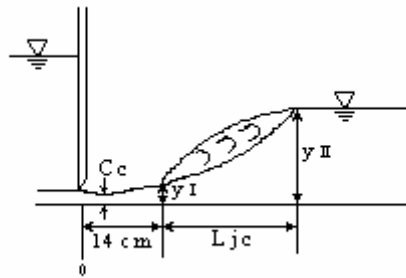
▪ Rango de caudales de trabajo

Mediante un aforo volumétrico se determinó con exactitud el caudal trasgado por el canal de laboratorio. Según la lectura del caudalímetro nuestros caudales de trabajo son 12,25; 10; 8; 6; 5 y 4 m³/h. Según el aforo volumétrico realizado, el caudal real y por tanto, los valores utilizados para este estudio, son 13,6; 11,27; 9,32; 7,52; 6,54 y 5,44 m³/h, y medidos en l/s: 3,78; 3,13; 2,59; 2,09; 1,82 y 1,51 l/s.

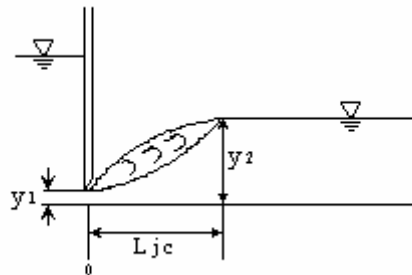
▪ **Tipos de resaltos estudiados**

Para cada caudal se han obtenido seis resaltos distintos, los cuales se han ido sumergiendo en función de la profundidad aguas arriba de la compuerta. Son los siguientes:

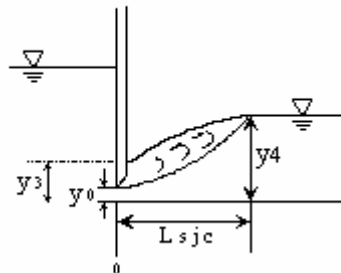
- (a) Un resalto hidráulico libre estabilizado a catorce centímetros de la compuerta (R.L.0)



- (b) Un resalto hidráulico libre estabilizado al pie de la compuerta (R.L.1)



- (c) Cuatro resaltos hidráulicos sumergidos (R.S.2, R.S.3, R.S.4 y R.S.5)



▪ **Criterio establecido para obtener la longitud de resalto**

Es importante aclarar que la longitud de resalto para el caso de los resaltos libres fue establecida como la distancia entre el calado contraído y el punto aguas abajo en que se observó que el perfil de flujo no seguía subiendo. Para el caso de los resaltos sumergidos, y siguiendo el mismo criterio, la longitud de resalto establecida es la distancia entre la compuerta y el punto aguas abajo en que se observa que el perfil del flujo no sigue subiendo.

▪ **Secciones estudiadas para cada resalto**

La mayoría de las secciones estudiadas se localizan dentro de la longitud de resalto considerada. Las seis secciones analizadas son las siguientes:

(a) Sección 0: localizada inmediatamente aguas debajo de la compuerta y situada siempre a cinco centímetros de la compuerta debido a las dimensiones de los receptores de la sonda

(b) Sección 1; localizada a $1/4L_r$ (un cuarto de la longitud de resalto considerada).

(c) Sección 2; localizada a $1/2L_r$.

(d) Sección 3; localizada a $3/4L_r$.

(e) Sección 4; localizada a una distancia igual a la longitud del resalto.

(f) Sección 5; localizada a una distancia intermedia entre el final de la longitud de resalto estimada y la mitad del canal (punto hasta el cuál el canal es completamente horizontal).

▪ **Filtrado de datos**

En condiciones de aireación, la sonda deja de medir cuando una burbuja de aire atraviesa la trayectoria de muestreo, obteniéndose un valor de velocidad erróneo. Para desechar o paliar esas anomalías se realiza un filtrado digital de los datos.

Una vez exportados los datos desde el programa de adquisición de datos Explore V a una hoja de cálculo Excel, se somete a un filtrado de datos a las muestras que lo requieran, y se van creando nuevas series a partir de las iniciales. Las fases fundamentales en el tratamiento de datos son las siguientes:

- Dada la serie inicial de 2024 valores medidos de velocidad V_x , para cada uno de los puntos de muestreo considerados en los resaltos hidráulicos se obtiene el valor medio X_{media} .

- Se obtiene el valor máximo de la serie inicial, al que denominamos $X_{máx}$, y un valor $A1$ que se define como la diferencia entre el valor máximo $X_{máx}$ y el valor medio X_{media} de la serie inicial, de modo que:

$$A1 = X_{máx} - X_{media}$$

- Posteriormente se halla un valor $X_{mín}$ obtenido de la diferencia entre la media de la serie inicial y el valor $A1$ hallado anteriormente, $X_{mín} = X_{media} - A1$, para después obtener la amplitud A , de la diferencia entre los valores $X_{máx}$ y $X_{mín}$, tal que:

$$A = X_{máx} - X_{mín}$$

- Por último se obtienen los valores de corte de la serie inicial de la siguiente manera:

El valor de corte superior será un valor $X_{máx,c}$ que se define como el valor máximo de la serie inicial $X_{máx}$ una vez reducido por el valor de amplitud A multiplicado por un factor de porcentaje considerado como 0,05 (percentil 95%):

$$X_{máx,c} = X_{máx} - (A * 0,05)$$

Este valor de corte superior pone un límite a la serie inicial de modo que los valores obtenidos mayores a este valor de corte quedan reducidos al límite $X_{máx,c}$. La serie inicial ha quedado así restringida a un límite superior menor que el valor $X_{máx}$ inicial.

El valor de corte inferior $X_{mín,c}$ se obtiene a partir del valor $X_{mín}$ mayorado por el valor de la amplitud A multiplicado por 0,05 (percentil 5%):

$$X_{mín,c} = X_{mín} + (A * 0,05)$$

Igualmente este valor de corte inferior pone un límite a la serie inicial de modo que los valores menores a este valor de corte quedan reducidos al límite $X_{mín,c}$. La serie inicial queda así restringida a un límite inferior mayor que el valor $X_{mín}$ inicial.

A este proceso se le denomina PRIMER FILTRADO. Se han llegado a realizar varios filtrados repitiendo el proceso descrito a aquellas muestras que lo requiriesen. Ninguna muestra se ha filtrado más de cuatro veces para no alterar excesivamente la serie inicial.

			1° Filtrado		2° Filtrado		3° Filtrado		4° Filtrado
N° de muestra	u_x	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
1	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38
2	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24
3	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62
2022	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35
2023	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00
2024	67,43	67,43	79,84	79,84	83,95	83,95	87,09	87,09	89,96
Xmedia=	111,75		112,23		112,40		112,58		112,77
Xmax=	147,21		143,66		140,52		137,71		
A1=	35,46		31,43		28,12		25,13		
Xmin=	76,29		80,81		84,28		87,25		
A=	70,92		62,86		56,24		50,26		
A*0,05=	3,55		3,14		2,81		2,51		
Xmax c=	143,66		140,52		137,71		135,20		
Xmin c=	79,84		83,95		87,09		89,96		

Tabla 1. Modelo del tratamiento de datos

A continuación se muestra el resultado gráfico del filtrado de la muestra anterior (Figuras 1 y 2), donde vemos que la muestra se homogeniza tras realizar un solo filtrado.

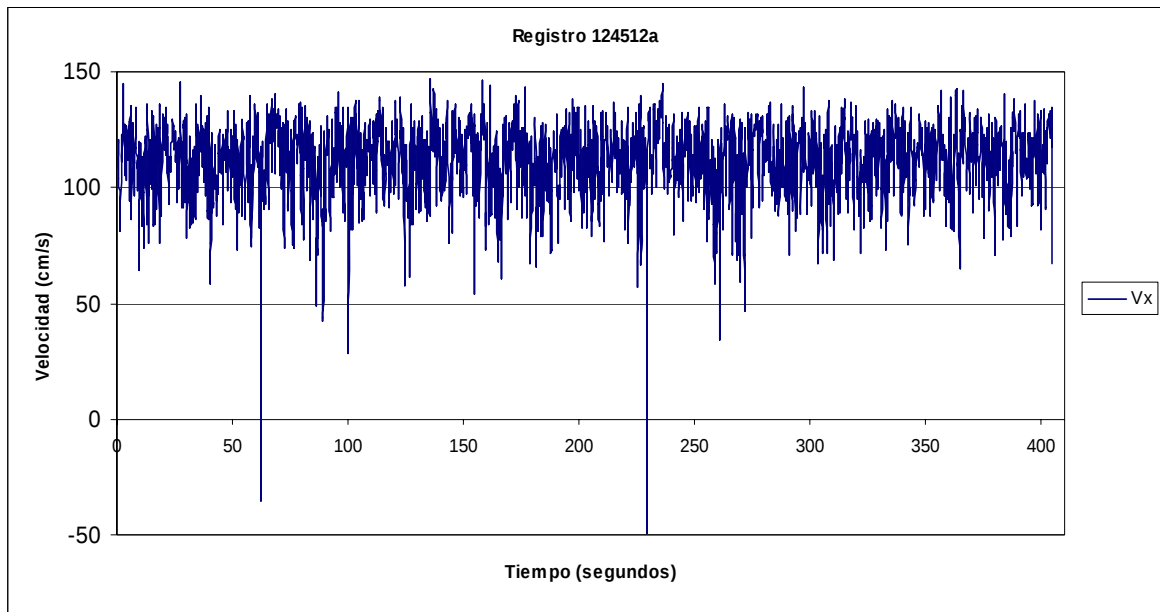


Figura 1. Datos sin filtrar

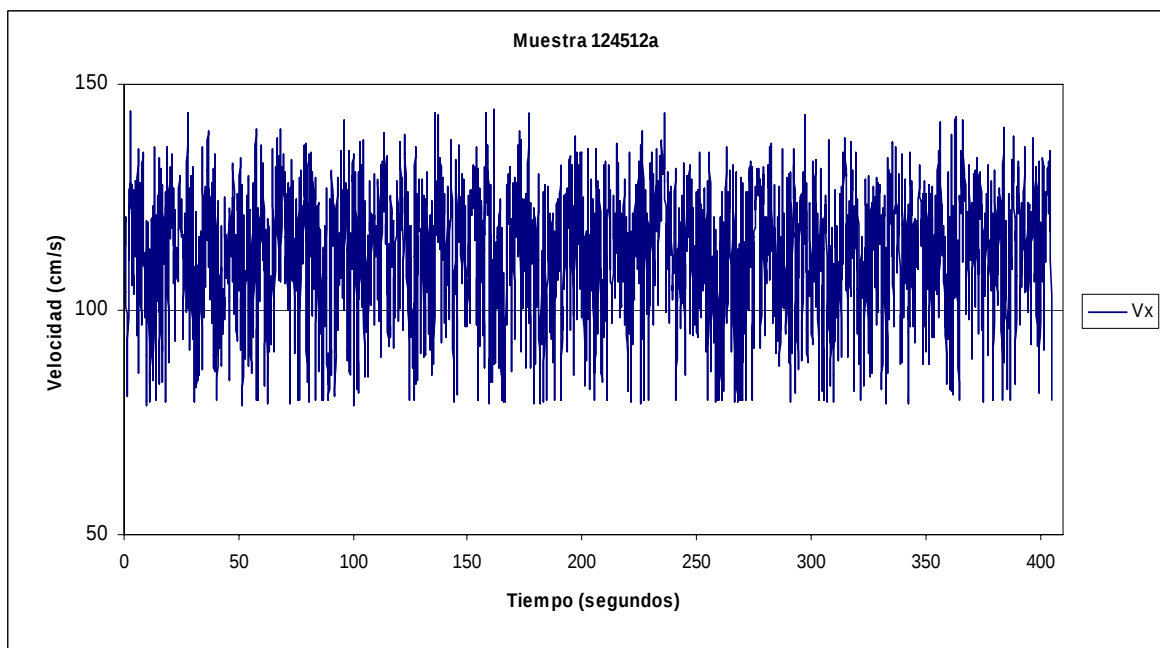


Figura 2. Datos después del primer filtrado

A continuación se presenta un resumen de las propiedades fundamentales de los resaltos libres y sumergidos analizadas en este estudio, comprobándose y proponiéndose nuevas formulaciones para ambos casos.

▪ Características de la longitud del resalto

- Resaltos hidráulicos libres

En la figura 3 se muestran nuestros resultados experimentales en los resaltos libres establecidos. Para contrastar estos resultados con otros ya afianzados se han incluido los resultados experimentales obtenidos por Ohtsu et al. (1990), representando las cantidades L_{rj}/y_2 , L_j/y_2 , L_t/y_2 medidas en función de F_1 para un Caso “a” (referido al inicio de un resalto libre bajo las condiciones del flujo potencial) y un Caso “b” (referido al inicio de un resalto libre bajo las condiciones del flujo totalmente desarrollado). También se ha incluido la ley teórica según el Bureau of Reclamation para resaltos libres:

$$L_j = 6,1 y_2; \text{ para } (6 < F_1 < 11)$$

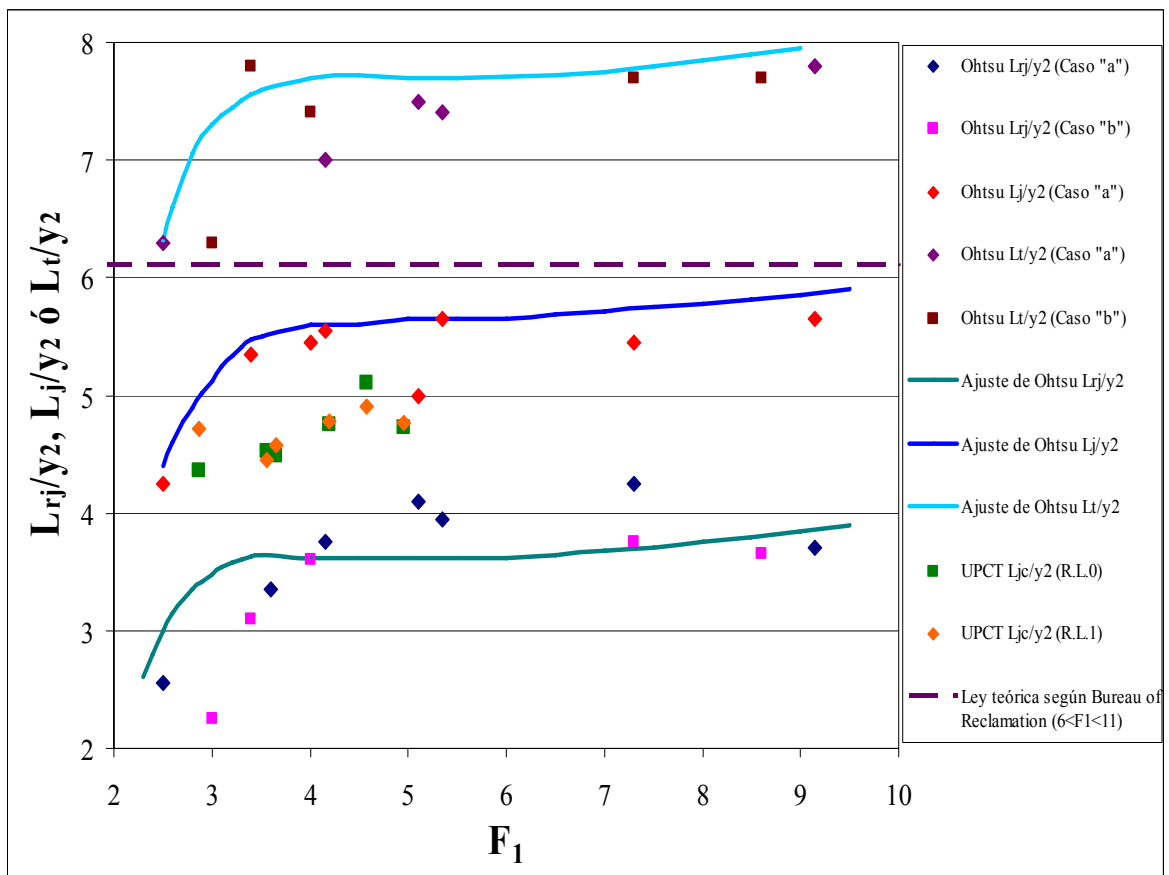


Fig. 3. Características de longitud del resalto libre

Se puede observar que la longitud de resalto medido en nuestro laboratorio se encuentra entre los valores L_{rj} y L_j establecidos por Ohtsu et al. (1990). Esto está totalmente de acuerdo con el criterio establecido para medir nuestra longitud de resalto hidráulico que se encuentra entre la longitud de rulo del resalto L_{rj} y la longitud del resalto L_j definida por otros autores.

En la figura 4 se presenta la relación $L_j / y_1 = f(F_1)$ junto con la ecuación propuesta por Silvester (1964):

$$L_j / y_1 = 9,75(F_1 - 1)^{1,01}$$

La curva de ajuste a nuestros datos experimentales es la siguiente:

$$L_{jc} / y_1 = 9,8(F_1 - 1)^{0,80}$$

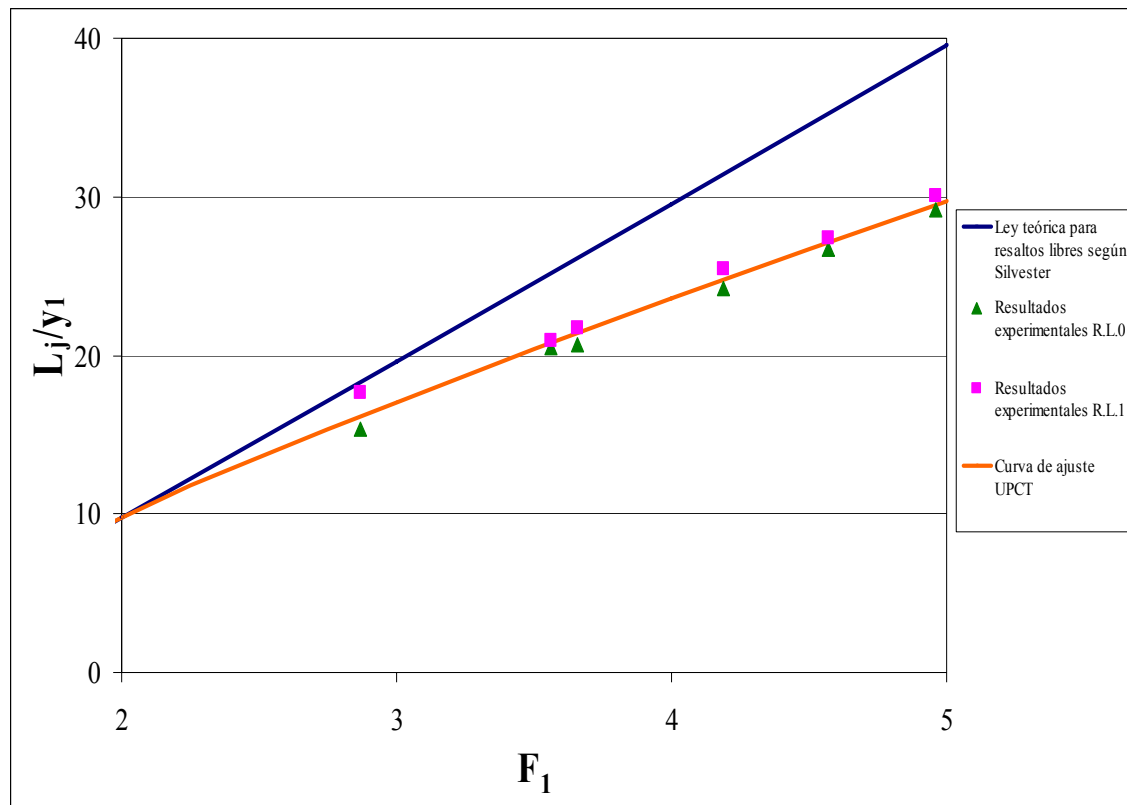


Fig. 4. Características de longitud del resalto libre

Se puede observar que para valores de Froude bajos los valores de L_{jc}/y_1 son similares, pero al aumentar el Froude nuestros valores experimentales son cada vez más pequeños

comparados con los de Silvester. Esto también es concordante con el criterio definido para medir la longitud de resalto hidráulico.

- Resaltos hidráulicos sumergidos

La figura 5 muestra la relación $L_{sj} / y_2 = f(y_4 / y_2)$ donde y_2 se obtiene mediante la ecuación de Bélanger de los calados conjugados:

$$y_2 = y_0 (\sqrt{8F_0^2 + 1} - 1) / 2$$

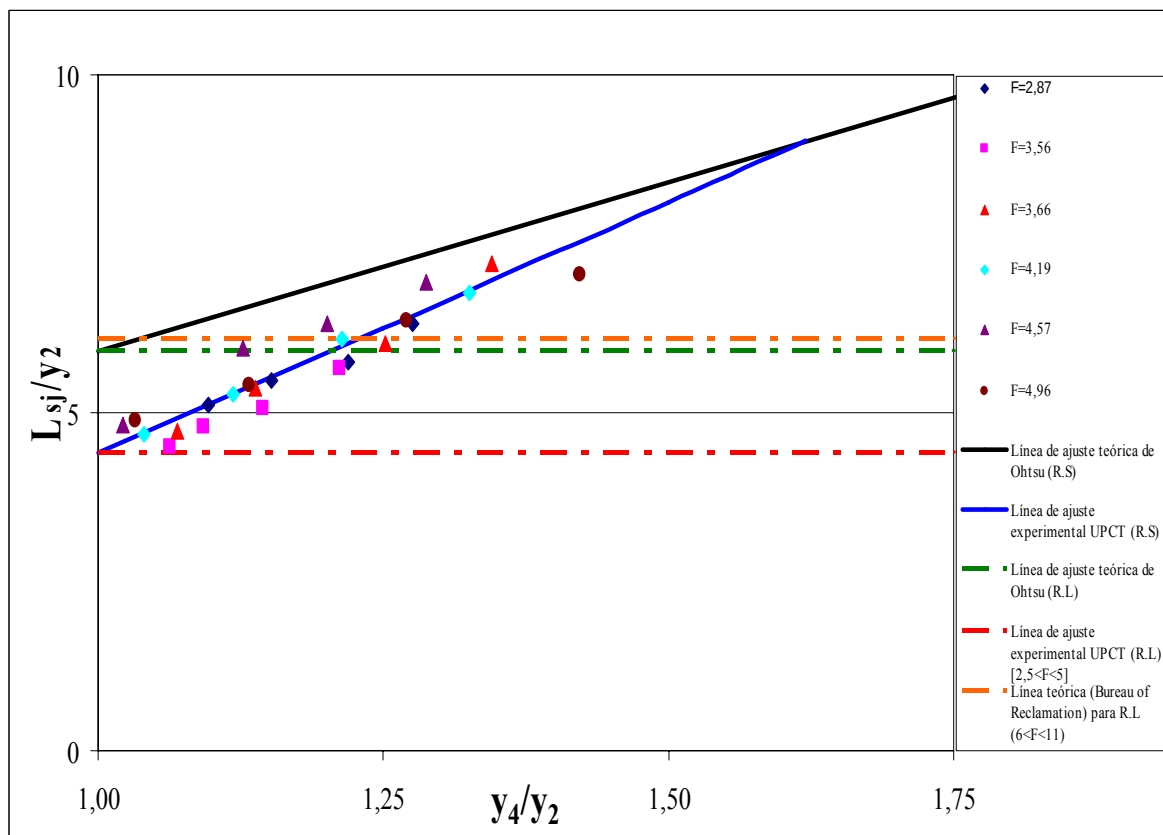


Fig. 5. Características de longitud de los resaltos libres y sumergidos

La línea de ajuste para resaltos sumergidos según los resultados experimentales obtenidos por Ohtsu et al. (1990) es la siguiente:

$$L_{sj} / y_2 = (5 * y_4 / y_2) + 0,9$$

Para el caso de resaltos libres ($y_4/y_2=1$) y según la ecuación anterior de Ohtsu et al. (1990):

$$L_{sj} = 5,9y_2$$

De esta manera, Ohtsu hace coincidir en su ajuste el coeficiente 5,9 para el caso de resalto libre, aunque este valor es válido únicamente para un rango de números de Froude de $[6 \leq F_I \leq 11]$, siendo este coeficiente más bajo, del orden 5,4 aproximadamente para los números de Froude $[2,5 \leq F_I \leq 5]$.

La curva de ajuste a nuestros resultados experimentales es la siguiente:

$$L_{sjc} / y_2 = (7,44 * y_4 / y_2) - 3,04$$

A partir de la ésta se puede establecer que, según nuestros resultados experimentales, para el caso del resalto libre ($y_4/y_2=1$), la relación viene expresada por:

$$L_{sjc} = 4,4y_2$$

De acuerdo con la última ecuación y criterio de definir la distancia L_{sjc} , se observa que la longitud L_{sjc} , es inferior que el correspondiente valor para resalto libre del Bureau of Reclamation, expresado anteriormente, $[L_j = 6,1 y_2]$. Esta diferencia es totalmente concordante con nuestro criterio de definir la longitud del resalto hidráulico, una longitud intermedia entre la longitud del rulo L_{rj} y la longitud L_j definida en las medidas del Bureau of Reclamation y otros autores.

Se observa también que hasta una sumergencia del orden de $y_4/y_2=1,20$ las longitudes de resalto sumergido, podrían ser inferiores a la longitud de resalto libre definido por el Bureau of Reclamation $[6 < F_I < 11]$; pero a partir de esta sumergencia, las longitudes de resalto sumergido superan los valores de definición de L_{sj} del Bureau of Reclamation y tienden a coincidir con la definición de longitud de resalto sumergido de Ohtsu.

▪ **Relación entre profundidades inicial y final**

- Resaltos hidráulicos libres

A continuación se representa en la figura 6 la ecuación de los calados conjugados de Bélanger:

$$\frac{y_2}{y_1} = (\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1) / 2$$

También se ha representado la ley teórica propuesta por Rajaratnam (1965), que demostró con diversos experimentos que el valor experimental de y_2/y_1 para un F_1 dado era algo más pequeño que el valor de y_2/y_1 dado por la ecuación de Bélanger debido a los efectos de la tensión de corte del fondo integrada S_f . Por tanto, la ecuación propuesta por Rajaratnam, en la que se incluye el término S_f es la siguiente:

$$(y_2 / y_1)^3 - [2F_1^2 + 1 - S_f](y_2 / y_1) + 2F_1^2 = 0$$

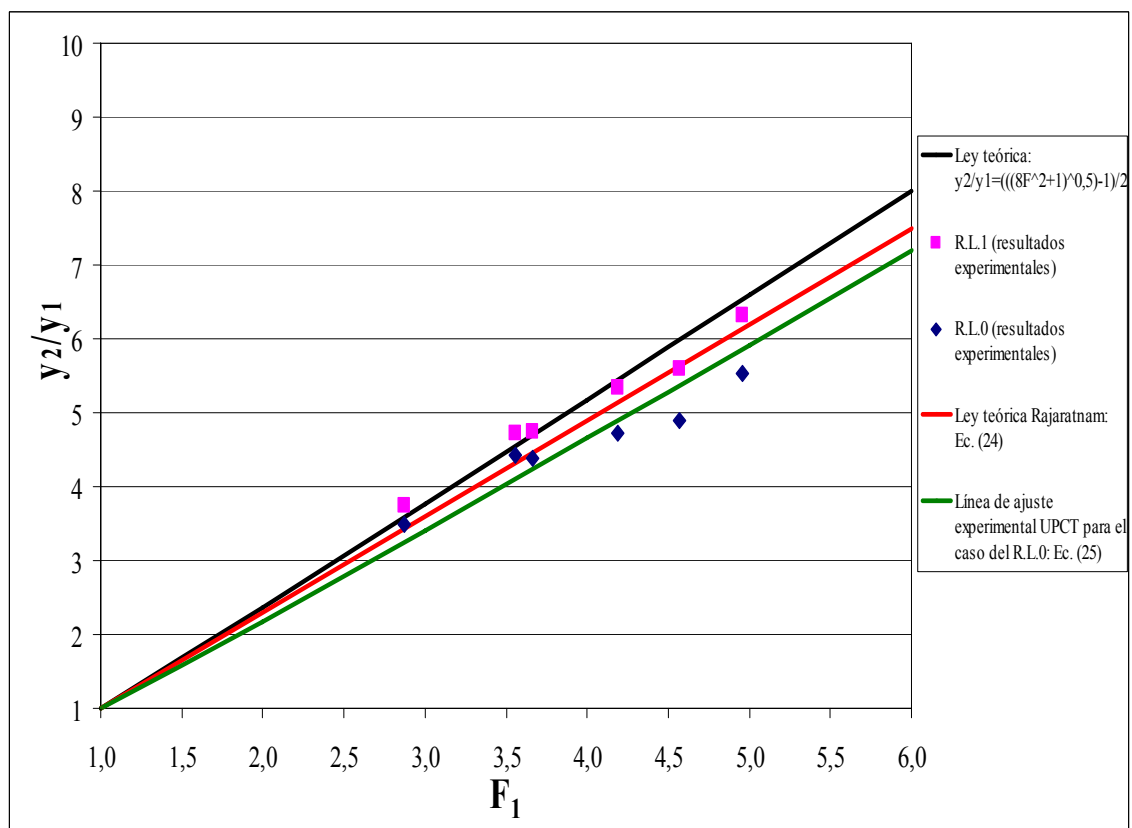


Fig. 6. Relación entre $\frac{y_2}{y_1}$ y F_1

Una vez contrastados nuestros valores experimentales con la ley teórica se observa que para el caso del R.L.1 al pie de la compuerta, existe un buen ajuste. En cambio para el R.L.0 a 14 cm de la compuerta, el valor y_2/y_1 para un F_1 dado es algo más pequeño que el valor dado por la ecuación de Bélanger. Por eso se propone una ley de ajuste para los resultados obtenidos en el R.L.0:

$$\frac{y_2}{y_1} = (\sqrt{6,5F_1^2 + 2,5} - 1) / 2$$

La relación de los calados conjugados es menor principalmente en el R.L.0, porque la energía disponible al inicio del resalto hidráulico se ha reducido por efecto de la pérdida de energía producida en la curva de remanso parcialmente desarrollada.

- Resaltos hidráulicos sumergidos

En la figura 7 se han representado nuestros resultados experimentales junto con la ecuación teórica obtenida al aplicar el criterio de cantidad de movimiento a un volumen de control:

$$\frac{y_3}{y_0} = \sqrt{\frac{2F_0^2 \left(1 - \left(\frac{y_4}{y_0}\right)\right)}{\left(\frac{y_4}{y_0}\right)} + \left(y_4 / y_0\right)^2}$$

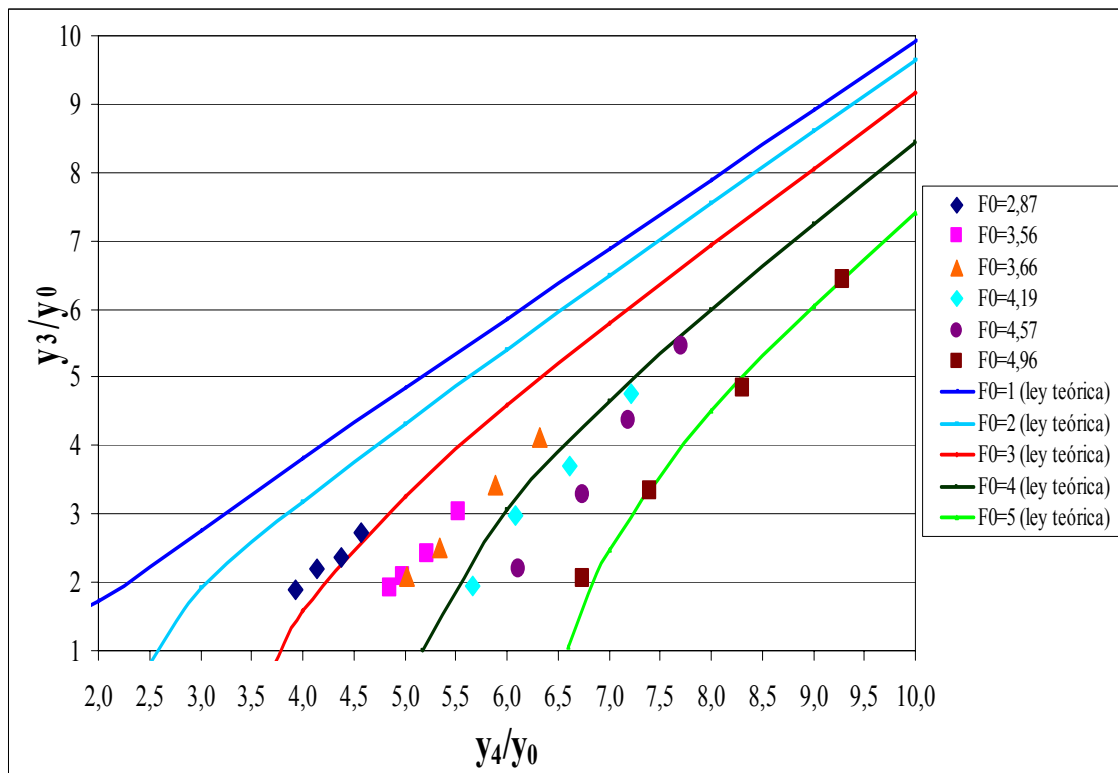


Fig. 7. Relación entre $\frac{y_3}{y_0}$ y $\frac{y_4}{y_0}$

Como se puede observar, existe una estrecha concordancia entre los valores teóricos y los valores experimentales obtenidos para nuestros ensayos.

A continuación se representa en la figura 8, la relación $y_4 / y_3 = f(y_3 / y_0)$, incluyendo como parámetro el número de Froude, y consiguiendo de esta forma que los datos colapsen en una única función:

$$(y_4 / y_3) = [1,1728(\frac{y_3}{y_0})^{-0,7661}]F_0$$

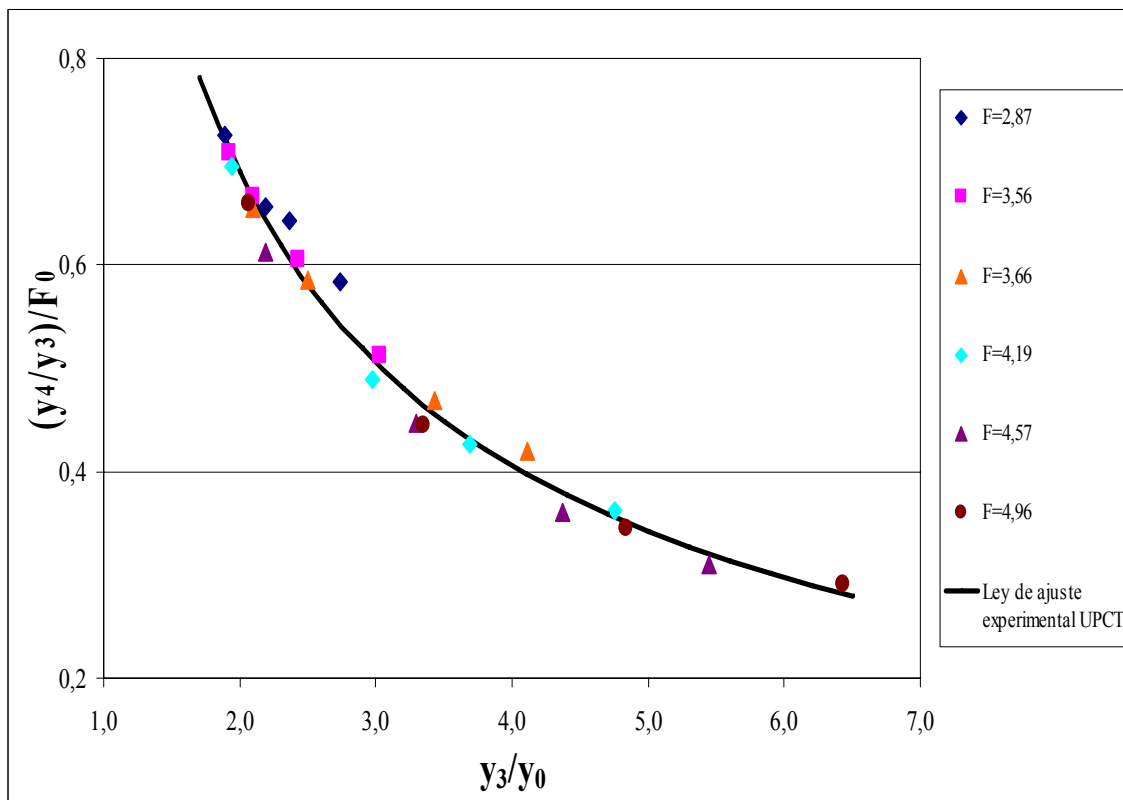


Fig. 8. Variación de $(y_4/y_3)/F_0$ con y_3/y_0

▪ Pérdida de energía en los resaltos hidráulicos

- Resaltos hidráulicos libres

La pérdida de energía H_L entre el inicio y el final del resalto libre puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$H_L = H_1 - H_2 = (v_1^2 / 2g + y_1) - (v_2^2 / 2g + y_2)$$

Utilizando la ecuación anterior junto con la ecuación de continuidad, la pérdida de energía relativa puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$\frac{H_L}{H_1} = \frac{2(1 - \frac{y_2}{y_1}) + (1 - \frac{1}{(y_2/y_1)^2})F_1^2}{2 + F_1^2}$$

La relación $H_L / H_1 = f(F_1)$ se muestra en la figura 9:

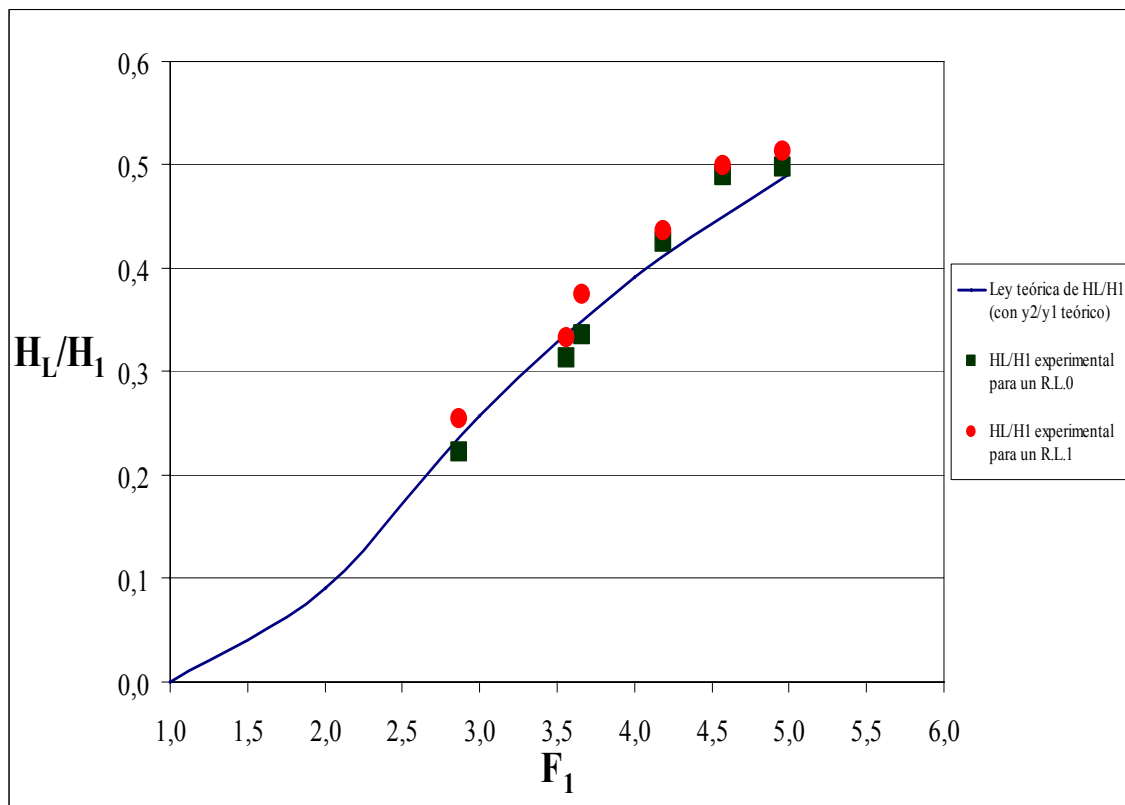


Fig. 9. Pérdida de energía relativa en resaltes libres

Como muestra la figura el resultado entre los valores teóricos y los experimentales es satisfactorio. Se ha de tener en cuenta que para el resalto libre formado al pie de la compuerta (R.L.1) existe una pérdida de energía relativa mayor que en el resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0), constituyendo parte de esta diferencia de energía relativa, la pérdida de energía relativa que se produce a través de la curva de remanso parcialmente desarrollada, hasta aproximadamente los 14 cm de longitud.

- Resaltos hidráulicos sumergidos

La pérdida de energía entre el inicio y el final del resalto sumergido puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$H_L = (v_0^2 / 2g + y_3) - (v_4^2 / 2g + y_4)$$

Utilizando la ecuación anterior junto con la ecuación de continuidad, la pérdida de energía relativa puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$\frac{H_L}{H_0} = \frac{2\left(\frac{y_3}{y_0} - \frac{y_4}{y_0}\right) + \left(1 - 1/\left(y_4/y_0\right)^2\right)F_0^2}{2(y_3/y_0) + F_0^2}$$

En la figura 10 se muestra la relación $H_L / H_0 = f(F_0, \frac{y_3}{y_0})$ para valores dados de y_3/y_0 :

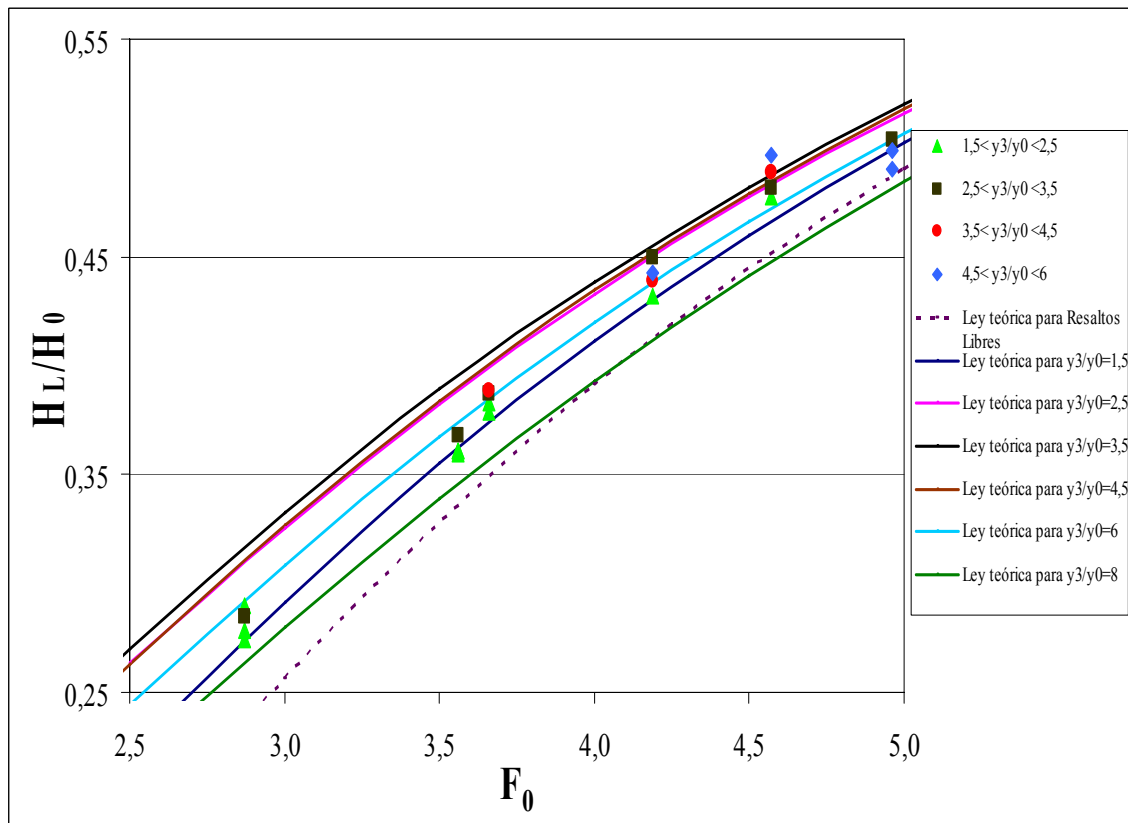


Fig. 10. Pérdida relativa de energía en resaltos sumergidos: $H_L / H_0 = f(F_0, \frac{y_3}{y_0})$

La línea punteada indica la pérdida de energía para el caso del resalto libre ($y_3/y_0=1$). La figura muestra que se han obtenido unos buenos resultados experimentales y aclara que es posible hacer un uso efectivo del resalto sumergido, como disipador de energía, aproximadamente cuando $1 < \frac{y_3}{y_0} < 7$ y $2 \leq F_0 \leq 4,1$, ya que la pérdida de energía en un resalto sumergido para estas condiciones de sumergencia es mayor que la correspondiente a un resalto libre.

La relación $H_L / H_0 = f(\frac{y_3}{y_0}, F_0)$ para valores dados de F_0 , junto con la ecuación anterior, se muestra en la figura 11:

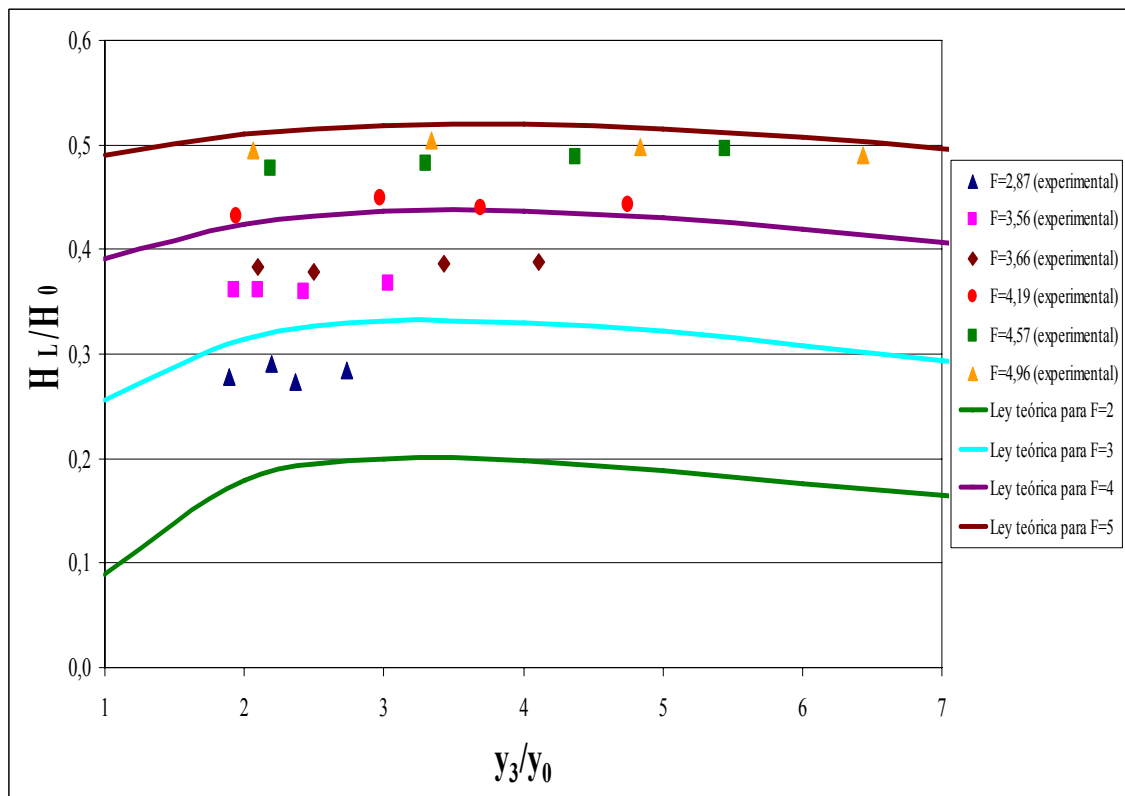


Fig. 11. Pérdida de energía relativa en resaltos sumergidos: $H_L / H_0 = f(\frac{y_3}{y_0}, F_0)$

En esta figura se observa claramente que para valores menores de F_0 , la disipación de energía relativa es inferior que para F_0 mayores.

También se ha evaluado la disipación de energía en resaltos libres y sumergidos, utilizando valores de velocidad media, mediante la siguiente expresión clásica:

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)}$$

Las siguientes expresiones se utilizaron para calcular la disipación de energía:

$$\% \text{ de disipación de energía} = \left(1 - \frac{H_2}{H_1}\right) \times 100$$

para el caso de los resaltos libres, donde : $H_1 = (v_1^2 / 2g + y_1)$ y $H_2 = (v_2^2 / 2g + y_2)$

$$\% \text{ de disipación de energía} = \left(1 - \frac{H_4}{H_0}\right) \times 100$$

para el caso de los resaltos sumergidos, donde: $H_0 = (v_0^2 / 2g + y_3)$ y $H_4 = (v_4^2 / 2g + y_4)$

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 12 y 13:

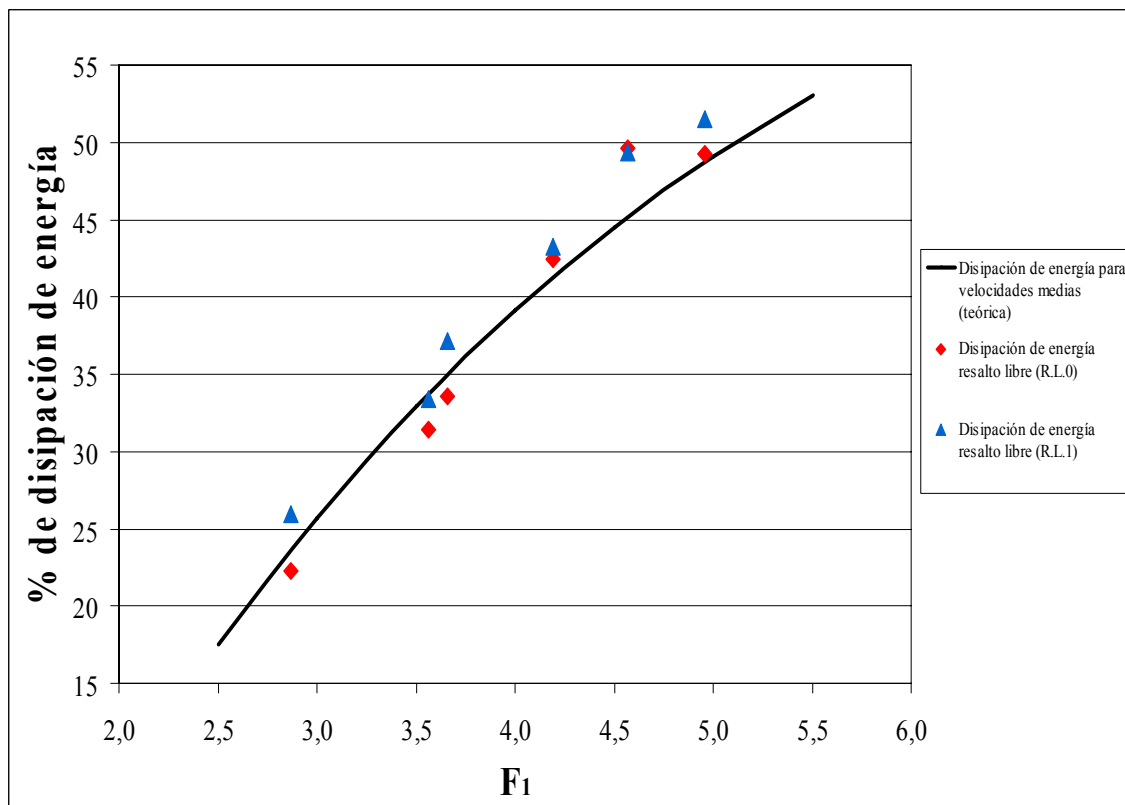


Fig. 12. Disipación de energía en resaltos libres para velocidades medias

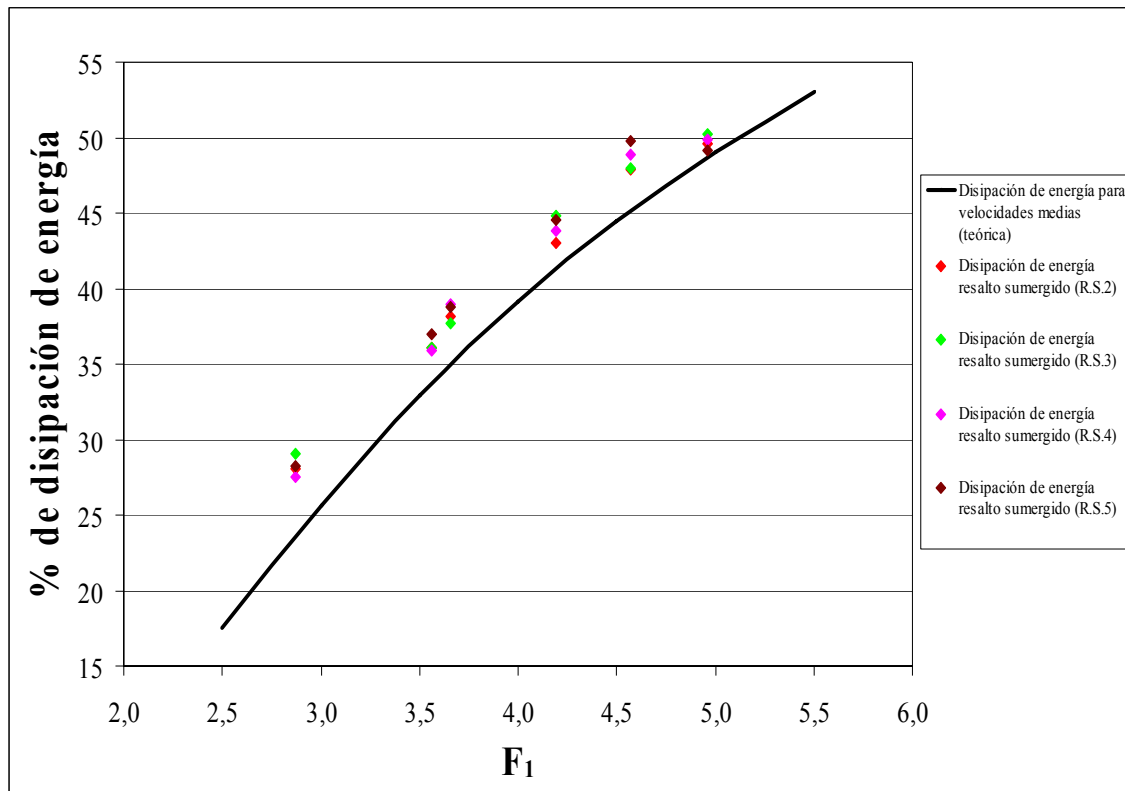


Fig. 13. Disipación de energía en resaltos sumergidos para velocidades medias

Como se observa en las figuras 12 y 13 existe un buen acorde entre las disipaciones de energía para velocidades medias en los resaltos libres y sumergidos y los correspondientes valores teóricos. Es importante tener en cuenta que para el resalto libre formado al pie de la compuerta (R.L.1) existe una pérdida de energía relativa mayor que en el resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0) (Fig. 12), constituyendo parte de esta diferencia de energía relativa, la pérdida de energía relativa que se produce a través de la curva de remanso parcialmente desarrollada, hasta aproximadamente los 14 cm de longitud. También es relevante indicar que comparando ambas figuras se observa que la disipación de energía para resaltos sumergidos es ligeramente superior al caso de los resaltos libres.

▪ Longitud del resalto hidráulico

- Resaltos hidráulicos libres

En la figura 14 se representan nuestros resultados experimentales junto con las siguientes ecuaciones:

$$\log_{10} \frac{L_{rj}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,40; \quad \text{para } (2,3 \leq F_1 \leq 9,5)$$

$$\log_{10} \frac{L_j}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,58; \quad \text{para } (2,3 \leq F_1 \leq 9,5) \text{ y } (0,14 \leq H_L/H_1 \leq 0,71)$$

$$\log_{10} \frac{L_t}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,72; \quad \text{para } (2,3 \leq F_1 \leq 9,5)$$

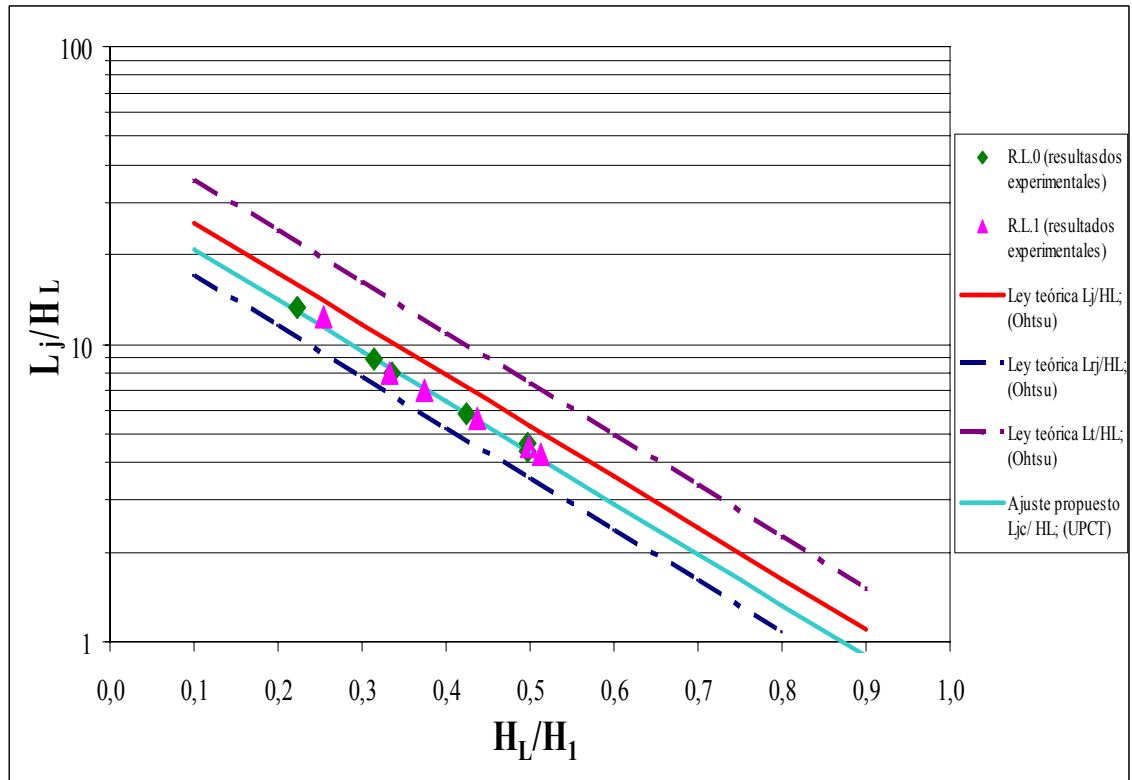


Fig. 14. Relación entre L_j/H_L y H_L/H_1

Comparando las leyes teóricas propuestas por Ohtsu et al. con los resultados experimentales se observa los valores que se han considerado para ambos resaltos ensayados se corresponden con medidas de longitud de resalto L_{jc} y éstos se encuentran entre la ley teórica para la longitud de resalto L_j y la ley teórica para la longitud del rulo L_{rj} , lo que nos indica que la longitud L_{jc} considerada cumple el criterio establecido. Se propone a continuación una ley de ajuste a nuestros resultados experimentales:

$$\log_{10} \frac{L_{jc}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,49; \quad \text{para } (2,87 \leq F_1 \leq 4,96)$$

- Resaltos hidráulicos sumergidos

En la figura 15 se representan nuestros resultados experimentales junto con las siguientes ecuaciones:

$$\log_{10} \frac{L_{sj}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_0} + 1,58; \text{ para } (2,3 \leq F_0 \leq 10) \text{ y } (1 \leq y_3/y_0 \leq 20)$$

$$\log_{10} \frac{L_{rsj}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_0} + 1,40$$

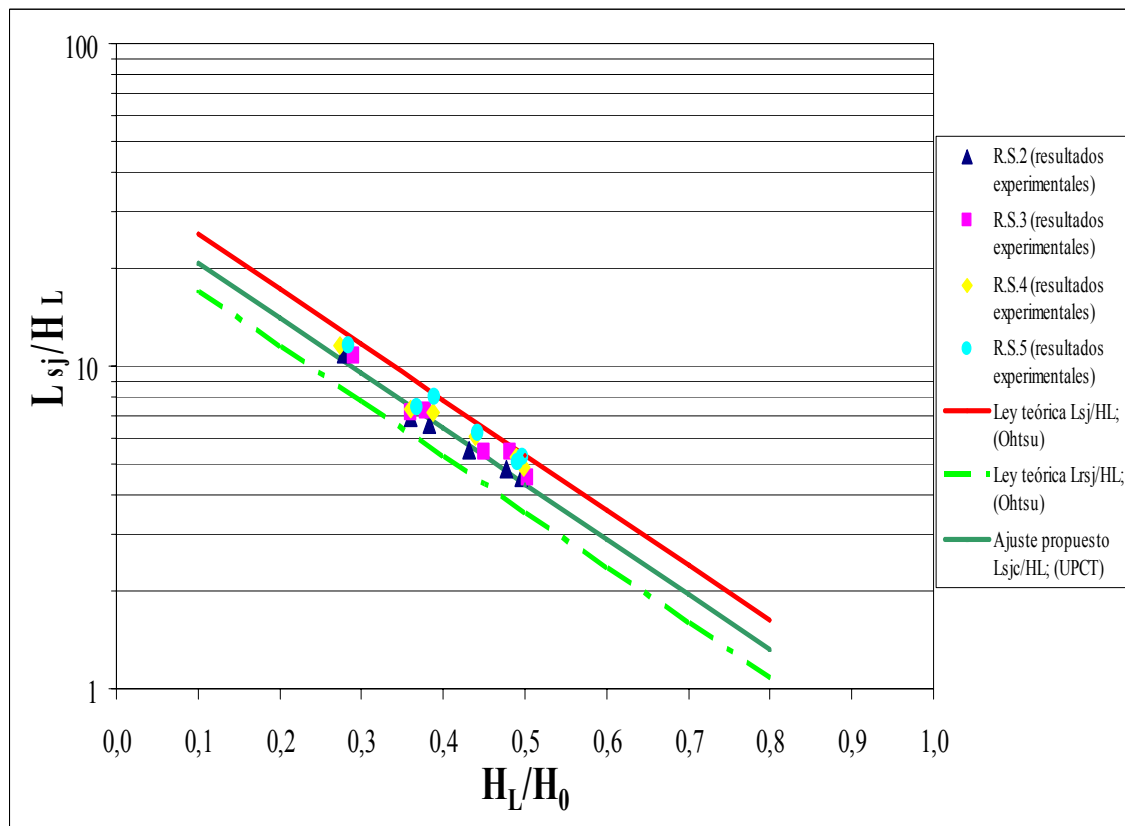


Fig. 15. Relación entre L_{sj}/H_L y H_L/H_0 en resaltos sumergidos

Igual que para el caso de los resaltos libres, los valores considerados para los resaltos sumergidos son los correspondientes a las medidas de longitud de resalto L_{sjc} , y éstos se encuentran, entre la ley teórica para la longitud de resalto L_{sj} y la ley teórica para la longitud del rulo L_{rsj} , verificándose de nuevo que se cumple el criterio de longitud de resalto seguido en este trabajo. Se propone a continuación una ley que se ajusta a nuestros resultados experimentales:

$$\log_{10} \frac{L_{sjc}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_0} + 1,49 ; \quad \text{para } (2,87 \leq F_0 \leq 4,96)$$

Rao y Rajaratnam (1963) también proponen una ecuación experimental para L_{sj} :

$$L_{sj} / y_2 = 4,9S + 6,1$$

$$\text{donde } S = (y_4 - y_2) / y_2 = y_4 / y_2 - 1$$

En la figura 16 se muestra una comparación de la ecuación anterior con nuestros datos experimentales:

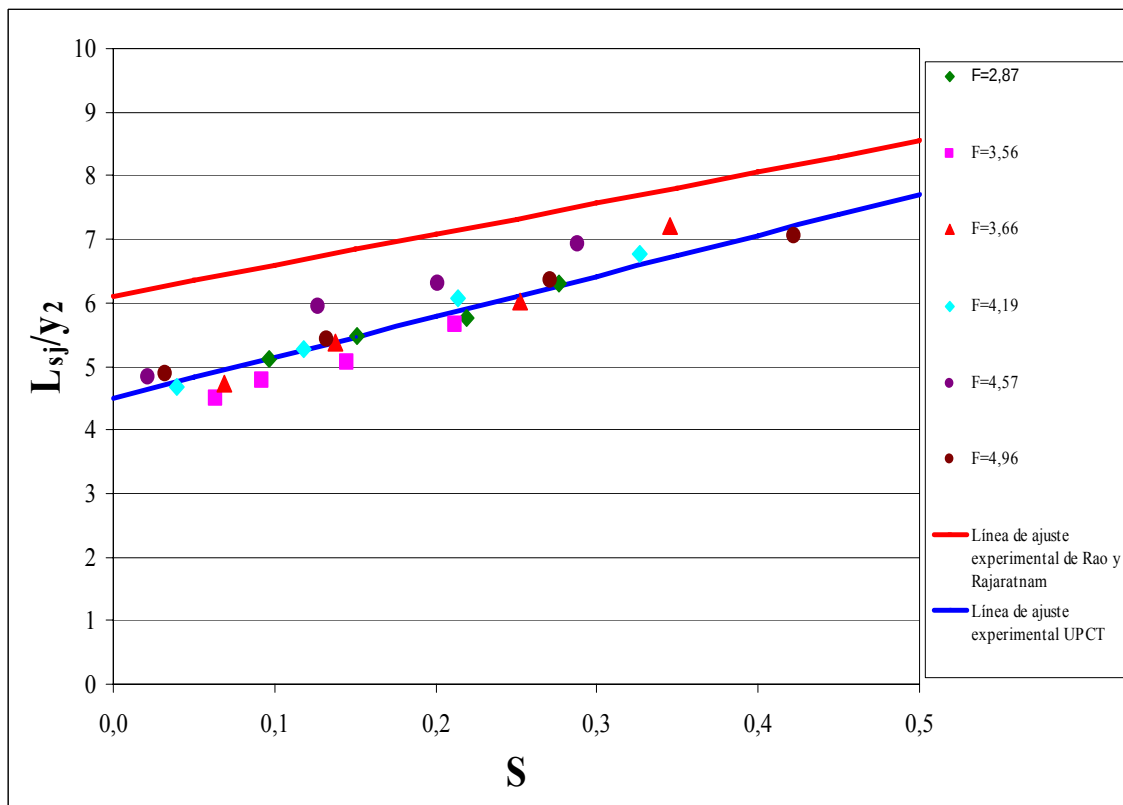


Fig. 16. Representación de la Ecuación de Rao y Rajaratnam

La línea de ajuste propuesta según nuestros resultados es la siguiente:

$$L_{sjc} / y_2 = 6,4S + 4,5$$

Como se observa la línea de ajuste experimental está por debajo de la teórica, totalmente consistente con el criterio de longitud de resalto adoptado, aunque la pendiente de la recta

de nuestro ajuste, tiende asintóticamente a encontrarse con la recta de ajuste de Rao y Rajaratnam para valores altos de S .

La relación $L_j / H_L = f(F_1)$ para resaltos libres se muestra en la figura 17:

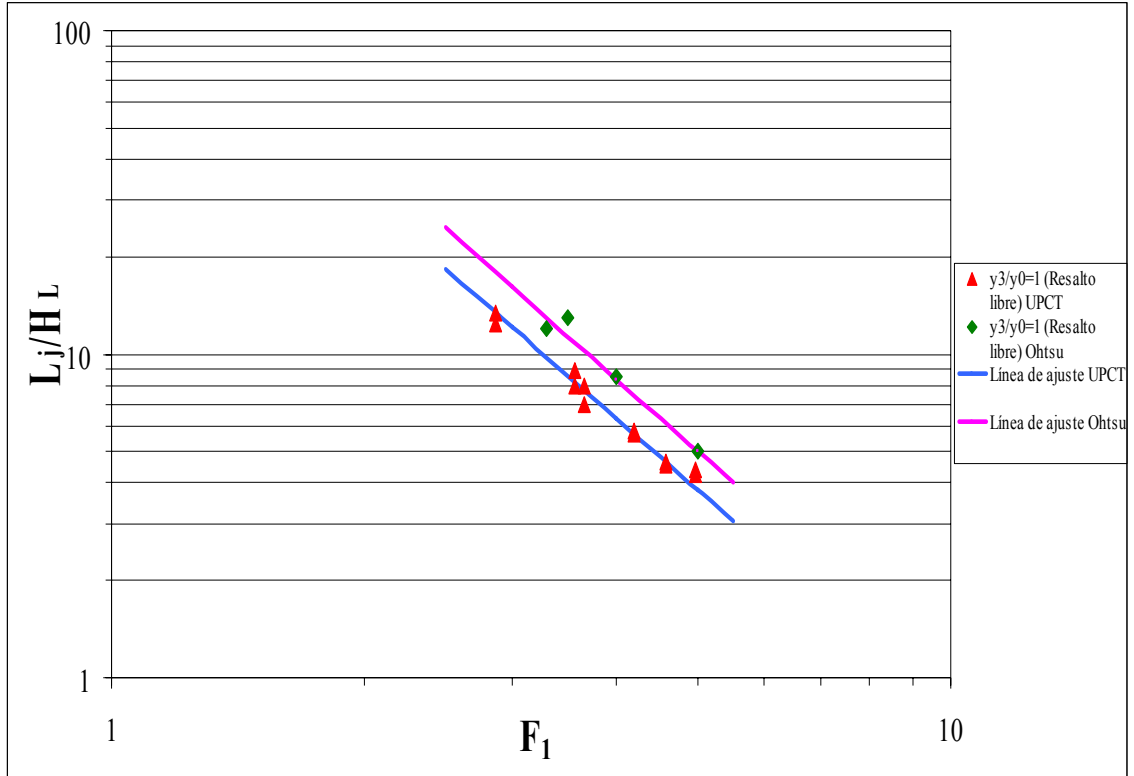


Fig. 17. Relación: $L_j / H_L = f(F_1)$

La ley de ajuste para nuestros resultados experimentales es la siguiente:

$$L_{jc} / H_L = 145,362(F_1)^{-2,264}$$

Y la ley de ajuste obtenida para los resultados experimentales de Ohtsu:

$$L_j / H_L = 202,305(F_1)^{-2,299}$$

Como se observa, los valores de L_j/H_L obtenidos por Ohtsu son algo mayores que nuestros valores experimentales, pero ambas leyes de ajuste siguen una misma tendencia.

La relación $L_{sj} / H_L = f(F_0)$ para resaltos sumergidos se muestra en la figura 18:

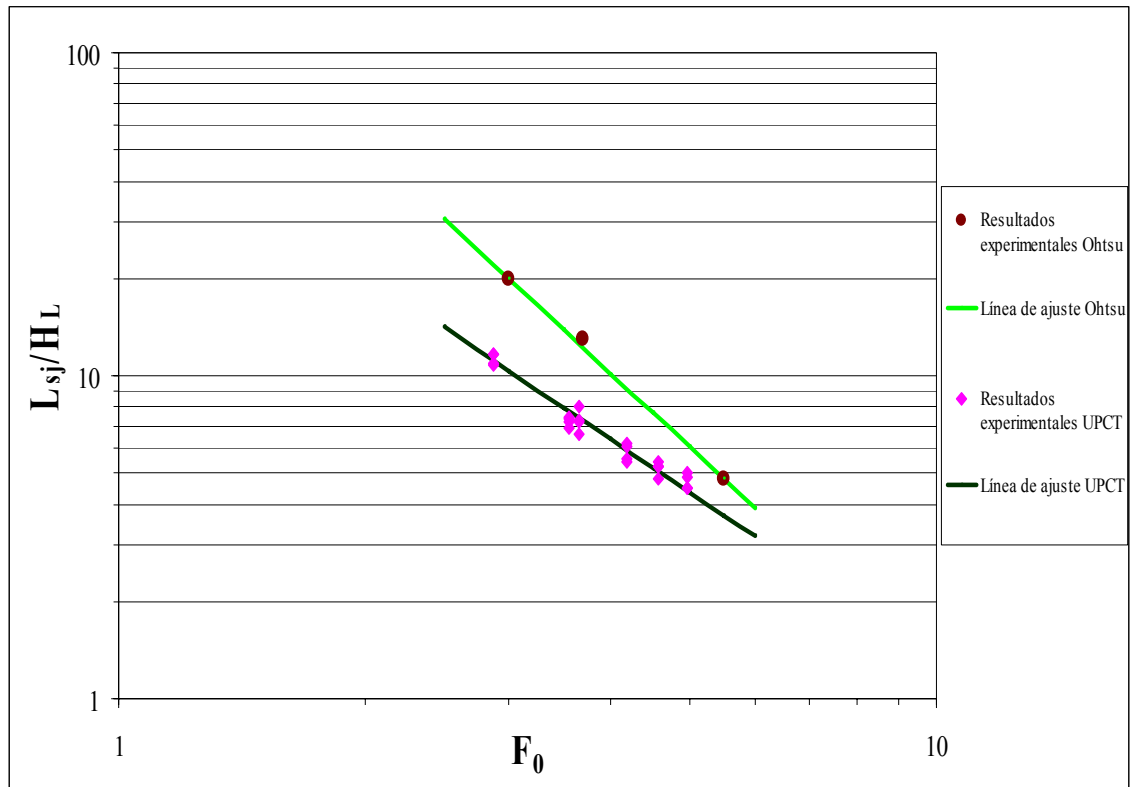


Fig. 18. Relación: $L_{sj} / H_L = f(F_0)$

La ley de ajuste para nuestros resultados experimentales es la siguiente:

$$L_{sjc} / H_L = 67,15(F_0)^{-1,70}$$

Y la ley de ajuste para los resultados experimentales obtenidos por Ohtsu:

$$L_{sj} / H_L = 265,566(F_0)^{-2,354}$$

Como se ve en la figura, los valores de L_{sj}/H_L obtenidos por Ohtsu son algo mayores que los obtenidos en nuestros experimentos.

▪ Campos de velocidad media en los resaltos hidráulicos

- Resaltos hidráulicos libres

Examinando la distribución experimental de velocidades medias en varias secciones, se encuentra una distribución semejante de velocidades independiente de F_l y x dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$:

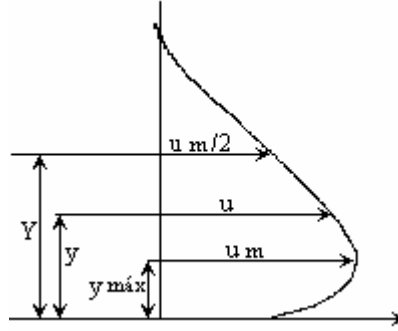


Fig. 19. Definición esquemática de Y y $y_{máx}$

Esta distribución de velocidad se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left\{ \frac{1}{k} \left(\frac{y}{Y} \right) \right\}^{1/n}, \quad 0 \leq \frac{y}{Y} \leq k$$

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1,177}{1-k} \left(\frac{y}{Y} - k \right) \right\}^2 \right], \quad k \leq \frac{y}{Y} \leq 1,5$$

donde $k = y_{máx} / Y$

A continuación se representan en la figura 20 las leyes teóricas obtenidas experimentalmente por Ohtsu et al. para el Caso “a” (similar a nuestro R.L.1) y para el Caso “b” (similar a nuestro R.L.0). En la misma figura se representan también nuestros resultados experimentales para resaltos libres y sumergidos y para todos los valores de Froude:

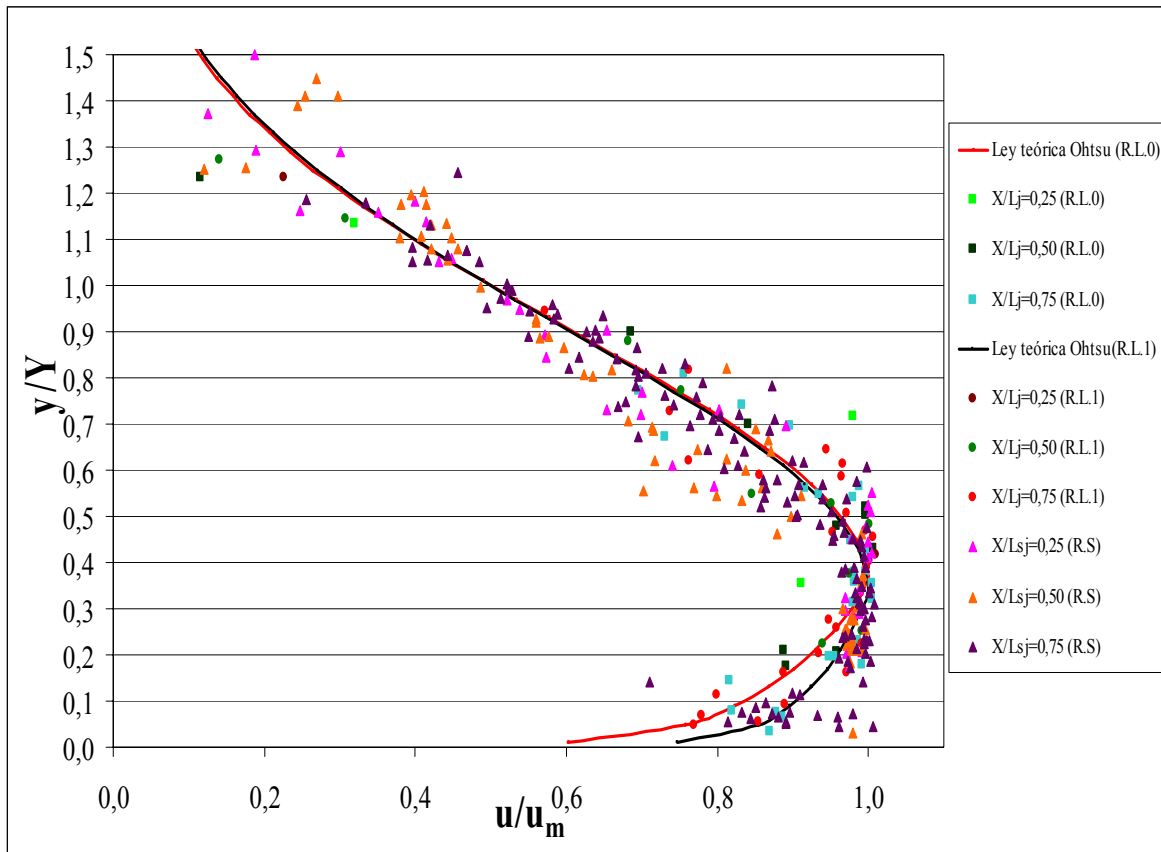


Fig. 20. Distribución de velocidades medias para resaltos libres y sumergidos

En la figura se observa que se obtiene un buen ajuste teórico-experimental, teniendo en cuenta que los valores más dispersos se dan para los resaltos sumergidos. Por eso, se propone una ley universal que mantiene la estructura de la ley propuesta por Ohtsu pero con valores distintos de k y n para obtener un mejor ajuste, tanto para resaltos libres como sumergidos. Los resultados se muestran en la figura 21:

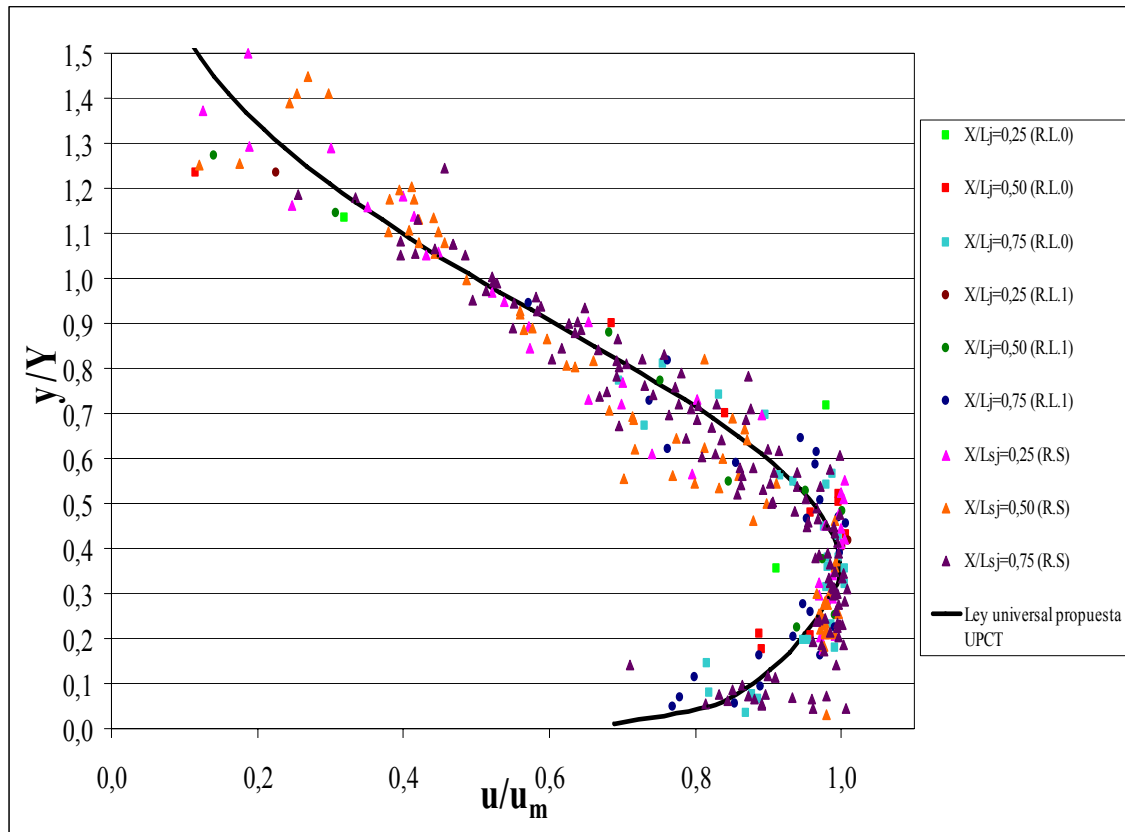


Fig. 21. Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos

A continuación se representan los resultados para los resaltos libres en la figura 22, y los resultados para los resaltos sumergidos en la figura 23, con el fin de proponer unos valores distintos de k y n para cada uno de los casos y así obtener un mejor ajuste para cada tipo de resalto.

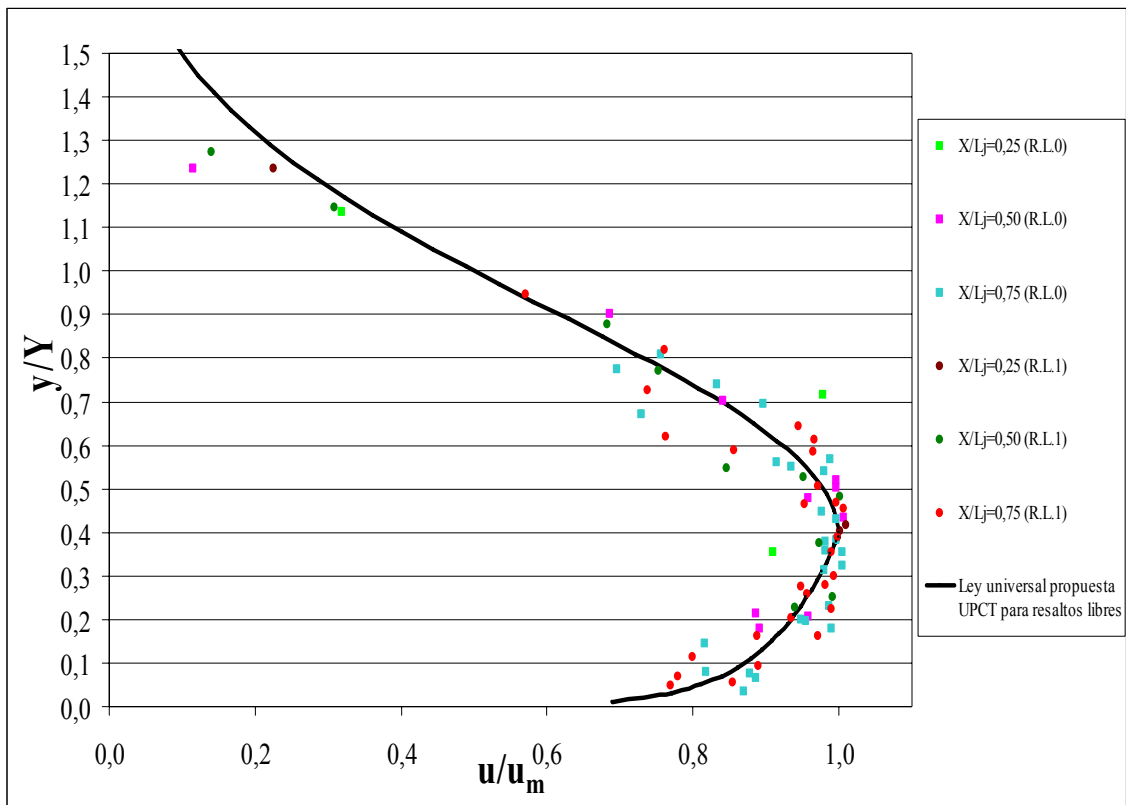


Fig. 22. Distribución de velocidades para los resaltos libres

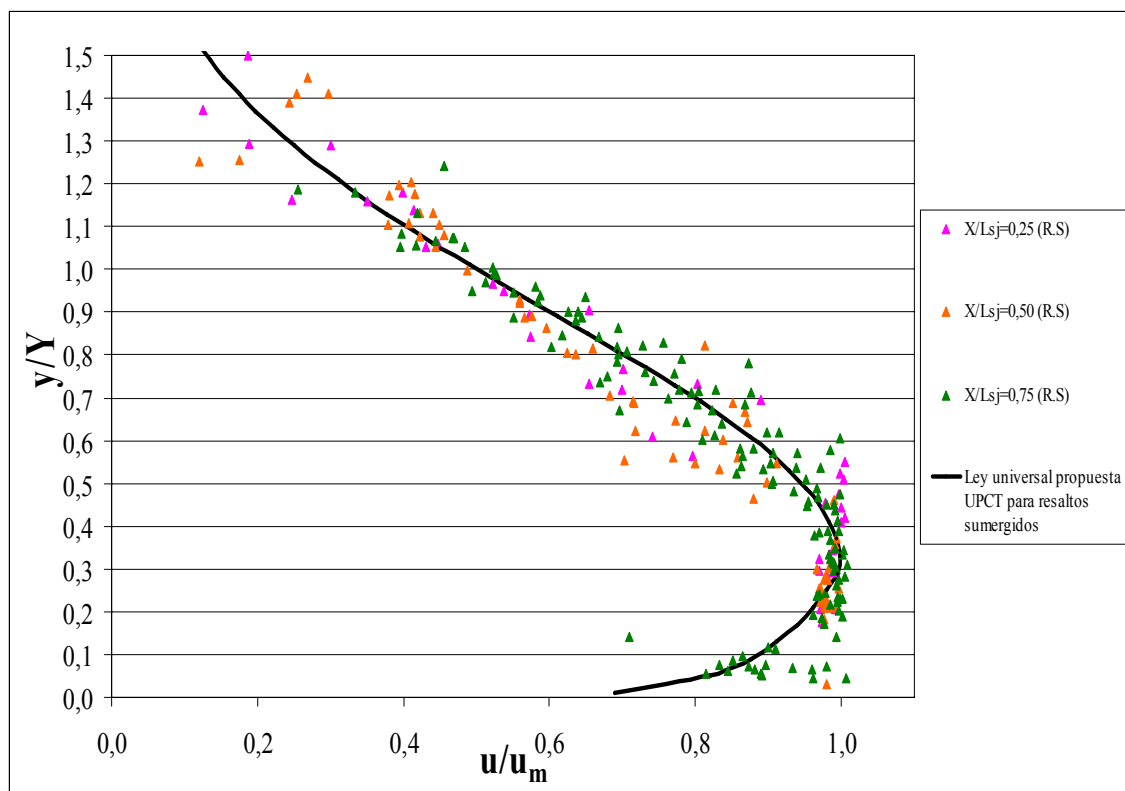


Fig. 23. Distribución de velocidades para los resaltos sumergidos

En la siguiente tabla se recogen todos los coeficientes y exponentes obtenidos en los diferentes ajustes realizados y correspondientes a las expresiones que describen la ley de distribución de velocidad:

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left\{ \frac{1}{k} \left(\frac{y}{Y} \right) \right\}^{1/n}, \quad 0 \leq \frac{y}{Y} \leq k$$

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1,177}{1-k} \left(\frac{y}{Y} - k \right) \right\}^2 \right], \quad k \leq \frac{y}{Y} \leq 1,5$$

La tabla también indica las condiciones en las que se utiliza cada ajuste propuesto:

Distribución de Velocidad	<i>k</i>	<i>n</i>
Resalto libre y sumergido UPCT $2,5 \leq F_r \leq 5$ $0,25 \leq x/L_{jc} \leq 0,75$ $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$	0,342	9,5
Resalto libre UPCT $2,5 \leq F_1 \leq 5$ $0,25 \leq x/L_{jc} \leq 0,75$	0,393	9,9
Resalto sumergido UPCT $2,5 \leq F_0 \leq 5$ $0,25 \leq x/L_{sjc} \leq 0,75$	0,302	9,15
Resalto libre (caso “a”) Ohsu et al. $5 \leq F_1 \leq 7,3$ $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$	0,333	12
Resalto libre (caso “b”) Ohsu et al. $5,3 \leq F_1 \leq 7,3$ $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$	0,351	7

Tabla 2. Coeficientes correspondientes a los ajustes realizados en la distribución de velocidades

- Resaltos hidráulicos sumergidos

Cuando la relación $\frac{y_4}{y_0}$ de los resaltos sumergidos es grande, ($\frac{y_4}{y_0} > 20$), se puede aplicar la siguiente ecuación para la distribución de velocidades:

$$\bar{u} / u_m = 1,48\eta^{1/7} [1 - \text{erf}(0,68\eta)]$$

donde:

$$\eta = \frac{y}{Y}, \text{ siendo } Y \text{ la distancia perpendicular a la solera, en la que } \bar{u} = \frac{u_m}{2}$$

erf es la función error

En cambio, si $y_4/y_0 \rightarrow y_2/y_0$ se aplica la ecuación del resalto libre para la distribución de velocidades, como ocurre en el caso de nuestros resaltos sumergidos, donde $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$. Por eso, los resultados experimentales para los resaltos sumergidos se han representado junto con los de los resaltos libres en el apartado anterior.

3. LABOR EXPERIMENTAL Y FILTRADO DE DATOS

3.1. Trabajo de laboratorio

3.1.1. Configuración de la sonda

Para la medida de velocidades se utilizó el Velocímetro Acústico Doppler de SonTek/YSI (ADV) que es un método de medición Doppler en 2D de un único punto, con alta resolución.

Los principales parámetros de calibración de la sonda ya establecidos en trabajos anteriores [Márquez (2005)], son los siguientes:

- Rango de velocidad: se establece con el objetivo de escoger el menor rango de velocidad posible y así obtener unos resultados de mejor calidad. El valor establecido para este parámetro es de ± 100 cm/seg.
- Frecuencia de muestreo: se establece con el fin de obtener unas series de velocidad más homogéneas y unos valores de correlación y de SNR mejores. El valor de frecuencia utilizado en la adquisición de datos es de 5 Hz.
- Salinidad: otro parámetro de entrada, fundamental para el correcto funcionamiento de la sonda es la salinidad. En nuestro caso se dispone de agua potable en el canal, pero para llevar a cabo las mediciones de velocidad es necesario añadir un aditivo que proporciona el propio fabricante, con lo que se altera la salinidad del agua potable. El valor estimado fue de 2 ppm.

En la siguiente fotografía se muestra la situación de trabajo de la sonda en nuestro canal:



Fotografía 1. Situación de la sonda en el canal

3.1.2. Rango de caudales de trabajo

Se realizó un aforo volumétrico para determinar con exactitud el caudal trasegado por nuestro canal con el fin de obtener unos resultados fiables y comparables con los resultados teóricos esperados.

Nuestros caudales de trabajo son 12,25; 10; 8; 6; 5 y 4 m³/h según la lectura del caudalímetro, pero a estos valores se les aplica directamente el dato obtenido del aforo volumétrico para obtener el caudal real, siendo el siguiente para cada caso:

Q_{caudalímetro} (m³/h)	Q_{real} (m³/h)	Q_{real} (l/s)
12,25	13,6	3,78
10	11,27	3,13
8	9,32	2,59
6	7,52	2,09
5	6,54	1,82
4	5,44	1,51

Tabla 1. Corrección de caudales

3.1.3. Situación actual del canal

La situación actual que presenta el canal se muestra en la siguiente fotografía:



Fotografía 2. Situación actual del canal

En ella se observa que la primera mitad del canal situada en la parte izquierda de la fotografía está perfectamente nivelada y la pendiente del canal es nula en ese tramo. Esto se consigue ajustando el tornillo regulador de altura incorporado en el soporte del extremo izquierdo del canal hasta conseguir que el canal quede nivelado. La otra mitad del canal situada en la parte derecha de la fotografía no está totalmente nivelada porque la estructura del canal no lo permite al no disponer en este extremo de un tornillo regulador de altura. Dado el resultado de la nivelación del canal la parte útil considerada para nuestros ensayos es la primera mitad situada a la izquierda de la fotografía.

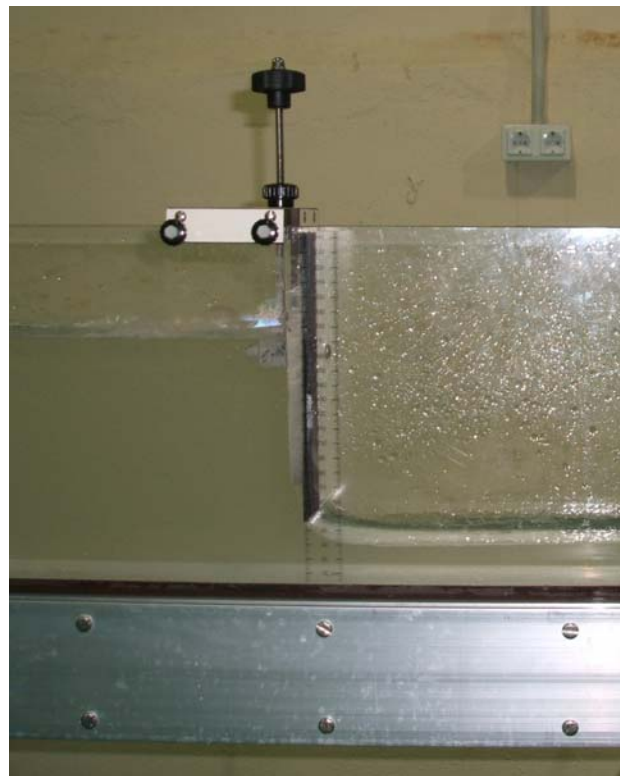
A continuación se muestran los elementos que actualmente quedan incorporados en nuestro canal [Márquez (2005)]:

- Suplemento del depósito tranquilizador: la elevación de la altura del depósito tranquilizador permite que el agua no rebase la altura del mismo.



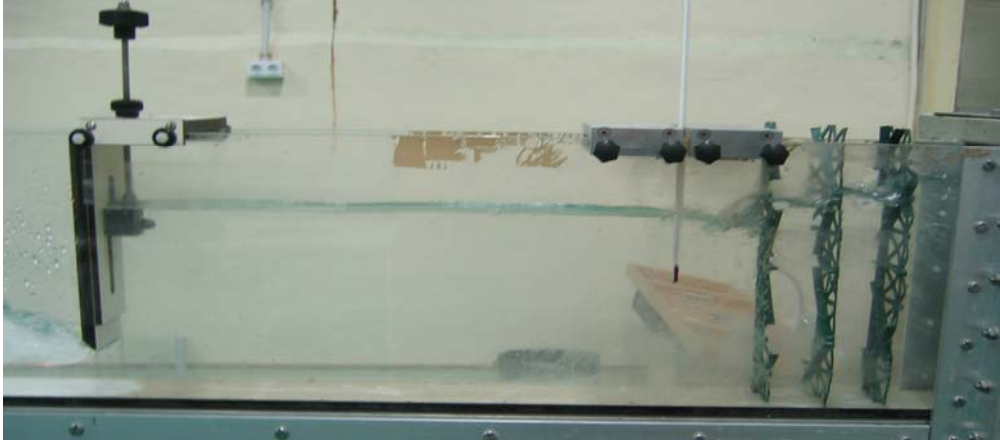
Fotografía 3. Suplemento del depósito tranquilizador

- Situación de la compuerta: esta colocación de la compuerta nos permite realizar mediciones aguas abajo de la compuerta e inmediatamente detrás de ella con el fin de caracterizar el comportamiento de los resaltos hidráulicos en ese punto. La distancia desde el depósito tranquilizador de salida del agua hasta la compuerta es de 73 cm

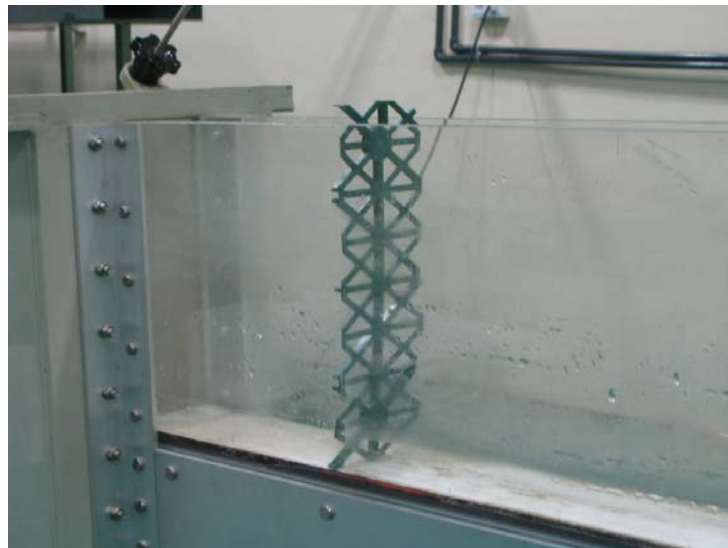


Fotografía 4. Situación actual de la compuerta

- Tranquilizadores de flujo: aguas arriba de la compuerta y a la salida del depósito tranquilizador se encuentran los tranquilizadores de flujo cuyo objetivo es facilitar que el flujo llegue tranquilizado aguas arriba de la compuerta y evitar así las oscilaciones que se puedan producir en ese punto. Al final del canal hay otro tranquilizador de flujo cuyo fin es que no se produzcan ondas de retorno que influyan a los resaltos.



Fotografía 5. Tranquilizadores de flujo aguas arriba de la compuerta



Fotografía 6. Tranquilizador de flujo al final del canal

3.2. Ensayos de laboratorio

El proceso de medición de velocidades seguido para cada uno de los caudales (3,78; 3,13; 2,59; 2,09; 1,82 y 1,51 l/s), es el siguiente:

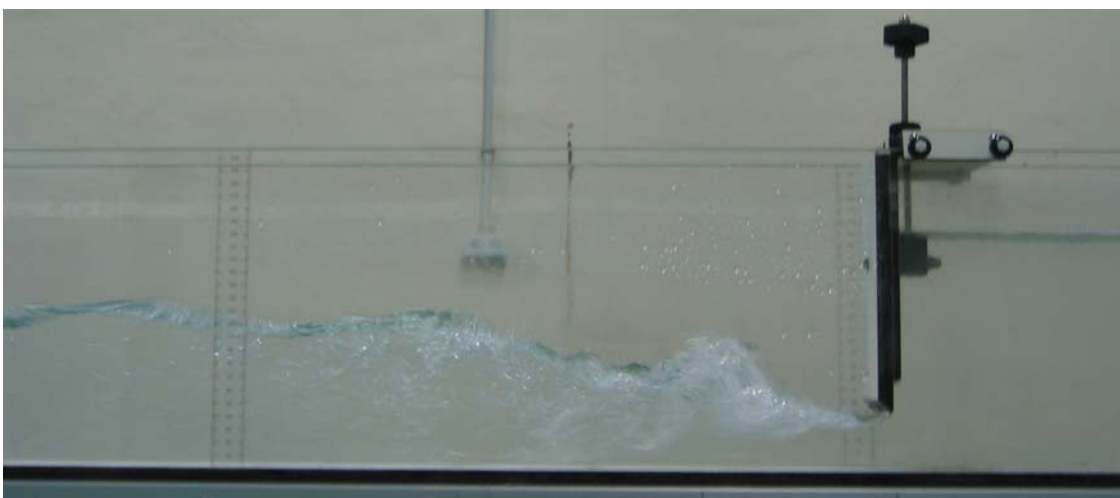
- Se han medido seis resaltos los cuales se han ido sumergiendo en función de la profundidad aguas arriba de la compuerta, siendo los siguientes:

(a) Un resalto hidráulico libre estabilizado a catorce centímetros de la compuerta (R.L.0) (Fotografía 7):



Fotografía 7. Resalto hidráulico libre estabilizado a 14 cm de la compuerta

(b) Un resalto hidráulico libre formado al pie de la compuerta (R.L.1) (Fotografía 8):



Fotografía 8. Resalto hidráulico libre al pie de la compuerta

(c) Los cuatro resaltos hidráulicos restantes son sumergidos (Fotografía 9):



Fotografía 9. Resalto hidráulico sumergido

De esta manera obtenemos 36 resaltos en total que clasificamos a continuación en el cuadro 2 en función del valor y_3 y de la apertura de compuerta a , mediante esta relación

$$Sum = \left(\frac{y_3}{a} \right) \cdot a :$$

		R.H. LIBRE A 14 CM DE COMPUERTA	R.H. LIBRE A PIE DE COMPUERTA	R. H. SUMERGIDO	R. H. SUMERGIDO	R. H. SUMERGIDO	R. H. SUMERGIDO
Caudal (l/seg)	Apertura de compuerta (cm)	R.L.0 Sin sumergencia	R.L.1 Sumergencia 1	R.S.2 Sumergencia 2	R.S.3 Sumergencia 3	R.S.4 Sumergencia 4	R.S.5 Sumergencia 5
3,78	4,5	0,67a	a	1,26a	1,46a	1,58a	1,82a
3,13	3,5	0,67a	a	1,26a	1,37a	1,59a	1,98a
2,59	3,1	0,67a	a	1,34a	1,59a	2,19a	2,63a
2,09	2,4	0,70a	a	1,27a	1,94a	2,48a	3,11a
1,82	2,2	0,68a	a	1,34a	2,02a	2,68a	3,34a
1,51	1,7	0,74a	a	1,37a	2,22a	3,22a	4,28a

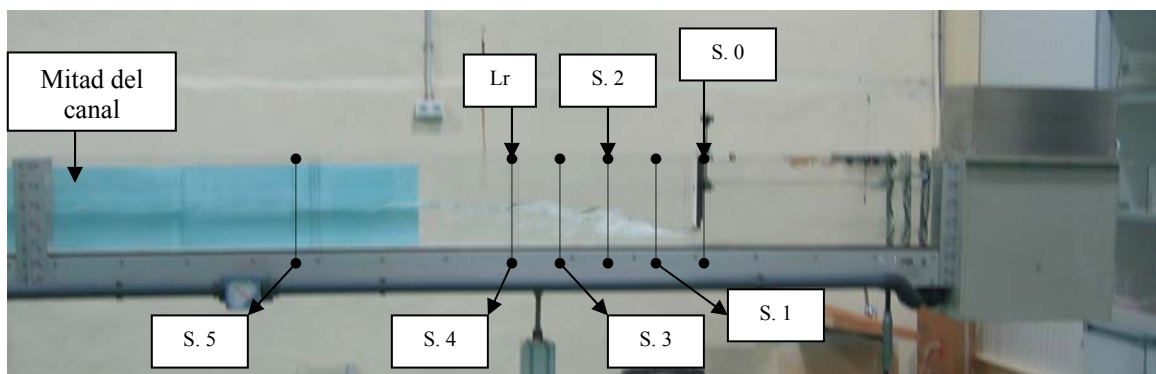
Tabla 2. Sumergencia de cada resalto

- También han sido seis las secciones para cada resalto en las que hemos muestreado su perfil de velocidad, siempre que el calado de dicha sección fuese suficiente para poder hacerlo teniendo en cuenta las limitaciones de nuestra sonda. La mayoría de las secciones se localizaron en el ámbito del resalto, considerando su longitud como la distancia entre el calado contraído y el punto aguas abajo en que se observó que el perfil del flujo no seguía subiendo (para resaltos sumergidos se realiza de igual manera

pero comenzando a medir dicha longitud desde la compuerta), considerando las siguientes secciones:

- (a) Sección 0; localizada inmediatamente aguas abajo de la compuerta, situada siempre a cinco centímetros de la compuerta debido a las dimensiones de los receptores.
- (b) Sección 1; localizada a $1/4L_r$ (un cuarto de la longitud de resalto considerada).
- (c) Sección 2; localizada a $1/2L_r$.
- (d) Sección 3; localizada a $3/4L_r$.
- (e) Sección 4; localizada a una distancia igual a la longitud del resalto.
- (f) Sección 5; localizada a una distancia intermedia entre el final de la longitud de resalto estimada y la mitad del canal (punto hasta el cuál el canal es completamente horizontal).

Para comprender mejor la localización de cada una de las secciones véase la fotografía 10:



Fotografía 10. Localización de secciones

3.3. Filtrado de datos

El equipo de medida de velocidades instantáneas ADV necesita estar sumergido, incluso el punto de muestreo, ya que el medio de transmisión fundamental del sonido en dicho equipo es el agua.

Así, en condiciones de aireación, cuando una burbuja de aire de los remolinos del resalto, atraviesa la trayectoria de muestreo deja de medir obteniéndose un valor de velocidad que no es el real. Por esta razón es necesario realizar un filtrado de los datos, con el fin de desechar o paliar las anomalías debidas a dicho fenómeno de aireación.

Para dar validez a los datos muestreados, se ha realizado un filtrado digital de datos, con el criterio de cortar los valores de los percentiles 5 y 95%.

Para iniciar el filtrado se exporta la serie temporal desde el programa Explore V y se obtiene la muestra en formato .dat. Para poder tratar la muestra con Excel abrimos el archivo .dat con dicho programa, cortamos la serie obtenida hasta 2024 datos y así se obtiene la serie requerida para realizar el filtrado.

Las fases fundamentales para el tratamiento de datos son las siguientes:

- Dada la serie inicial de 2024 valores medidos de velocidad V_x , para cada uno de los puntos de muestreo considerados en los resaltos hidráulicos se obtiene el valor medio X_{media} .
- Se obtiene el valor máximo de la serie inicial, al que denominamos $X_{máx}$, y un valor $A1$ que se define como la diferencia entre el valor máximo $X_{máx}$ y el valor medio X_{media} de la serie inicial, de modo que:

$$A1 = X_{máx} - X_{media}$$

- Posteriormente se halla un valor $X_{mín}$ obtenido de la diferencia entre la media de la serie inicial y el valor $A1$ hallado anteriormente, $X_{mín} = X_{media} - A1$, para después obtener la amplitud A , de la diferencia entre los valores $X_{máx}$ y $X_{mín}$, tal que:

$$A = X_{máx} - X_{mín}$$

- Por último se obtienen los valores de corte de la serie inicial que se hallan de la siguiente manera:

El valor de corte superior será un valor $X_{\text{máx},c}$ que se define como el valor máximo de la serie inicial $X_{\text{máx}}$ una vez reducido por el valor de amplitud A multiplicado por un factor de porcentaje considerado como 0,05 (percentil 95%):

$$X_{\text{máx},c} = X_{\text{máx}} - (A * 0,05)$$

Este valor de corte superior pone un límite a la serie inicial de modo que los valores obtenidos mayores a este valor de corte quedan reducidos al límite $X_{\text{máx},c}$. La serie inicial ha quedado así restringida a un límite superior menor que el valor $X_{\text{máx}}$ inicial.

El valor de corte inferior $X_{\text{mín},c}$ se obtiene a partir del valor $X_{\text{mín}}$ mayorado por el valor de la amplitud A multiplicado por 0,05 (percentil 5%):

$$X_{\text{mín},c} = X_{\text{mín}} + (A * 0,05)$$

Igualmente este valor de corte inferior pone un límite a la serie inicial de modo que los valores menores a este valor de corte quedan reducidos al límite $X_{\text{mín},c}$. La serie inicial queda así restringida a un límite inferior mayor que el valor $X_{\text{mín}}$ inicial.

A modo de esquema:

- Si (valor medido V_x) > $X_{\text{máx},c}$ → valor medido está fuera del límite superior → valor medido se sustituye por $X_{\text{máx},c}$ en la serie
- Si (valor medido V_x) < $X_{\text{máx},c}$ → valor medido está dentro del límite superior → valor medido permanece en la serie
- Si (valor medido V_x) < $X_{\text{mín},c}$ → valor medido está fuera del límite inferior → valor medido se sustituye por $X_{\text{mín},c}$ en la serie
- Si (valor medido V_x) > $X_{\text{mín},c}$ → valor medido está dentro del límite inferior → valor medido permanece en la serie

Primero se obtiene una columna con la serie inicial transformada aplicándole únicamente el valor de corte superior y luego a esa serie ya restringida por el límite superior se le aplica la transformación debida al valor de corte inferior de modo que al final de este

proceso denominado como PRIMER FILTRADO se obtiene una serie con un límite superior más bajo y un límite inferior más alto, con lo que el rango de la serie de datos ha disminuido y por tanto queda una serie más homogénea que la serie inicial.

De esta serie hallada tras el primer filtrado se obtienen de nuevo los valores de X_{media} , $X_{máx}$, A_1 , $X_{mín}$ y A del mismo modo que antes, y nuevos valores de corte $X_{máx,c}$ y $X_{mín,c}$ que servirán para realizar un segundo filtrado a esta serie siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente.

Se han llegado a realizar varios filtrados a una misma muestra dependiendo de los requerimientos de cada muestra, aunque algunas de las muestras solo han necesitado un filtrado para obtener una serie lo suficientemente homogénea. Ninguna muestra se ha filtrado más de cuatro veces para no alterar la serie inicial y distorsionar excesivamente la señal.

A continuación, en la tabla 3 se indica un registro virgen (sin filtrar). En este caso solo se ha necesitado un filtrado (lo indica el dato en negrita) para eliminar los valores negativos y para homogeneizar la muestra.

			1° Filtrado		2° Filtrado		3° Filtrado		4° Filtrado
N° de muestra	u_x	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
1	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38
2	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24	119,24
3	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43	120,43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62	117,62
2022	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35	124,35
2023	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00
2024	67,43	67,43	79,84	79,84	83,95	83,95	87,09	87,09	89,96
Xmedia=	111,75		112,23		112,40		112,58		112,77
Xmax=	147,21		143,66		140,52		137,71		
A1=	35,46		31,43		28,12		25,13		
Xmin=	76,29		80,81		84,28		87,25		
A=	70,92		62,86		56,24		50,26		
A*0,05=	3,55		3,14		2,81		2,51		
Xmax c=	143,66		140,52		137,71		135,20		
Xmin c=	79,84		83,95		87,09		89,96		

Tabla 3. Modelo del tratamiento de datos

El registro sin filtrar se muestra en la figura 1 y a continuación se representa la muestra después de un primer filtrado en el figura 2. Posteriormente se representan un segundo, tercer y cuarto filtrado (Figs. 3, 4 y 5 respectivamente) y se puede observar que los datos anómalos de esta muestra se eliminan únicamente con un primer filtrado, con lo que los filtrados posteriores podrían ser excesivos y alterar la serie inicial. Por esta razón la serie definitiva que utilizaremos será la que se obtiene tras un primer filtrado.

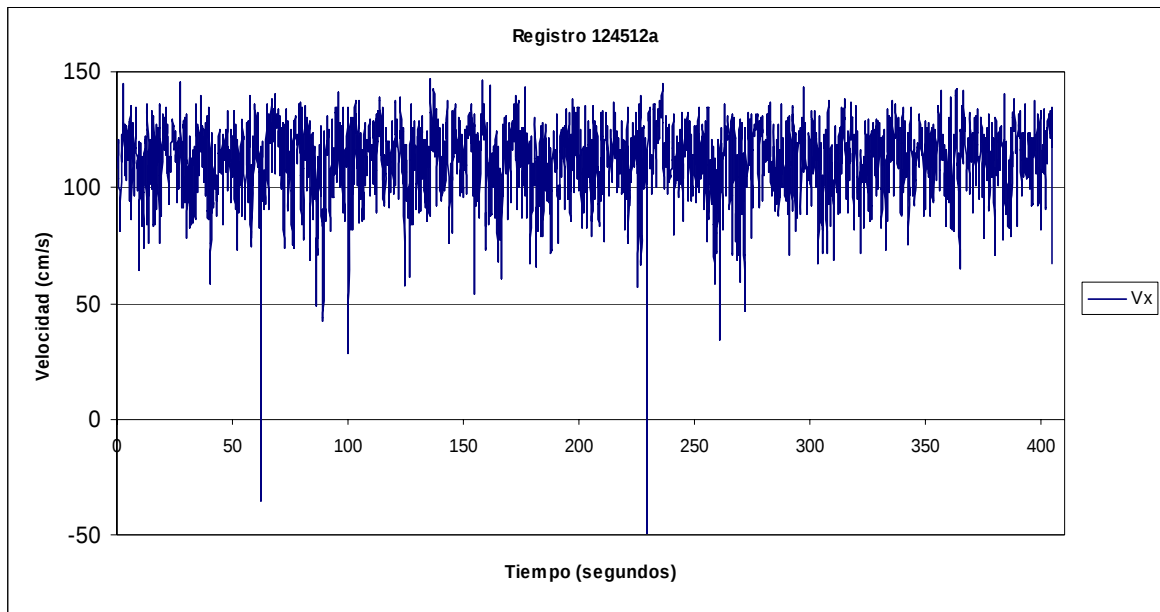


Figura 1. Datos sin filtrar

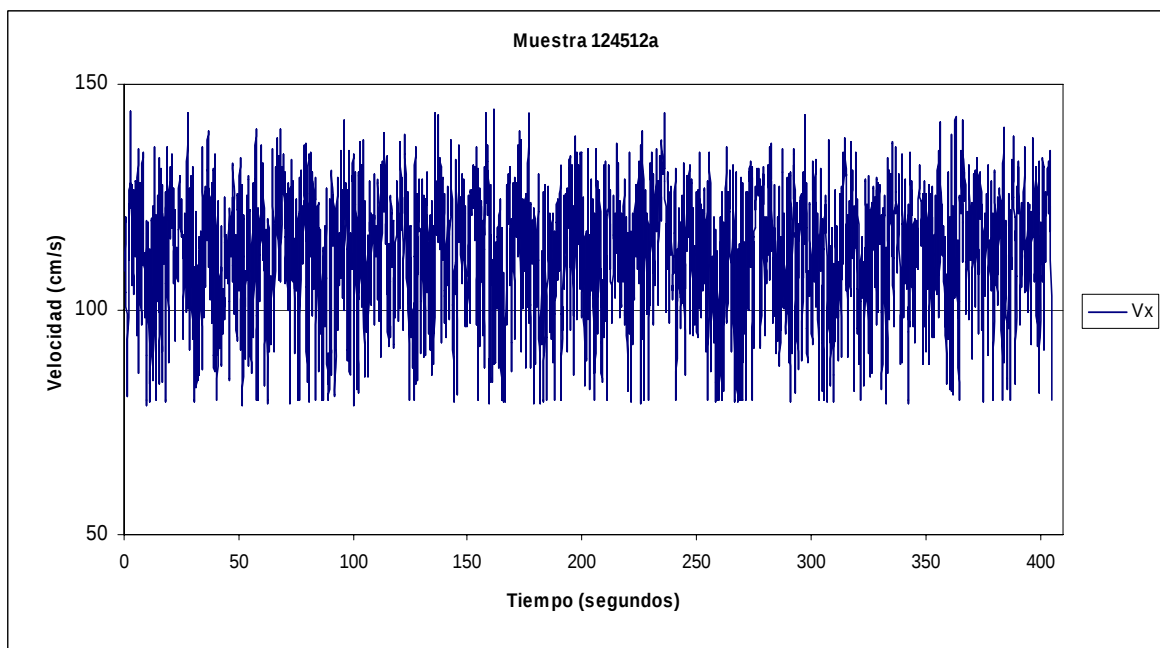


Figura 2. Datos después del primer filtrado

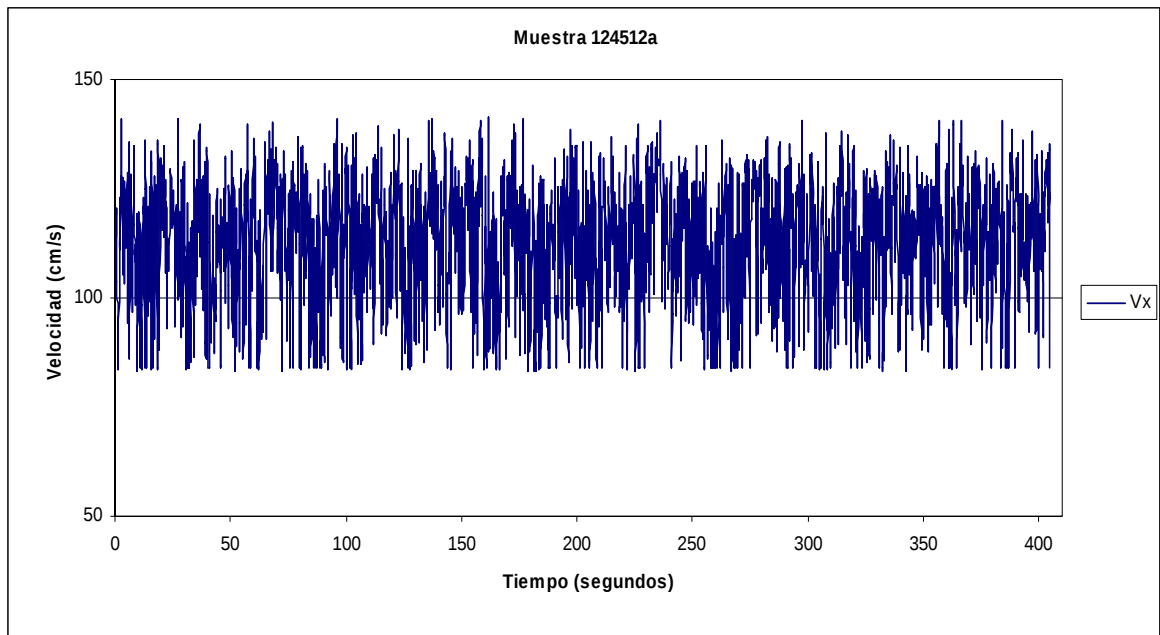


Figura 3. Datos después del segundo filtrado

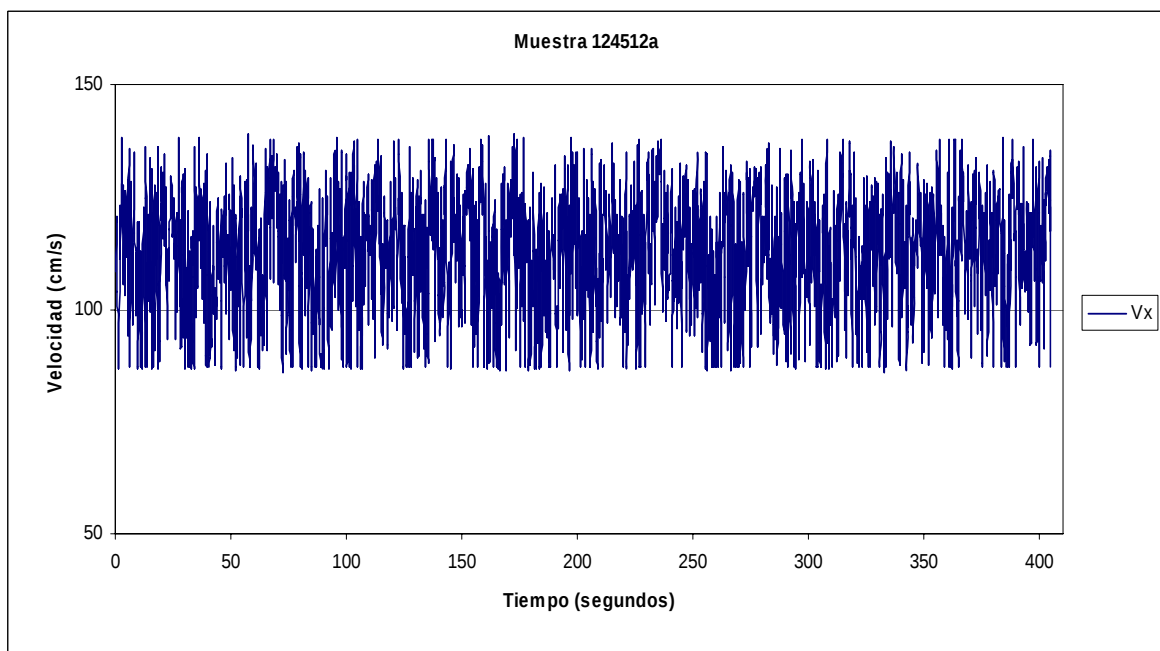


Figura 4. Datos después del tercer filtrado

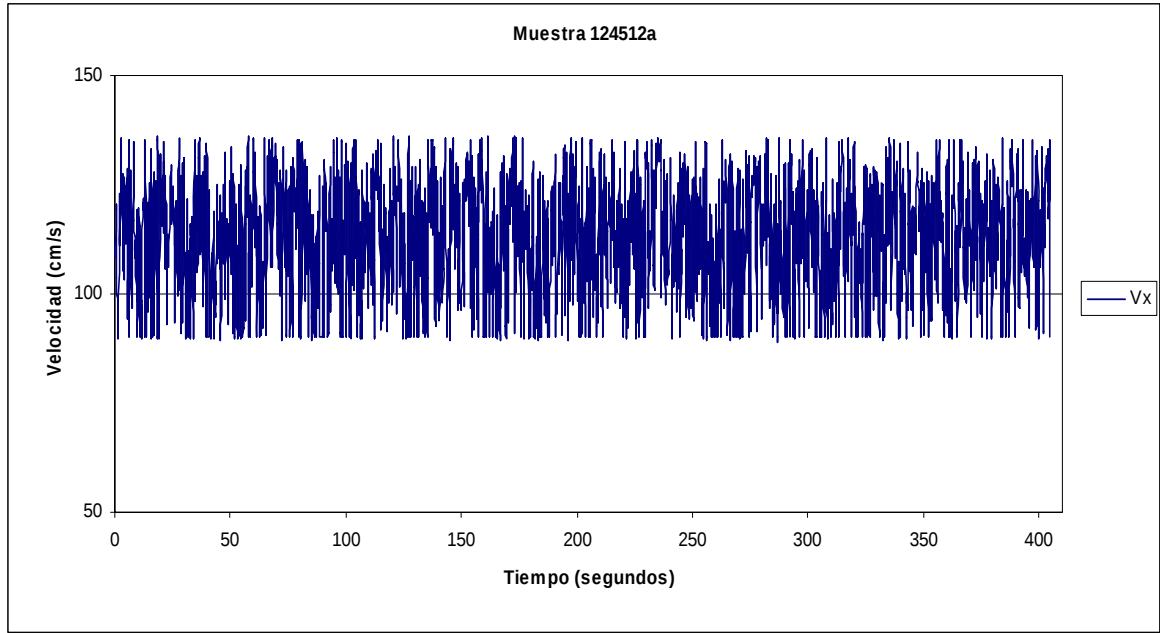


Figura 5. Datos después del cuarto filtrado

Una vez tratadas las muestras se obtuvieron los parámetros de turbulencia que se definen a continuación:

- $(u_x'^2)^{1/2}$ es la raíz cuadrática media de las fluctuaciones de velocidad turbulentas (la raíz cuadrada del promedio de las desviaciones de la velocidad media). El $(u_x'^2)^{1/2}$ de turbulencia es igual a la desviación estándar de las muestras.

$$(u_x'^2)^{1/2} = \sqrt{(u_x')^2} = \sqrt{\frac{\sum u_x^2 - (\sum u_x)^2 / n}{n-1}} \quad (1)$$

La raíz cuadrática media de las fluctuaciones de la velocidad turbulenta sobre la velocidad media es calculada para usarse en determinas intensidades de turbulencia y niveles de energía cinética turbulenta.

- Covarianza – xy, la covarianza es una medida de la correlación entre dos variables. Se emplea en el análisis de las tensiones de Reynolds. La covarianza entre las componentes de la velocidad x e y puede expresarse como:

$$Cov - xy = u_x' u_y' = \frac{\sum u_x u_y}{n-1} - \frac{\sum u_x \sum u_y}{n(n-1)} \quad (2)$$

- Sesgo, es un indicador de distribuciones no simétricas. Un sesgo de cero indica una distribución simétrica respecto a la media, un sesgo positivo indica una distribución con un brazo asimétrico extendido hacia valores más positivos; un sesgo negativo indica una distribución con un brazo asimétrico extendido hacia valores más negativos.

$$sesgo = \left[\frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \right] \left(\sum u_x^3 - \frac{3}{n} \sum u_x \sum u_x^2 + \frac{2}{n^2} (\sum u_x)^3 \right) \quad (3)$$

donde s es la desviación típica.

- Curtosis, que estudia la mayor o menor concentración de frecuencia alrededor de la media. Caracteriza la angulosidad o allanamiento relativo de una distribución comparada con la distribución normal. Una curtosis positiva indica una distribución relativamente puntiaguda (leptucúrtica), mientras que una curtosis negativa indica una distribución relativamente achatada (platicúrtica).

$$Curtosis = K_1 \left(\sum u_x^4 - \frac{4}{n} \sum u_x \sum u_x^3 + \frac{6}{n^2} (\sum u_x)^2 \sum u_x^2 - \frac{3}{n^3} (\sum u_x)^4 \right) - K_2 \quad (4)$$

donde:

$$K_1 = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)}; \quad K_2 = \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Para la muestra anterior utilizada como ejemplo los parámetros de turbulencia se muestran en la tabla 4:

$(u'^2)^{1/2}$	Cov - xy	Sesgo	Curtosis
14,85	18,48	-0,44	-0,54

Tabla 4. Parámetros de turbulencia

4. FUNDAMENTOS Y ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

4.1. Introducción

El resalto hidráulico es un fenómeno bien conocido como método útil para disipar el exceso de energía de flujos de alta velocidad.

Los resaltos hidráulicos pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de canal en los que ocurren, como resaltos hidráulicos en canales rectangulares y no rectangulares, resaltos hidráulicos en canales horizontales e inclinados y resaltos hidráulicos forzados. Los resaltos hidráulicos pueden ser clasificados también de acuerdo a la sumergencia del flujo entrante al resalto, como resaltos hidráulicos libres y resaltos hidráulicos sumergidos.

En este proyecto se presenta un estudio sistemático de las formas más fundamentales de resaltos hidráulicos, que son los resaltos hidráulicos libres y sumergidos en canales rectangulares.

Así, se aclaran las propiedades fundamentales, comprobándose y proponiéndose nuevas formulaciones de los resaltos libres y sumergidos, la longitud de los mismos, la relación entre las profundidades inicial y final, la energía disipada y las condiciones para la formación de los resaltos libres y sumergidos, las características de la caída de velocidad y la distribución de velocidades de dichos resaltos.

4.2. Condiciones de flujo y características de la longitud del resalto

Con respecto a la longitud L de los resaltos libres y sumergidos, se interpreta como la longitud de la zona en la que la disipación de energía se lleva a cabo, pudiendo derivarse la siguiente relación general:

$$f(L/H_L, H_L/H_*) = 0 \quad (1)$$

donde H_L es la pérdida de energía en el resalto, y H_* es la energía específica total al comienzo del resalto. Basada en esta relación, se comprueba y se propone una ecuación experimental para la longitud de los resaltos libres y sumergidos.

4.2.1. Resaltos hidráulicos libres

4.2.1.1. Características de la longitud del resalto

Considerando F_1 y y_1 como el número de Froude y el calado al comienzo del resalto y B el ancho del canal, se han establecido diferentes resaltos hidráulicos libres, con el propósito de observar algunas condiciones del flujo y realizar mediciones del perfil y campo de velocidades en este estudio. Se formaron dos tipos de resaltos hidráulicos libres. El primero se refiere a un resalto libre bajo las condiciones del flujo potencial justo al pie de la compuerta (R.L.1). Ver figura 1:

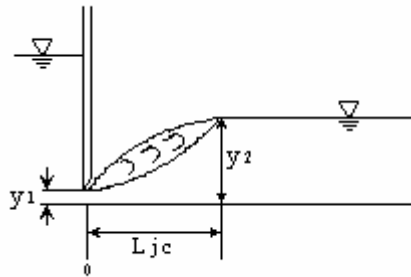


Fig. 1. Resalto libre estabilizado al pie de la compuerta (R.L.1)

El segundo se refiere al inicio de un resalto libre estabilizado a 14 centímetros de la compuerta bajo condiciones de flujo parcialmente desarrollado (R.L.0). Ver figura 2:

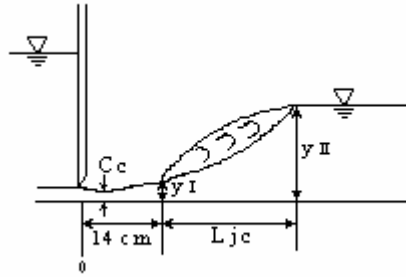


Fig. 2. Resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0)

Al incrementar la distancia desde la compuerta, el espesor de la capa límite aumenta, mientras que la capa potencial decrece. Después de una longitud λ de avance del flujo, el espesor de la capa límite δ llega a ser igual a la profundidad del flujo y , constituyendo en este momento un flujo totalmente desarrollado.

De acuerdo con Resch y Leutheusser (1972), la longitud necesaria para que la capa límite alcance el calado del flujo (flujo totalmente desarrollado), debe ser mayor de $200y_I$, (y_I es el calado contraído). Ver figura 3:

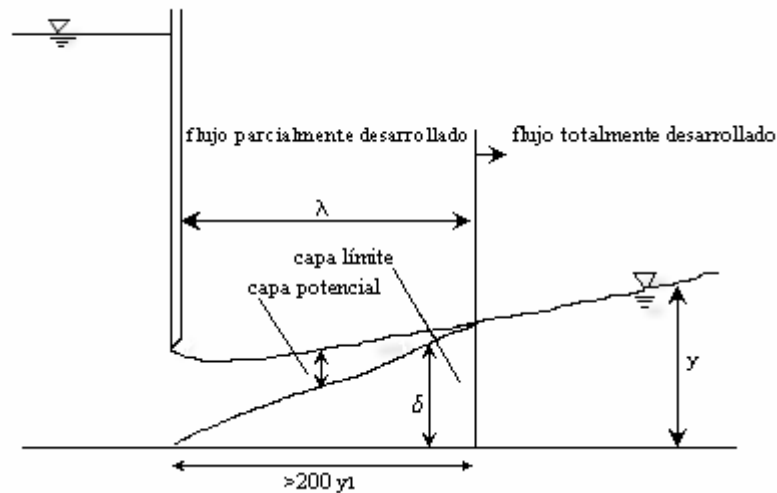


Fig. 3. Desarrollo de la capa límite de flujo supercrítico

Desde el comienzo del resalto se producen oscilaciones irregulares en la dirección del canal, dicha posición se define como el comienzo del resalto ($x=0$), donde el final del resalto ($x=L_j$) se determina como la primera sección donde casi no existe una variación de la velocidad máxima del flujo. De acuerdo con esto, L_j es la longitud del resalto, siendo y_2 la profundidad del agua donde $x=L_j$ (Fig. 4).

Además, se confirma que la sección donde $x=L_j$ es la primera en la que la superficie del agua llega a estar nivelada y ya no se observa una alteración del flujo en la superficie.

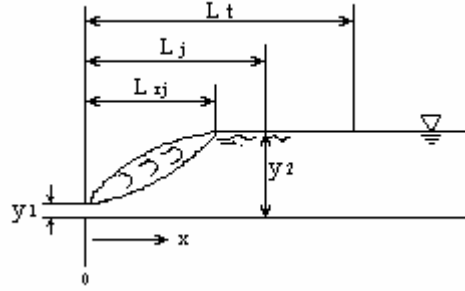


Fig. 4. Definición esquemática para el resalto libre

En la sección final ($x=L_{rj}$) se define el final del rulo del resalto, y así se distingue L_{rj} y L_j (Fig. 4). L_{rj} también indica el final de la zona de separación.

Además, la primera sección donde el cambio del perfil de velocidad en el flujo es despreciable se define como $x=L_t$. Así, para $x<L_t$, el perfil de velocidad cambia sustancialmente con x , pero para $x>L_t$, el perfil cambia muy poco en la dirección del flujo.

Según estudios experimentales realizados en la Universidad Nihon [Ohtsu et al. (1990)], las cantidades L_{rj}/y_2 , L_j/y_2 , L_t/y_2 medidas en función de F_1 para un Caso “a” (referido al inicio de un resalto libre bajo las condiciones del flujo potencial) y un Caso “b” (referido al inicio de un resalto libre bajo las condiciones del flujo totalmente desarrollado), se indican en la Fig. 5. Como se puede apreciar los valores de L_{rj}/y_2 , L_j/y_2 , y L_t/y_2 cambian considerablemente en el rango $2,3<F_1<3,5$, pero los valores llegan a ser aproximadamente constantes para $F_1>5$ ($L_{rj}/y_2=3,7$; $L_j/y_2=5,5$ y $L_t/y_2=7,6$). (Fig. 5). En esta figura también se han incluido nuestros resultados experimentales en los resaltos libres establecidos, así como también la ley teórica según el Bureau of Reclamation para resaltos libres, Ec. (2):

$$L_j = 6,1 y_2 ; \text{ para } (6 < F_1 < 11) \quad (2)$$

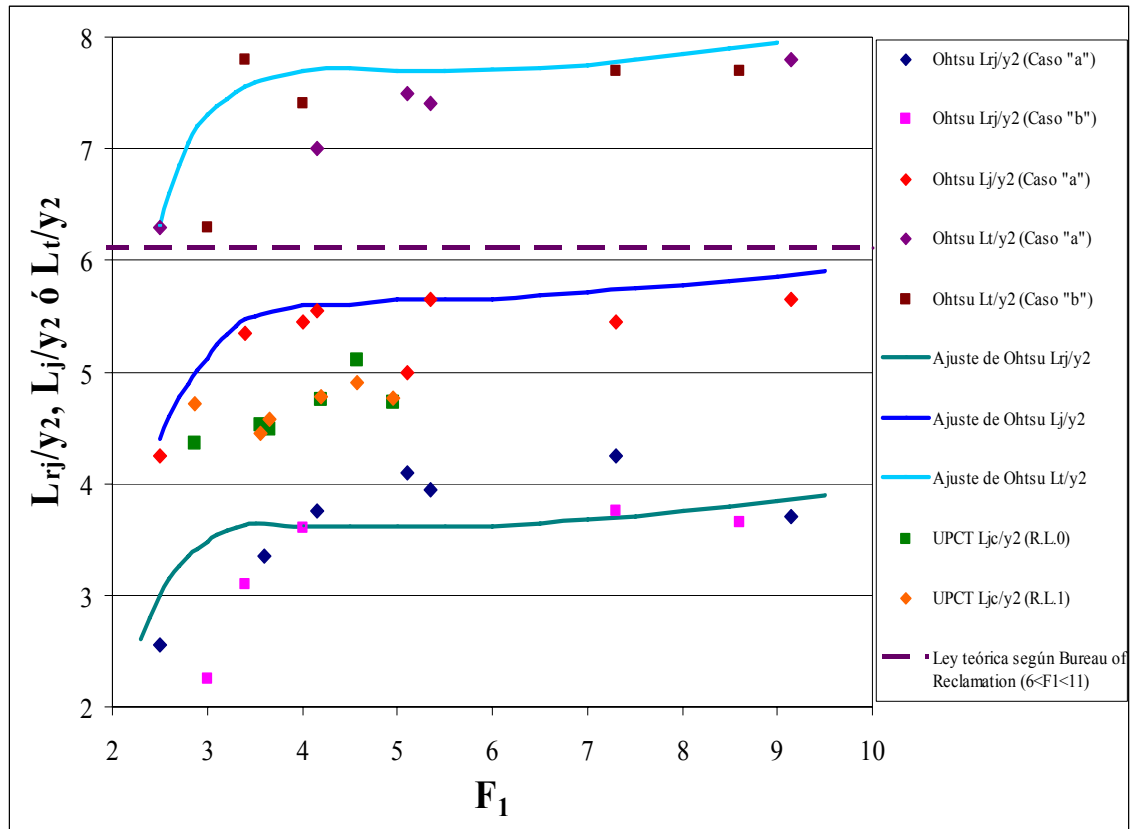


Fig. 5. Características de longitud del resalto libre

Se puede observar que los resultados experimentales obtenidos en nuestro trabajo se encuentran en un rango $[2,8 < F_1 < 5]$ y la longitud de resalto medido se encuentra entre los valores L_{rj} y L_j establecidos por Ohtsu et al. (1990).

Esto está totalmente de acuerdo con el criterio que fue establecido para medir la longitud de resalto hidráulico en nuestro laboratorio y que se discute más adelante.

En la figura 6 se representa la relación L_j/y_1 medida en función del número de Froude junto con la Ec. (3) propuesta por Silvester (1964):

$$L_j / y_1 = 9,75(F_1 - 1)^{1,01} \quad (3)$$

La curva de ajuste a nuestros datos experimentales, similar a la de Silvester, es la siguiente:

$$L_{jc} / y_1 = 9,8(F_1 - 1)^{0,80} \quad (4)$$

Podemos observar que para valores bajos de Froude ($F_1 < 3$), los valores de L_{jc}/y_1 son similares, pero a medida que se aumenta el Froude nuestros valores experimentales son cada vez más pequeños comparados con los de Silvester.

Este resultado también es concordante con el criterio definido para medir la longitud de resalto hidráulico que se encuentra entre la longitud del rulo del resalto L_{rj} y la longitud L_j definida por otros autores.

También podemos observar que la curva de tendencia posee una concavidad ligeramente decreciente cuando aumenta el Froude; en contraste con la curva de ajuste de Silvester que es prácticamente linealmente creciente.

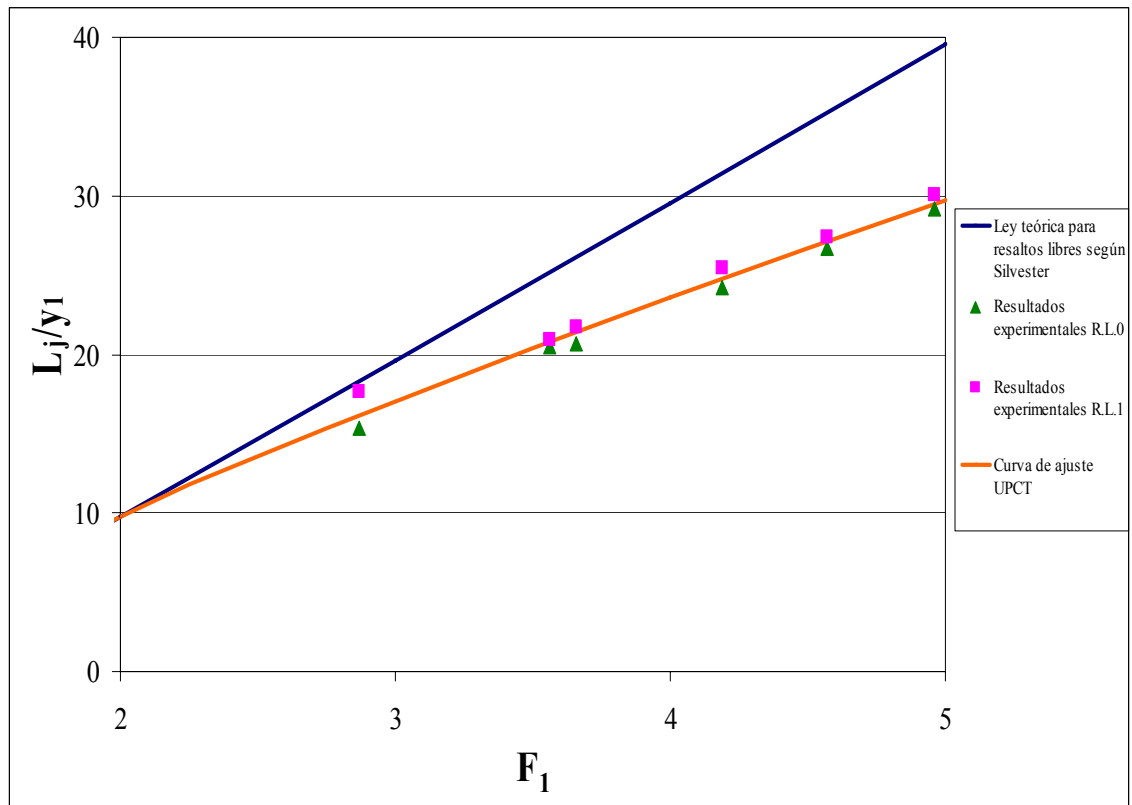


Fig. 6. Características de longitud del resalto libre

4.2.1.2. Caída de la velocidad máxima

Los datos experimentales de caída de velocidad máxima u_m en el resalto, analizados en base a la relación (5), revelan que u_m decae rápidamente con la longitud L_j tal como se muestra en la Fig. 7.

$$f\left(\frac{u_m - v_2}{v_1}, \frac{x}{L_j}\right) = 0 \quad (5)$$

Ohtsu et al. (1990) ajusta la relación empírica siguiente:

$$(u_m - v_2)/v_1 = 0,0855 - 1,114 \log_{10}(x/L_j); \text{ para } (0,15 \leq x/L_j \leq 1) \text{ y } (3 \leq F_l \leq 9,5) \quad (6)$$

donde $v_1 = Q/(B y_1)$ y $v_2 = Q/(B y_2)$, siendo Q el caudal circulante.

De este modo, u_m cambia sustancialmente para $x < L_j$, pero es casi constante para $x \geq L_j$.

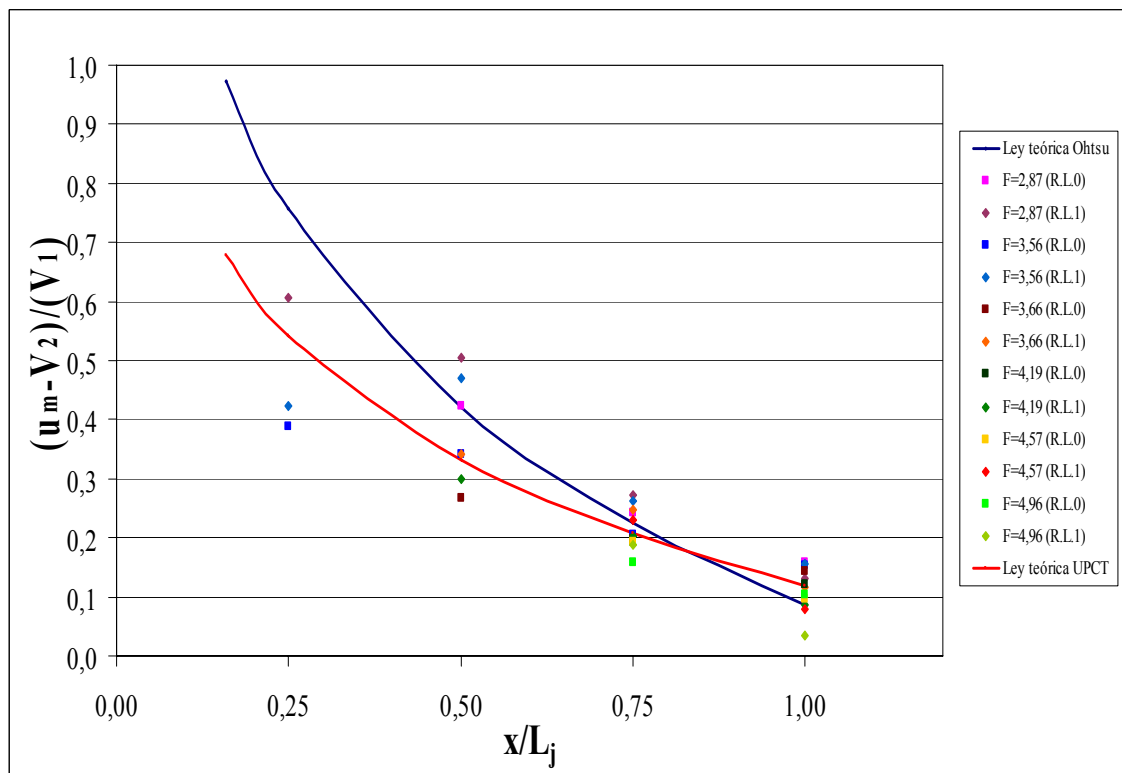


Fig. 7. Caída de velocidad máxima para resaltos libres.

En la figura 7 se representan los resultados experimentales según el número de Froude para el que fueron medidos en este trabajo y según se trate del resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0) o del resalto libre formado al pie de la compuerta (R.L.1). Se observa que los datos experimentales obtenidos se ajustan mejor a la ley empírica (Ec. 6) obtenida por Ohtsu a partir de la mitad del resalto libre ($x/L_j=0,50$), incluida esta sección, pero para los valores medidos en la sección situada a $1/4$ del resalto desde su inicio, se observa una caída con respecto a la ley teórica representada y el ajuste no es tan bueno,

aunque estos datos experimentales siguen manteniendo la tendencia que sigue la ley teórica del ajuste. La ecuación (7) describiría una ley de ajuste más apropiada a nuestros datos.

$$(u_m - v_2)/v_1 = 0,12 - 0,7 \log_{10}(x/L_{jc}); \text{ para } (0,15 \leq x/L_{jc} \leq 1) \text{ y } (2,5 \leq F_l \leq 5) \quad (7)$$

4.2.1.3. Perfil superficial

Ohtsu analiza los datos experimentales de acuerdo a la relación (8), y propone que el perfil superficial del resalto se puede expresar por las Ec. (9) y (10). (Fig. 8).

$$(y - y_1)/(y_2 - y_1) = f(x/L_j) \quad (8)$$

$$(y - y_1)/(y_2 - y_1) = 1 - (1 - x/L_j)^{2,9}; \text{ para } (2,3 < F_l \leq 3) \quad (9)$$

$$(y - y_1)/(y_2 - y_1) = 1 - (1 - x/L_j)^{1,9}; \text{ para } (3,5 \leq F_l \leq 9,5) \quad (10)$$

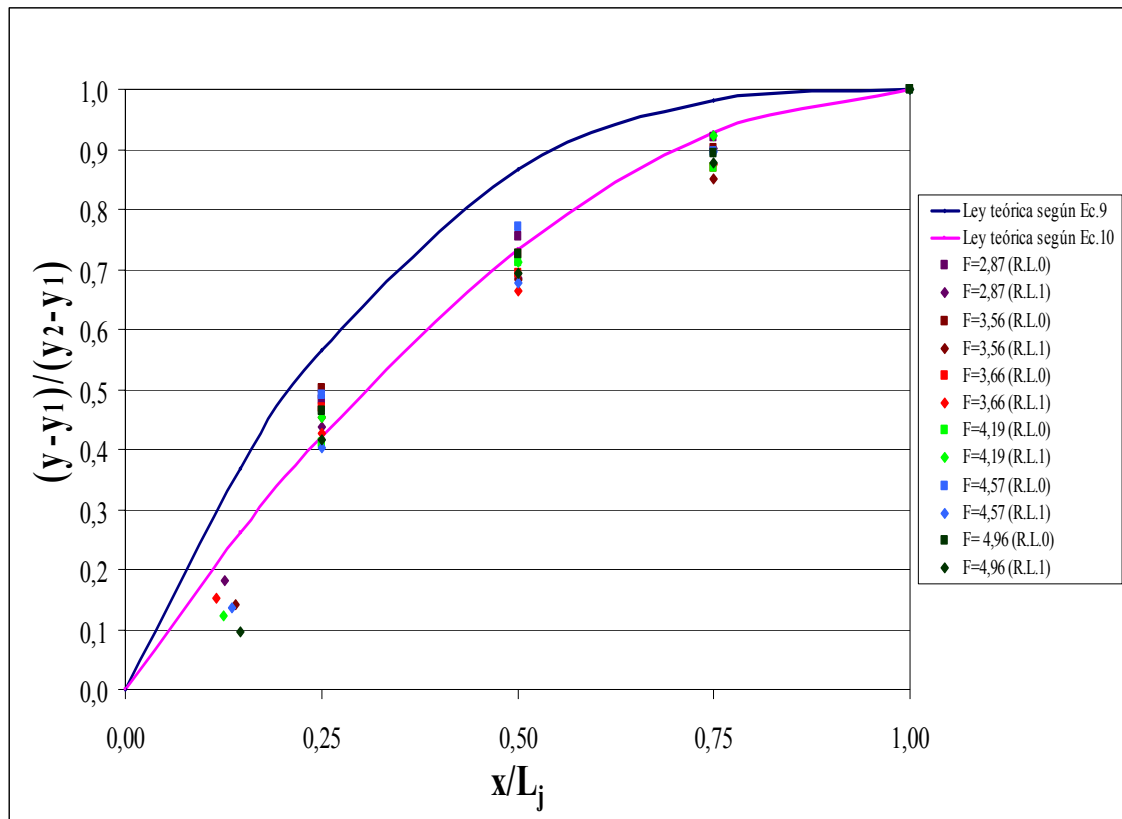


Fig. 8. Perfil superficial para los resaltos libres.

La Fig. 8 indica que la superficie del agua es casi horizontal para $x/L_j \geq 0,9$. Una vez comparados nuestros resultados experimentales con ambas leyes teóricas se observa que

existe una concordancia satisfactoria entre el perfil superficial teórico y el medido. Considerando que se ha trabajado con números de Froude comprendidos entre 2,87 y 4,96, ambos incluidos, se puede apreciar que los resultados experimentales se ajustan mejor a la ley teórica expresada por la Ec. 10, quedando algunos otros valores comprendidos entre la línea representada por la Ec. 9 y la línea representada por la Ec. 10.

4.2.2. Resaltos hidráulicos sumergidos

4.2.2.1. Características de la longitud del resalto

Considerando y_0 como el calado contraído, y_3 como la profundidad al comienzo del resalto sumergido y $X_3=y_3/y_0$, $F_0=v_0/\sqrt{gy_0}$, $v_0=Q/(By_0)$; se formaron diferentes resaltos sumergidos para observar las condiciones de flujo y medir el perfil superficial y los campos de velocidad.

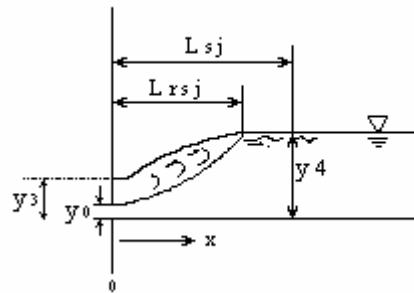


Fig. 9. Definición esquemática para el resalto sumergido

Como en el caso de los resaltos libres, el final del resalto sumergido ($x=L_{sj}$) se determina como la primera sección donde casi no existe una variación de la velocidad máxima del flujo. Así, L_{sj} es la longitud del resalto, siendo y_4 la profundidad del agua donde $x=L_{sj}$ (Fig. 9).

Además, la sección donde $x=L_{sj}$ es la primera en la que la superficie del agua llega a estar nivelada y ya no se aprecia una alteración del flujo en la superficie.

La sección donde todavía se observa un flujo alterado en la superficie, se define como final del rulo ($x=L_{rsj}$), siendo L_{rsj} la longitud del rulo. Cuando la inclinación de la superficie es pequeña, L_{rsj} y L_{sj} llegan a ser casi lo mismo, mientras que la diferencia entre L_{rsj} y L_{sj} llega a ser más grande cuando la inclinación de la superficie se incrementa.

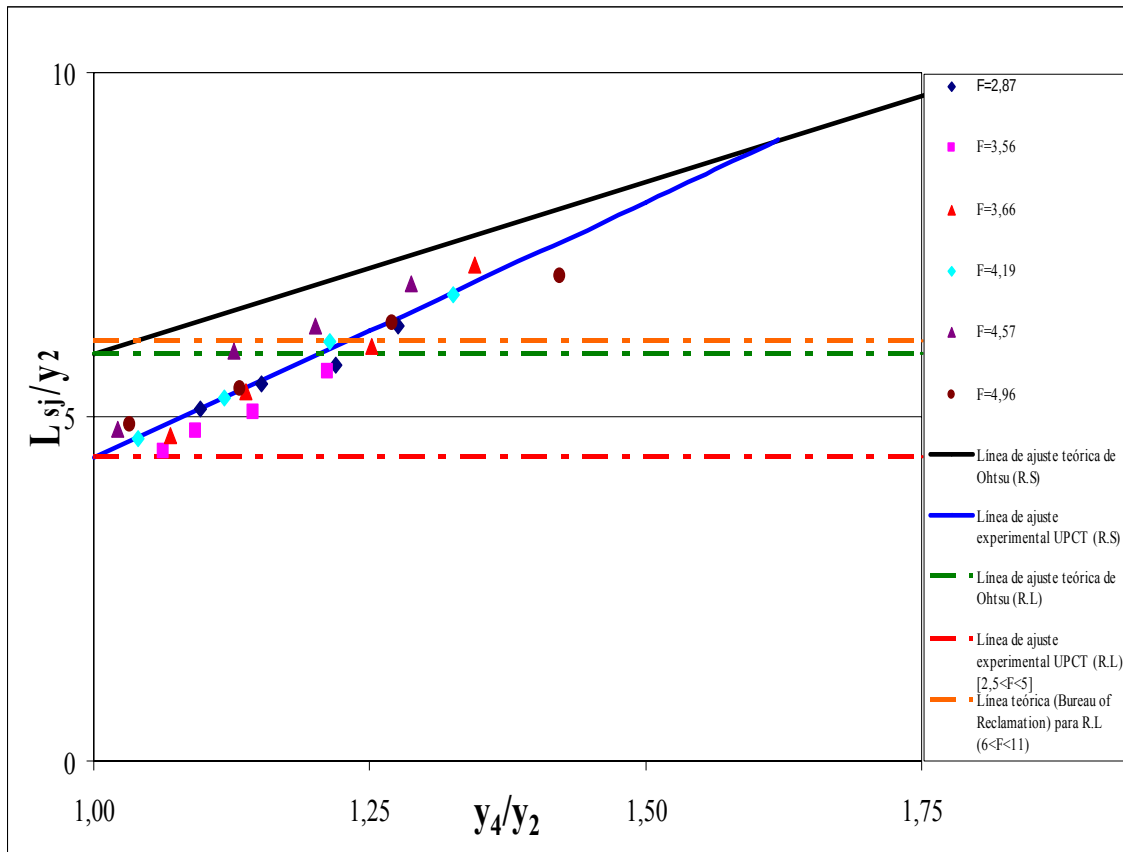


Fig. 10. Características de longitud de los resaltos libres y sumergidos

La Fig. 10 muestra la dependencia de L_{sj}/y_2 según el parámetro de y_4/y_2 , donde y_2 se obtiene mediante la ecuación de Bélanger de los calados conjugados:

$$y_2 = y_0 (\sqrt{8F_0^2 + 1} - 1) / 2 \quad (11)$$

La línea de ajuste expresada mediante la Ec. (12) para resaltos sumergidos corresponde a los resultados experimentales obtenidos por Ohtsu et al. (1990):

$$L_{sj} / y_2 = (5 * y_4 / y_2) + 0,9 \quad (12)$$

Según la Ec. (12), se puede obtener la Ec. (13) para el caso $y_4/y_2=1$:

$$L_{sj} = 5,9y_2 \quad (13)$$

De esta manera, Ohtsu hace coincidir en su ajuste este valor para el caso de resalto libre, aunque el coeficiente 5,9 es válido para un rango de números de Froude de $[6 \leq F_l \leq 11]$,

siendo este coeficiente más bajo, del orden 5,4 aproximadamente para los números de Froude $[2,5 \leq F_l \leq 5]$.

La curva de ajuste expresada mediante la Ec. (14) constituye el mejor ajuste a nuestros resultados experimentales:

$$L_{sjc} / y_2 = (7,44 * y_4 / y_2) - 3,04 \quad (14)$$

A partir de la Ec. (14) se puede establecer según nuestros resultados experimentales que, para el caso del resalto libre ($y_4/y_2=1$), la relación viene expresada por la Ec. (15):

$$L_{sjc} = 4,4 y_2 \quad (15)$$

De acuerdo con nuestros resultados (Ec. (15)) y criterio de definir la distancia L_{sjc} , se observa que la longitud L_{sjc} , es inferior que el correspondiente valor para resalto libre del Bureau of Reclamation, expresado anteriormente mediante la Ec. (2) $[L_j = 6,1 y_2]$.

Esta diferencia en la longitud del resalto libre, es totalmente concordante con nuestro criterio de definir la longitud del resalto hidráulico, una longitud intermedia entre la longitud del rulo L_{rj} y la longitud L_j definida en las medidas del Bureau of Reclamation y otros autores.

En la figura 10 se observa que hasta una sumergencia del orden de $y_4/y_2=1,20$ las longitudes de resalto sumergido, aunque van aumentando, podrían ser inferiores a la longitud de resalto libre definido por el Bureau of Reclamation $[6 < F_l < 11]$; pero a partir de esta sumergencia, las longitudes de resalto sumergido superan los valores de definición de L_{sj} del Bureau of Reclamation y tienden a coincidir con la definición de longitud de resalto sumergido de Ohtsu para los valores de sumergencia mayores.

4.2.2.2. Caída de velocidad máxima

De acuerdo con las características de la caída de velocidad máxima, u_m , y usando la relación (16) junto a la Ec. (17), se obtienen unos resultados que se muestran en la Fig. 11.

$$f((u_m - v_4) / v_0, x / L_{sj}) = 0 \quad (16)$$

$$(u_m - v_4)/v_0 = 0,0855 - 1,114 \log_{10}(x/L_{sj}); \quad (17)$$

para $(0,15 \leq x/L_{sj} \leq 1)$; $(2,3 \leq F_0 \leq 10)$ y $(1 \leq X_3 \leq 20)$

donde $v_4 = Q/(By_4)$

La Ec. (17) describe la propiedad de la caída de velocidad, incluyendo el caso del resalto libre ($v_4 = v_2$, $v_0 = v_1$, $L_{sj} = L_j$, $X_3 = 1$). [Referente a la Ec. (2)].

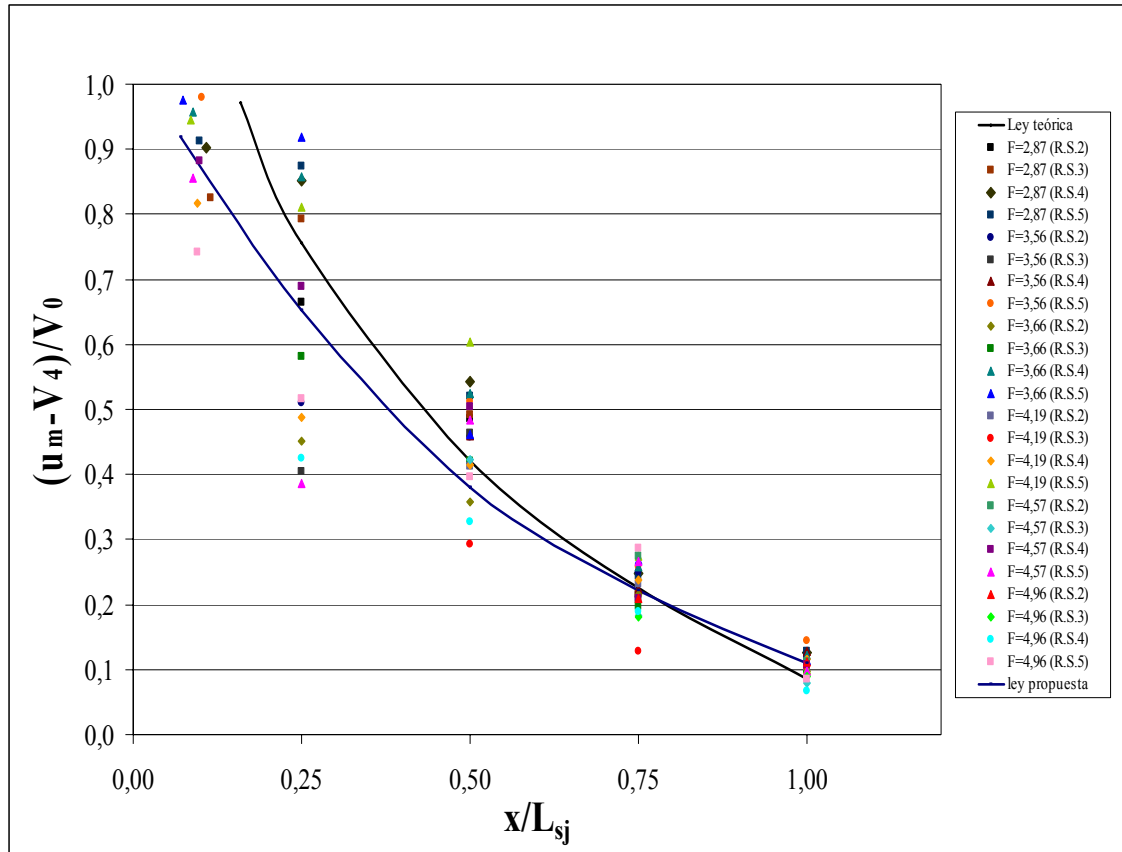


Fig. 11. Caída de velocidad máxima en resaltos sumergidos

Una vez representada la ley teórica dada por Ohtsu y los resultados experimentales obtenidos para cada número de Froude y para cada sumergencia creada, observamos que al igual que en el caso del resalto libre los mejores ajustes se obtienen a partir de la mitad del resalto sumergido, incluyendo esta sección. Para las secciones situadas al inicio y a $1/4$ del resalto hay valores que también se ajustan muy bien a la línea teórica pero se observan varios valores que sufren una caída con respecto a la ley teórica representada. El mejor ajuste de nuestros datos experimentales viene expresado por la Ec. (18):

$$(u_m - v_4)/v_0 = 0,11 - 0,9 \log_{10}(x/L_{sjc}); \quad \text{para } (0,1 \leq x/L_{sjc} \leq 1) \quad (18)$$

4.2.2.3. Perfil superficial

En la figura 12 se indican los perfiles superficiales de varias medidas de resaltos sumergidos. Se ha representado independientemente cada perfil superficial creado según su número de Froude y su relación y_3/y_0 . Para cada número de Froude se crearon cuatro resaltos diferentes en función de su sumergencia; es decir, para un mismo número de Froude se obtienen cuatro valores de y_3/y_0 . Observamos que a medida que va aumentando el número de Froude y la sumergencia (y_3/y_0) de cada resalto, el perfil superficial sigue una misma tendencia pero desplazado hacia arriba. Si analizamos los cuatro perfiles creados para un mismo F independientemente del resto de los resaltos observamos que al aumentar el valor de sumergencia, y_3/y_0 , se puede representar un mayor valor de x/y_0 porque la longitud del resalto aumenta al crear un resalto con mayor sumergencia. Todos los resultados obtenidos quedan recogidos en la siguiente gráfica:

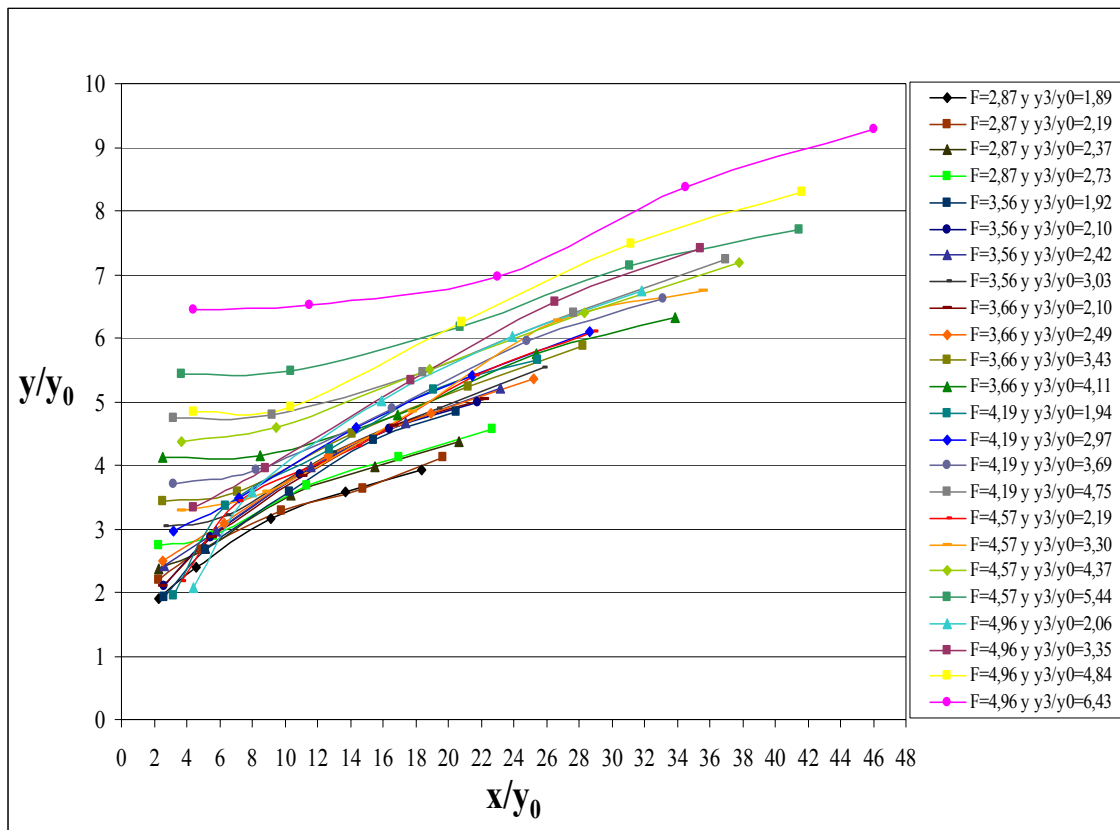


Fig. 12. Perfiles superficiales de resaltos sumergidos

4.3. Relación entre profundidades inicial y final

4.3.1. Resaltos hidráulicos libres

Seleccionando la zona de un resalto libre en un canal horizontal como un volumen de control, la Ec. (20) se puede derivar de la ecuación de momentum (19), que es aplicada en la dirección-x junto con una ecuación de continuidad bajo las siguientes suposiciones:

- 1) el resalto se forma sobre un fondo horizontal de gran anchura,
- 2) la turbulencia es insignificante al comienzo del resalto,
- 3) las tensiones viscosa y turbulenta son insignificantes sobre la superficie libre.

$$\int_S \bar{V}(n_0 \cdot \bar{V}) dS = \int_S n_I \bar{p} dS - \left[\int_S \mu \frac{\partial \bar{V}}{\partial n_I} dS + \rho \int_S \overline{V' \cdot V'} dS \right] \quad (19)$$

donde $\bar{V} = \bar{u}i + \bar{v}j$ (velocidad media temporal), $V' = u'i + v'j + w'k$ (velocidad turbulenta fluctuante), $\bar{p}$: intensidad de presión media temporal, S: superficie de control, n_0 : vector unitario normal hacia fuera de dS , n_I : vector unitario normal hacia dentro de dS .

$$\rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) = \lambda'_1 \gamma(h_g A)_1 - \lambda'_2 \gamma(h_g A)_2 - \int_0^{L_I} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \rho(-\overline{u'v'}) \right)_{y=0} dx - \int_0^{y_2} (\rho \overline{u'^2})_{x=L_I} dy \quad (20)$$

donde:

ρ : densidad del agua

A : área de la sección

y : coordenada vertical dirigida hacia arriba empezando desde el fondo del canal

q : caudal unitario ($q = Q/B$)

$$\beta = \int_A (\bar{u}/v)^2 dA / A$$

$$\lambda' = 1 + (1/h_g A) \int_A (\Delta p / \gamma) dA$$

h_g : profundidad al centro de gravedad de la sección (en la sección rectangular, $h_g=y/2$)

γ : peso específico del agua ($\gamma = \rho \cdot g$)

(Δp indica la desviación de la presión hidrostática)

En forma dimensional, la Ec. (20) se puede expresar como:

$$\lambda'^2 (y_2 / y_1)^3 + [2(\gamma_2 - \beta_1)F_1^2 + S_f - \lambda'_1](y_2 / y_1) + 2\beta_2 F_1^2 = 0 \quad (21)$$

donde:

$$S_f = P_f / (\gamma \cdot y_1^2 / 2)$$

$$(P_f = \int_0^{L_j} \tau_0 dx; \text{ donde } \tau_0 \text{ es la tensión de corte en el contorno: } \tau_0 = [\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \rho(-\overline{u'v'})]_{y=0})$$

$$F_1 = v_1 / \sqrt{gy_1}$$

$$\gamma_2 = \int_0^{y_2} \overline{u'^2} dy / v_1^2 y_1$$

La Ec. (21) se puede expresar también como:

$$F_1^2 = (y_2 / y_1)[\lambda'_2 (y_2 / y_1)^2 + S_f - \lambda'_1] / 2[1 + \Delta\beta_1 - \gamma_2](y_2 / y_1) - (1 + \Delta\beta_2)] \quad (22)$$

donde:

$$\beta_1 = 1 + \Delta\beta_1$$

$$\beta_2 = 1 + \Delta\beta_2$$

Cuando $\lambda'_1 = \lambda'_2 = 1$, $S_f = 0$, $\Delta\beta_1 = \Delta\beta_2 = 0$ y $\gamma_2 = 0$, la Ec. (22) se puede reducir a la común relación de profundidad secante o ecuación de los calados conjugados de Bélanger, Ec. (23):

$$\frac{y_2}{y_1} = (\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1) / 2 \quad (23)$$

Harleman (1958) encontró que los errores debidos a la uniformidad asumida del flujo ($\beta_1 = \beta_2 = 1$) y a no tener en cuenta la turbulencia al comienzo y al final del resalto ($\gamma_1 = \gamma_2 = 0$) son muy pequeños y tienden a cancelarse unos a otros, y que la tensión de corte del fondo integrada S_f es el único término adicional importante a considerar:

Por esta razón, $\lambda'_1 = \lambda'_2 = 1$, $\beta_1 = \beta_2 = 1$ y $\gamma_2 = 0$ y la Ec. (21) se reduce a la Ec. (24):

$$(y_2 / y_1)^3 - [2F_1^2 + 1 - S_f](y_2 / y_1) + 2F_1^2 = 0 \quad (24)$$

Desde la Ec. (24) se puede observar que a mayores valores de S_f y para un valor de F_1 dado, la relación $\frac{y_2}{y_1}$, tiende a ser más pequeña.

Rajaratnam (1965), demostró que los datos obtenidos para diversos experimentos y de diversa procedencia, mostraban mejor concordancia con la Ec. (24) que con la Ec. (23). De acuerdo con esto, en un supuesto Caso “a” referido al inicio de un resalto libre bajo las condiciones del flujo potencial, justo debajo de la compuerta, el valor experimental de y_2/y_1 para un F_1 dado era algo más pequeño que el valor de y_2/y_1 dado por la Ec. (23); pero en un supuesto Caso “b” referido al inicio de un resalto libre bajo las condiciones del flujo totalmente desarrollado, se asumía que el valor experimental podía coincidir con el valor de y_2/y_1 derivado de la Ec. (23). Esto se explicaba por la suposición de que en el Caso “a”, los efectos de S_f podrían ser grandes dado que la capa límite no se separa del fondo del canal, mientras que en el Caso “b”, $S_f \approx 0$, porque la capa límite podría estar separada del fondo del canal (flujo totalmente desarrollado).

Ohtsu et al. también encuentran diferencias entre las relaciones de los calados conjugados para los casos “a” y “b”, pero consideran que las diferencias son pequeñas y sugieren que para propósito de diseño práctico, se aplique la ecuación de Bélanger, a los dos resaltos tipo “a” y “b”.

De acuerdo con experimentos dirigidos por Ohtsu, ambos Casos “a” y “b” indican casi la misma relación de profundidad experimental y_2/y_1 para un F_1 dado, y no se ha encontrado tanta diferencia.

Sin embargo, según nuestros ensayos, los resultados obtenidos sí reflejan la ligera diferencia anotada por Rajaratnam (1965), a pesar de no contar todavía con un flujo totalmente desarrollado (el inicio del resalto se encuentra a 14 cm de la compuerta):

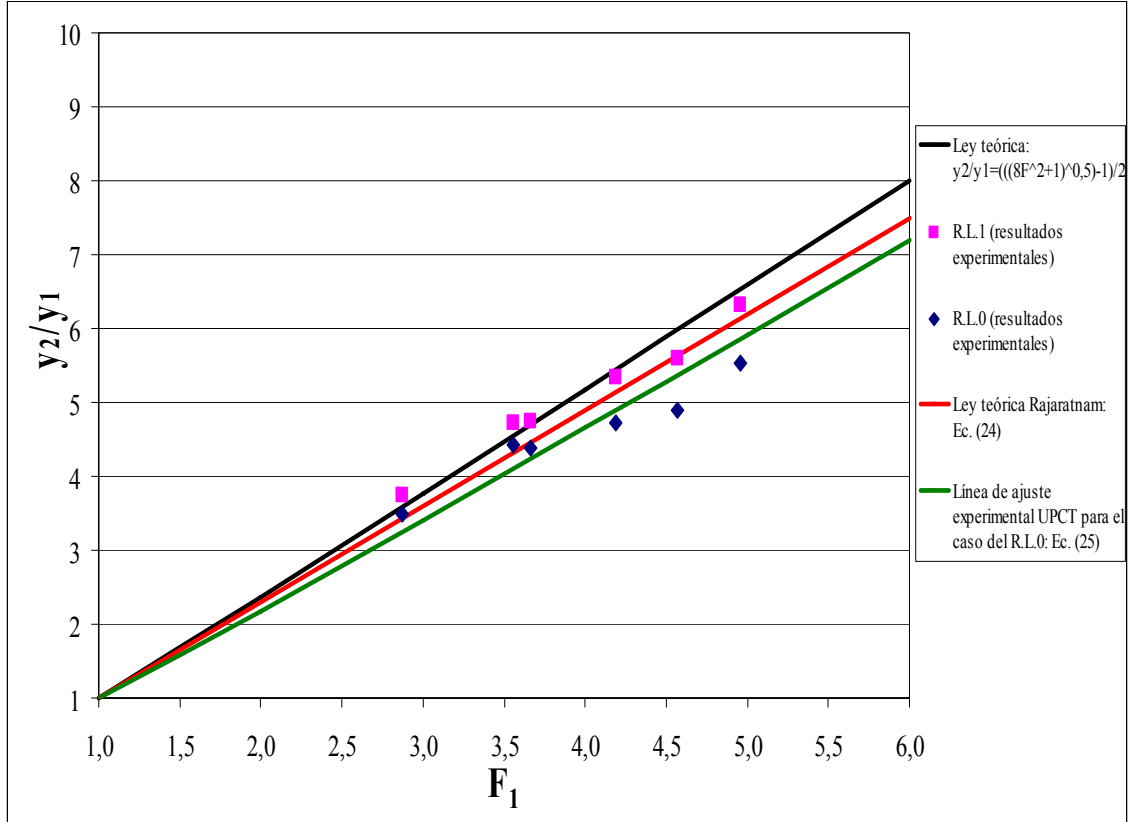


Fig. 13. Relación entre $\frac{y_2}{y_1}$ y F_1

Como se puede observar, una vez contrastados los valores experimentales obtenidos para cada número de Froude con la ley teórica de y_2/y_1 en función de F_1 observamos que para el caso del resalto libre 1 al pie de la compuerta, existe un buen ajuste de los resultados experimentales con los teóricos. En cambio para el resalto libre 0 estabilizado a 14 cm de la compuerta, el valor experimental de y_2/y_1 para un F_1 dado es algo más pequeño que el valor de y_2/y_1 calculado por la Ec. (23) para ese mismo número de Froude. Por eso se ha obtenido una ley (Ec. (25)) que se ajusta mejor a los resultados obtenidos en el R.L.0:

$$\frac{y_2}{y_1} = (\sqrt{6,5F_1^2 + 2,5} - 1) / 2 \quad (25)$$

Una interpretación de la diferencia en las ecuaciones de los calados conjugados de Bélanger, Rajaratnam y UPCT se debe a dos efectos contrapuestos:

- La relación de calados conjugados en los flujos totalmente desarrollados (ó parcialmente desarrollados) es menor puesto que la energía disponible al inicio del resalto hidráulico se ha reducido por efecto de la pérdida de energía producida en la curva de remanso parcialmente desarrollada; siendo mayor la pérdida de energía, cuanto más desarrollada se encuentra la curva de remanso.
- Por otra parte, la pérdida de energía por efecto del esfuerzo cortante del contorno, disminuye cuando el espesor de la capa límite tiende a alcanzar el calado del flujo. De esta forma, cuando el flujo está totalmente desarrollado, S_f tendría el menor valor. Sin embargo, el efecto global en los flujos parcialmente o totalmente desarrollados es que la reducción de pérdida de energía es siempre mayor por el mecanismo de la curva de remanso, que la reducción de pérdida de energía por efecto del desarrollo de la capa límite.

4.3.2. Resaltos hidráulicos sumergidos

Seleccionando la zona de un resalto sumergido como volumen de control, la Ec. (26) puede ser derivada de la ecuación de momentos aplicada en la dirección-x junto con la ecuación de continuidad, bajo las siguientes suposiciones:

- 1) el canal es horizontal y prismático,
- 2) la distribución de presiones es hidrostática antes y después del resalto,
- 3) la tensión de corte se desprecia
- 4) los coeficientes de momento o de Boussinesq son $\beta_0 = \beta_4 = 1$
- 5) la tensión de Reynolds en la superficie del volumen de control no se tiene en cuenta.

$$(Ah_g)_3 - (Ah_g)_4 = \frac{Q^2}{g} \frac{A_0 - A_4}{A_0 A_4} \quad (26)$$

donde el subíndice “0” se refiere a parámetros hidráulicos en la sección de salida o “desagüe”, el subíndice “3” se refiere al comienzo del resalto sumergido, y el subíndice “4” se refiere al final del resalto sumergido.

Para el caso de un canal rectangular, se puede derivar la siguiente expresión:

$$\frac{y_3}{y_0} = \sqrt{\frac{2F_0^2 \left(1 - \left(\frac{y_4}{y_0}\right)\right)}{\left(\frac{y_4}{y_0}\right)} + \left(y_4 / y_0\right)^2} \quad (27)$$

Si $\frac{y_3}{y_0} = 1$ en la Ec. (27), ésta coincide con la Ec. (23) para profundidad seciente del resalto libre.

En la Fig. 14 se da una representación gráfica de la Ec. (27), mostrando una estrecha concordancia entre los valores teóricos y los valores experimentales calculados para nuestros ensayos. Para cada número de Froude se han obtenido cuatro puntos $\left(\frac{y_4}{y_0}, \frac{y_3}{y_0}\right)$ correspondientes a las cuatro condiciones de sumergencia creadas para cada F .

Como se ve en la Fig. 14, el valor más grande de $\frac{y_3}{y_0}$ ó $\frac{y_4}{y_0}$, y el valor de F_0 más cercano a 1, nos acerca a unos valores donde la superficie de agua llega a ser horizontal $\left(\frac{y_3}{y_0} = \frac{y_4}{y_0}\right)$.

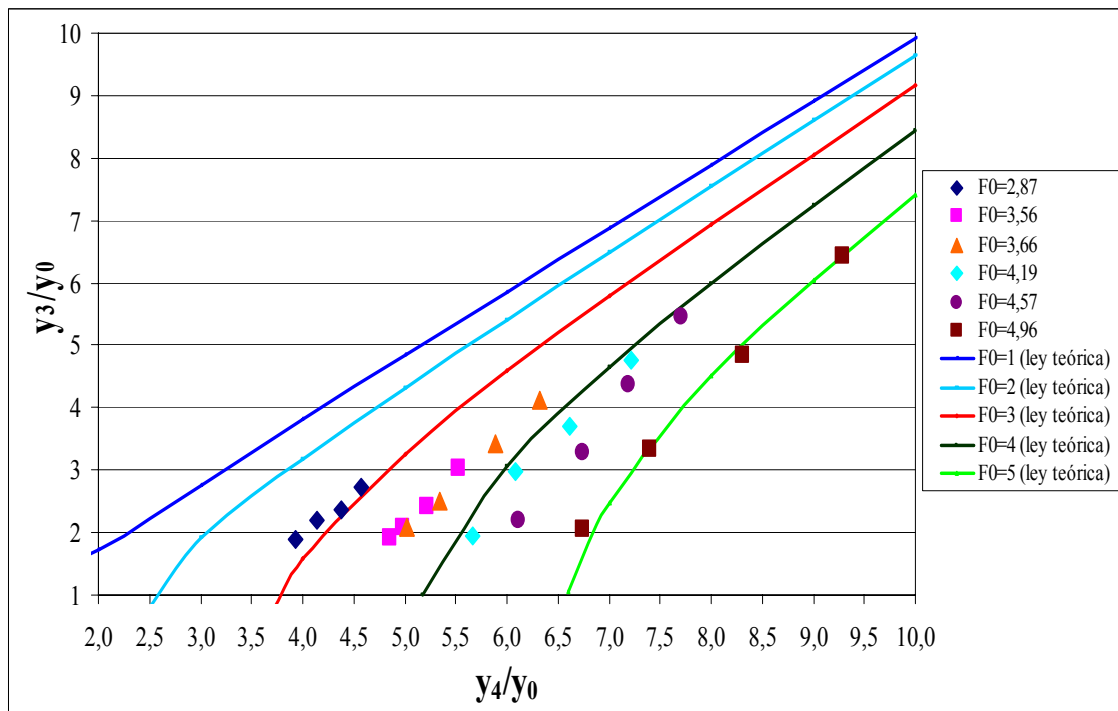


Fig. 14. Relación entre $\frac{y_3}{y_0}$ y $\frac{y_4}{y_0}$

Las figuras 15 (a), (b) y (c), también muestran, para un valor dado de F_0 el rango de $\frac{y_3}{y_0}$ o

$\frac{y_4}{y_0}$, en el que la superficie del agua se aproximará a un nivel horizontal (la función

$$y_4 / y_3 = f\left(\frac{y_4}{y_0} / \frac{y_3}{y_0}\right) \approx 1).$$

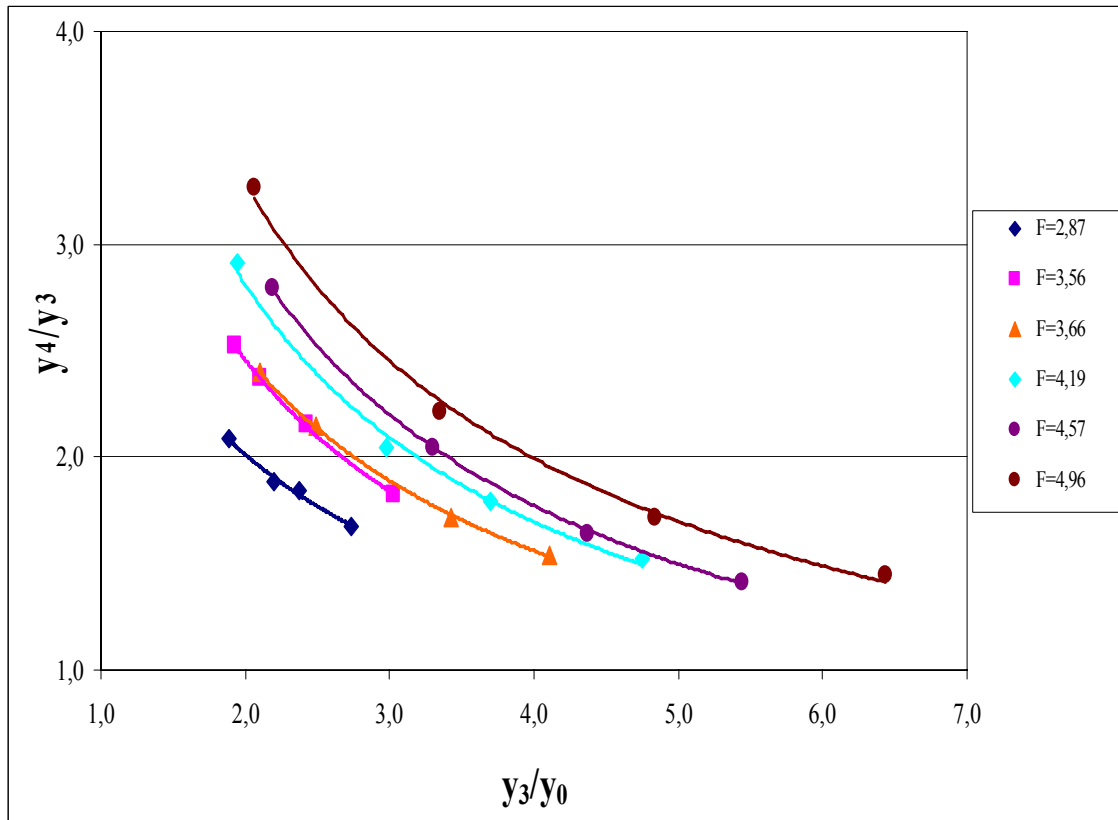


Fig. 15(a). Variación de y_4/y_3 con y_3/y_0

En la figura 15 (a) la superficie del agua será aproximadamente horizontal para $\frac{y_3}{y_0} \geq 20$, ya

que la tendencia para valores grandes de y_3/y_0 es que la relación y_4/y_3 se va acercando a 1 asintóticamente. Los valores menores de y_3/y_0 indican un índice de sumergencia menor del resalto, y a medida que se va sumergiendo el resalto hidráulico, el parámetro y_3/y_0 va creciendo. También se puede observar que aunque la tendencia se mantiene constante, a medida que aumentamos el número de Froude del resalto sumergido, la relación y_4/y_3 va aumentando, es decir, para un mismo valor de y_3/y_0 , la relación y_4/y_3 se desplaza hacia arriba.

A continuación representamos los resultados incluyendo como parámetro el número de Froude F_0 , consiguiéndose de esta forma que los datos colapsen en una única función:

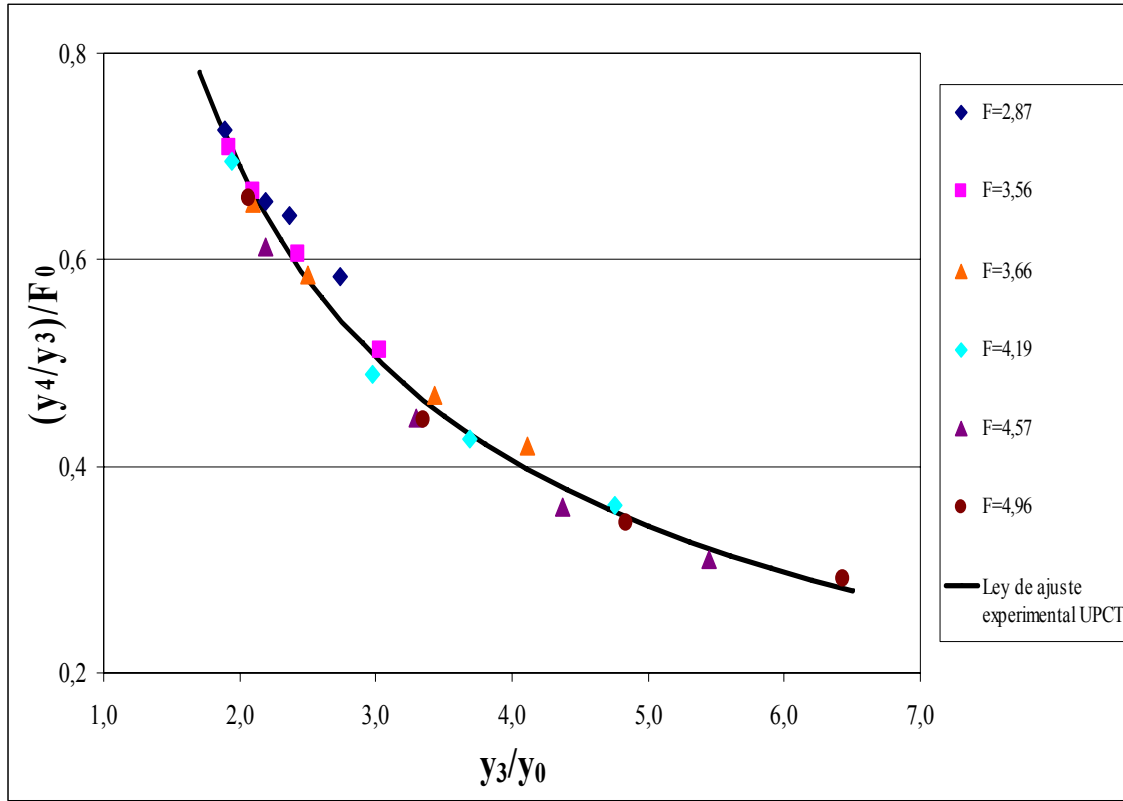


Fig. 15(b). Variación de $(y_4/y_3)/F_0$ con y_3/y_0

La ley de ajuste experimental representada en la Fig. 15 (b) es la Ec. (28) y con ella se ha obtenido un grado de ajuste de los resultados experimentales de $R^2=0,984$:

$$(y_4 / y_3) = [1,1728(\frac{y_3}{y_0})^{-0,7661}]F_0 \quad (28)$$

En la figura 15 (c) se observa que la superficie del agua será aproximadamente horizontal para $\frac{y_4}{y_0} \geq 20$, porque para valores grandes de y_4/y_0 la relación y_4/y_3 va acercándose a 1

asintóticamente. Se observa que al igual que en la Fig. 15 (a), aunque la tendencia se mantiene constante, conforme aumenta el número de Froude del resalto sumergido, la relación y_4/y_3 va aumentando. Analizando cada número de Froude por separado se ve que un valor menor de y_4/y_0 indica una sumergencia del resalto menor. La línea continua indica el caso de un resalto libre supuesto en el que y_4/y_0 se corresponde con la relación y_4/y_3 ya que en el caso de resaltos libres el parámetro y_3 es equivalente a y_0 . Por esta razón, los

puntos de cada perfil representado para cada F , más cercanos a dicha recta se corresponden con los resaltos sumergidos con menor índice de sumergencia.

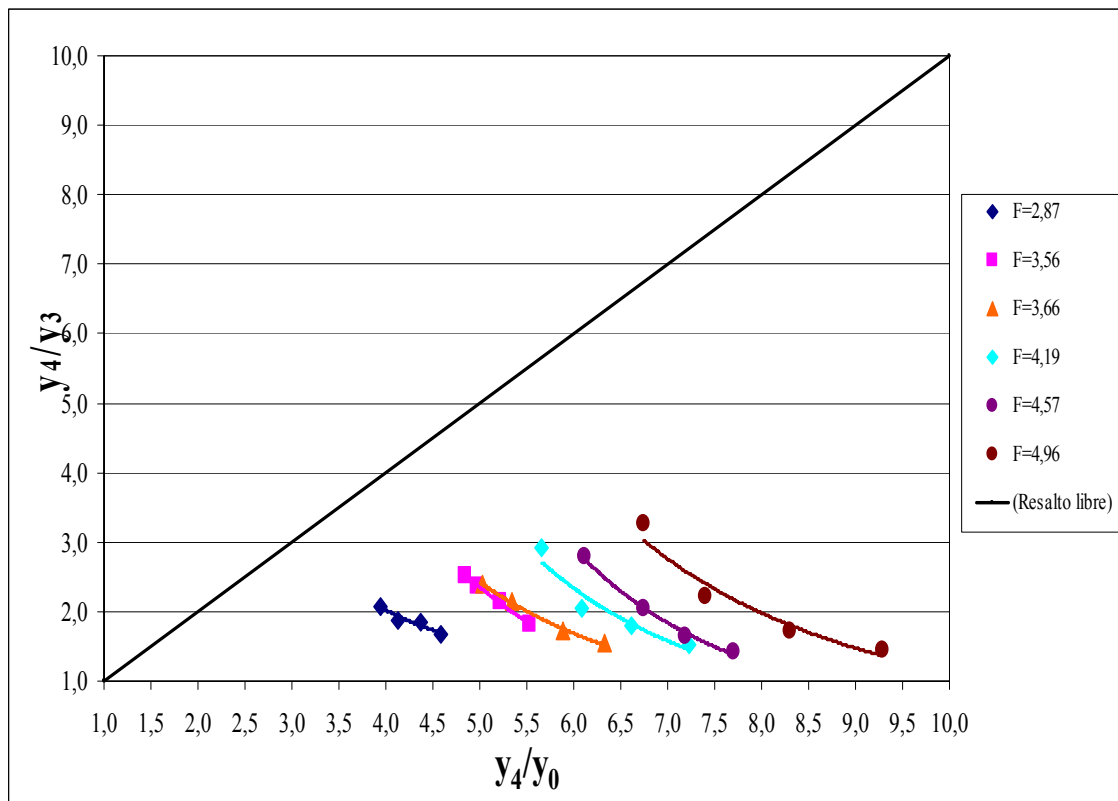


Fig. 15(c). Variación de $y_4 / y_3 = f\left(\frac{y_4}{y_0}\right)$

4.4. Pérdida de energía en los resaltos hidráulicos

4.4.1. Resaltos hidráulicos libres

Aplicando la ecuación de la energía del flujo medio para la zona de resalto ($0 \leq x \leq L_j$), se obtiene la Ec. (29). En este caso, los términos de tensión viscosa media y los efectos de la tensión de Reynolds en la superficie de control no se tienen en cuenta:

$$\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_1 y_1 = \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \lambda_2 y_2 + \left[-\frac{1}{\gamma} \int_{(D)} \{ \rho(\overline{u'^2} - \overline{v'^2}) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \} dw \right] \quad (29)$$

donde:

α es el coeficiente de energía o de Coriolis

$dw (= dA \cdot ds)$ es el volumen elemental infinitesimal

$$\lambda = 1 + (1/Qh) \int_{(A)} (\Delta p / \gamma) u dA$$

En las secciones $x=0$ y $x=L_j$, es posible poner $\alpha = 1$ y $\lambda = 1$.

De acuerdo con esto, la Ec. (29) puede ser expresada como la Ec. (30):

$$\frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{v_2^2}{2g} + y_2 + \left[-\frac{1}{\gamma} \int_0^{L_j} \int_0^{y(x)} \{ \rho(\overline{u'^2} - \overline{v'^2}) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \} dy dx \right] \quad (30)$$

Si la ecuación de energía para la turbulencia es aplicada a los resaltos, se obtiene la Ec. (31). En este caso, los términos de tensión viscosa media, la difusión de energía turbulenta, los efectos de las fluctuaciones de presión y las tensiones viscosas causadas por la turbulencia en la superficie de control no se tienen en cuenta comparados con otros factores:

$$Prod.Turb. = Disip.Vis. + Convecc.Turb. \quad (31)$$

donde:

$Prod.Turb.$ = [tercer término en el lado de la derecha de la Ec. (30)] = Cantidad total de energía transferida desde el flujo medio a la energía turbulenta (producción turbulenta).

Disip.Vis.= Disipación viscosa

Convecc.Turb.= Convección de energía turbulenta (relación en que la energía cinética turbulenta es transmitida)

$$Disip.Vis.=\frac{1}{\gamma}\int_0^{L_j}\int_0^{y(x)}\mu\left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j'}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i'}{\partial x_j}dydx$$

$$Convecc.Turb.=\frac{1}{\gamma}\int_0^{y_2}\rho\frac{\overline{V'^2}}{2}udy$$

donde $V'^2 = u'^2 + v'^2 + w'^2$

De la Ec. (30) y la Ec. (31), se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$H_1=H_2+(Disip.Vis.+ Convecc.Turb.) \quad (32)$$

donde:

$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + y_1$$

$$H_2 = \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

Sin embargo, la Ec. (32) puede ser rescrita en la forma de la Ec.(33):

$$100(\%) = \left(\frac{Disip.Vis.}{(H_1 - H_2)} + \frac{Ind.Turb.}{(H_1 - H_2)} \right) 100(\%) \quad (33)$$

Ohtsu et al. a partir de las medidas de velocidad media $\bar{u}$ e intensidad turbulenta $\overline{u'^2}$ en las secciones donde $x \geq L_j$, y haciendo uso de la suposición de que $\overline{V'^2} = 2\overline{u'^2}$, obtienen los valores de $(Convecc.Turb.)_x$

	F_1	Convecc.Turb./ (H_1-H_2) (%)	Disip.Vis./ (H_1-H_2) (%)
Caso a	3,79	5,4	94,6
Caso a	4,05	3,5	96,5
Caso a	5,19	3,0	97,0
Caso a	5,83	2,5	97,5
Caso a	7,12	1,5	98,5
Caso a	8,19	1,0	99,0
Caso b	3,93	4,2	95,8
Caso b	4,29	5,0	95,0
Caso b	4,47	4,7	95,3
Caso b	5,04	1,7	98,3
Caso b	5,68	1,3	98,7

Tabla 1. Valores de Convecc.Turb./ (H_1-H_2) y Disip.Vis./ (H_1-H_2)

Encuentran que los valores de $Disip.Vis./ (H_1-H_2)$ resultan ser muy superiores a los de $Convecc.Turb./ (H_1-H_2)$ en la medida en que $Disip.Vis./ (H_1-H_2)$ representa entre el 94 y el 99% y $Convecc.Turb./ (H_1-H_2)$ representa entre el 1 y el 6% en la disipación de la turbulencia. Por esta razón, se puede concluir que $Convecc.Turb./ (H_1-H_2)$ es despreciable.

De este modo, se pueden derivar la Ec. (34) y Ec. (35):

$$H_1 = H_2 + Disip.Vis. \quad (34)$$

$$Prod.Turb.=Disip.Vis. \quad (35)$$

En otras palabras, cuando $x \leq L_j$, la mayoría de la turbulencia se ha disipado por disipación viscosa (fenómeno de disipación de energía en cascada).

De acuerdo con esto, L_j puede ser interpretado como la longitud de la zona necesaria para que la disipación de energía en el resalto se complete, y la pérdida de energía H_L entre el inicio ($x=0$) y el final ($x=L_j$) del resalto puede ser expresada mediante la siguiente ecuación unidimensional:

$$H_L = H_1 - H_2 = (v_1^2 / 2g + y_1) - (v_2^2 / 2g + y_2) \quad (36)$$

Usando la Ec. (36) junto con la ecuación de continuidad, la pérdida de energía relativa puede ser expresada con la Ec. (37):

$$\frac{H_L}{H_1} = \frac{2(1 - \frac{y_2}{y_1}) + (1 - \frac{1}{(y_2 / y_1)^2})F_1^2}{2 + F_1^2} \quad (37)$$

Analizando la Ec. (37) y la Ec. (23), la relación entre H_L/H_1 y F_1 se representa en la Fig. 16(a):

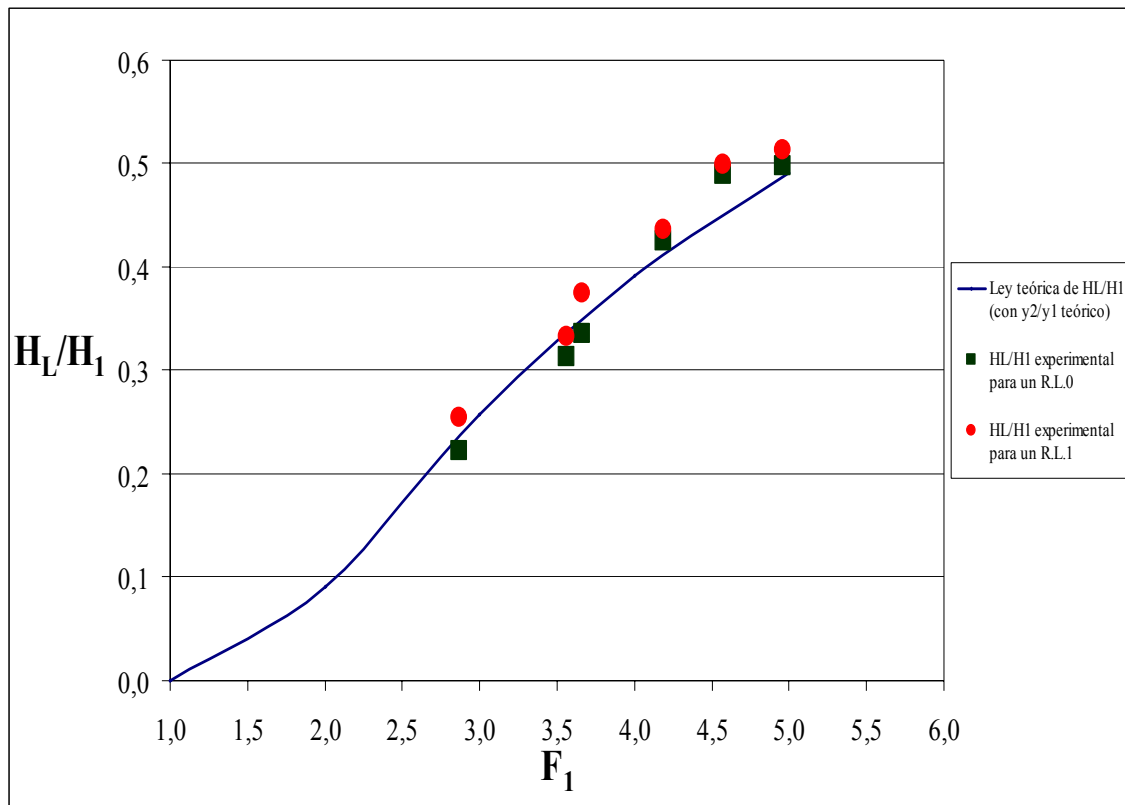


Fig. 16 (a). Pérdida de energía relativa en resaltos libres

Analizando la representación de la pérdida de energía relativa en los dos resaltos libres estudiados en función de los valores de Froude considerados y la relación correspondiente y_2/y_1 según la Ec. (23) (Ecuación de Bélanger de los calados conjugados), junto con la ley teórica propuesta según la Ec. (37), se observa que el resultado de la comparación entre los valores teóricos y los experimentales es satisfactorio aún teniendo en cuenta que para $F=4,57$ los resultados experimentales se desvían algo más de los teóricos correspondientes. Es importante tener en cuenta que para el resalto libre formado al pie de la compuerta (R.L.1) existe una pérdida de energía relativa mayor que en el resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0), constituyendo parte de esta diferencia de energía relativa, la pérdida de energía relativa que se produce a través de la curva de remanso H_3 parcialmente desarrollada, hasta aproximadamente los 14 cm de longitud (Fig. 16(b)).

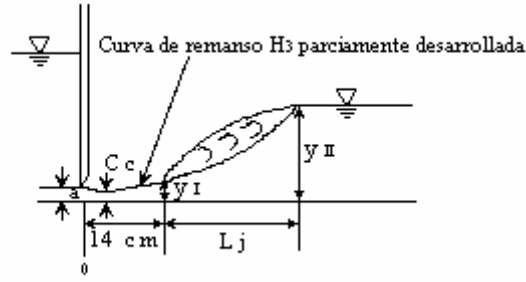


Fig. 16 (b). Esquema del resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta

4.4.2. Resaltos hidráulicos sumergidos

Basándonos en consideraciones similares a las señaladas para el caso de resaltos libres:

$$H_0 = H_4 + (Disip.Vis. + Convecc.Turb.) \quad (38)$$

y

$$100(\%) = [Disip.Vis. / (H_0 - H_4) + Convecc.Turb. / (H_0 - H_4)] \times 100(\%) \quad (39)$$

donde:

$$H_0 = \lambda_3 y_3 + \alpha_0 v_0^2 / 2g$$

$$H_4 = \lambda_4 y_4 + \alpha_4 v_4^2 / 2g$$

$$\lambda_3 = \lambda_4 = 1$$

$$\alpha_0 = \alpha_4 = 1$$

$$Disip.Vis. = \frac{1}{\gamma} \int_0^{Lsj} \int_0^{y(x)} \mu \left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} dy dx$$

$$Ind.Turb. = \frac{1}{\gamma} \int_0^{y^4} \rho \frac{\overline{V'^2}}{2} u dy$$

De las medidas de velocidad media $\bar{u}$ e intensidad turbulenta $\overline{u'^2}$ en las secciones donde $x \geq L_{sj}$, y haciendo uso de la suposición de que $\overline{V'^2} = 2\overline{u'^2}$, se obtienen los valores de $(Ind.Turb.)_x$ en las secciones donde $x \geq L_{sj}$, donde:

$$(Convecc.Turb.)_x = \frac{1}{\gamma} \frac{1}{q} \left(\int_0^{y^4} \rho \frac{\overline{V'^2}}{2} u dy \right)_{x=x}$$

$$(Convecc.Turb.)_x = \frac{1}{\gamma} \frac{1}{q} \left(\int_0^{y^4} \rho \frac{\overline{V'^2}}{2} u dy \right)_{x=x}$$

Siendo q el caudal unitario circulante.

También, el valor de $Disip.Vis.$ se ha determinado por sustitución de los valores H_0 , H_4 y $(Convecc.Turb.)_{x=L_{sj}}$ en la Ec. (38).

Al igual que para el caso de los resaltos libres los valores de $Disip.Vis./(H_0-H_4)$ resultan ser muy superiores a los de $Convecc.Turb./(H_0-H_4)$ y por este motivo se puede concluir que $Ind.Turb./(H_0-H_4)$ es despreciable. Entonces,

$$H_0 = H_4 + Disip.Vis. \quad (40)$$

$$Prod.Turb. = Disip.Vis. \quad (41)$$

De acuerdo con esto, L_{sj} se interpreta como la longitud de la zona requerida para disipar el total de la energía perdida en el resalto sumergido, y la pérdida de energía entre el inicio ($x=0$) y el final ($x=L_{sj}$) del resalto sumergido puede ser expresada mediante la siguiente ecuación unidimensional:

$$H_L = (v_0^2 / 2g + y_3) - (v_4^2 / 2g + y_4) \quad (42)$$

Usando la Ec. (42) junto con la ecuación de continuidad, la pérdida de energía relativa puede ser expresada con la Ec. (43):

$$\frac{H_L}{H_0} = \frac{2\left(\frac{y_3}{y_0} - \frac{y_4}{y_0}\right) + (1 - 1/(y_4/y_0)^2)F_0^2}{2(y_3/y_0) + F_0^2} \quad (43)$$

Si $\frac{y_3}{y_0} = 1$ y $F_0 = F_I$, la Ec. (43) se reduce a la ecuación del resalto libre (Ec.(37)).

La relación $H_L / H_0 = f(F_0, \frac{y_3}{y_0})$ para valores dados de $\frac{y_3}{y_0}$, derivada de las Ecs. (43) y

(27) se muestra en la Fig. 17 (a) con línea continua para cada valor de $\frac{y_3}{y_0}$ considerado. La

línea punteada en la Fig. 17 (a) indica la pérdida de energía para el caso del resalto libre.

Los resultados obtenidos experimentalmente los hemos representado en grupos según el intervalo de $\frac{y_3}{y_0}$ al que pertenecen y como se puede ver se encuentran dentro de los

márgenes teóricos, lo que permite concluir que se han conseguido unos buenos resultados experimentales. Al igual que para el caso de los resaltos libres se observa que los números de Froude mayores se corresponden con pérdidas de energía relativa mayores.

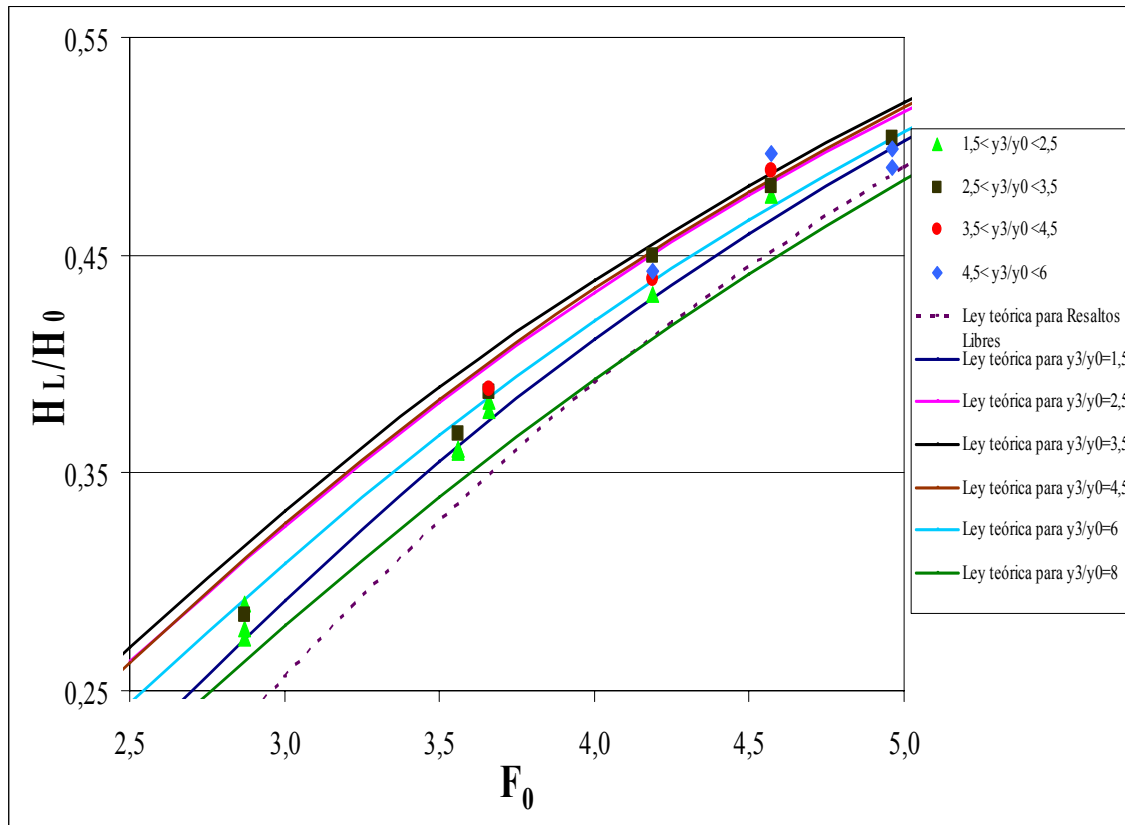


Fig. 17 (a). Pérdida relativa de energía en resaltos sumergidos: $H_L / H_0 = f(F_0, \frac{y_3}{y_0})$

Esta figura aclara que la pérdida de energía en un resalto sumergido es mayor que la correspondiente en el resalto libre en un rango aproximado $1 < \frac{y_3}{y_0} < 7$ y $2 \leq F_0 \leq 4,1$. En otras palabras, bajo ciertas condiciones de sumergencia, es posible hacer un uso efectivo del resalto sumergido como disipador de energía.

La Fig. 17 (b) representada a continuación muestra la relación $H_L / H_0 = f(\frac{y_3}{y_0}, F_0)$ derivada de las Ec. (43) y (27) para valores dados de F_0 .

Como se puede ver los resultados experimentales obtenidos pueden ser calificados de satisfactorios en los rangos en los que se ha trabajado, dado que los resultados experimentales para cada valor de F_0 ensayado concuerdan con las leyes teóricas representadas. En esta figura se aprecia claramente que para valores menores de F_0 , la disipación de energía relativa es inferior que para F_0 mayores. Destacar también que, para números de Froude mayores se ha conseguido experimentar en un intervalo más amplio de y_3/y_0 , al contrario que para los F_0 menores, para los que no se han podido conseguir grandes valores de sumergencia, considerando las dimensiones del canal de nuestro laboratorio.

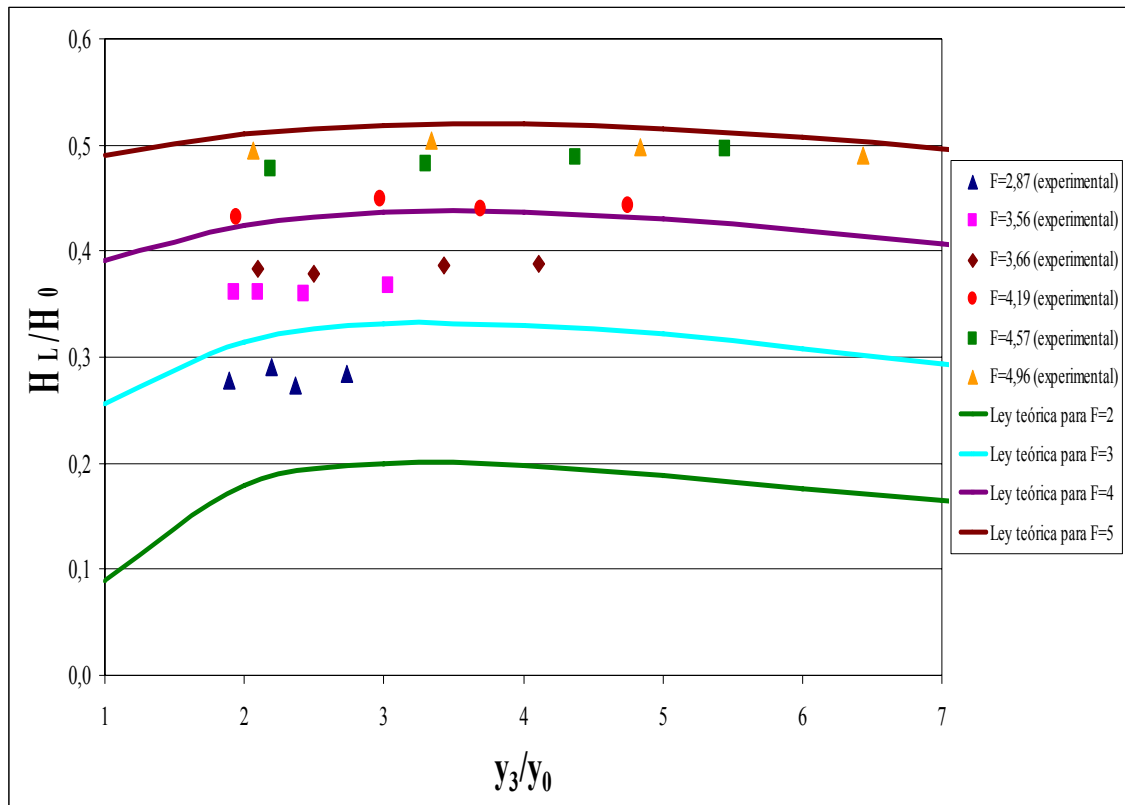


Fig. 17 (b). Pérdida de energía relativa en resaltos sumergidos: $H_L / H_0 = f(\frac{y_3}{y_0}, F_0)$

Otra manera de evaluar la disipación de energía en resaltos libres y sumergidos es utilizando la expresión clásica siguiente:

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)} \quad (44)$$

En la Tabla 2 se indica el porcentaje de disipación de energía en el rango de números de Froude considerados.

Resultados Teóricos		
F₁	H₂/H₁	Porcentaje de disipación de energía en velocidades teóricas medias
2,50	0,82	17,52
3,00	0,74	25,67
3,50	0,67	32,90
4,00	0,61	39,14
4,50	0,56	44,48
5,00	0,51	49,06
5,50	0,47	53,00

Tabla 2. Resultados teóricos

Para tratar los resultados experimentales obtenidos en laboratorio se ha calculado la disipación de energía en los resaltos hidráulicos considerando las velocidades medias. El valor de velocidad media se ha considerado como el intermedio entre el valor de velocidad media en la sección 4 al final del resalto donde $x=L_j$ y el valor de velocidad máxima obtenido en la sección 5 localizada a una distancia intermedia entre el final del resalto y la mitad del canal. Se han utilizado las siguientes expresiones para calcular la disipación de energía:

$$\% \text{ de disipación de energía} = \left(1 - \frac{H_2}{H_1}\right) \times 100 \quad (45)(a)$$

para el caso de los resaltos libres, donde : $H_1 = (v_1^2 / 2g + y_1)$ y $H_2 = (v_2^2 / 2g + y_2)$

$$\% \text{ de disipación de energía} = \left(1 - \frac{H_4}{H_0}\right) \times 100 \quad (45)(b)$$

para el caso de los resaltos sumergidos, donde: $H_0 = (v_0^2 / 2g + y_3)$ y $H_4 = (v_4^2 / 2g + y_4)$

Como se puede observar en las figuras 17 (c) y 17 (d) existe un buen acorde entre las disipaciones de energía para velocidades medias en los resaltos libres y sumergidos y los correspondientes valores teóricos. En la figura 17 (c) es importante tener en cuenta que para el resalto libre formado al pie de la compuerta (R.L.1) existe una pérdida de energía relativa mayor que en el resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0), constituyendo parte de esta diferencia de energía relativa, la pérdida de energía relativa que se produce a través de la curva de remanso H_3 parcialmente desarrollada, hasta aproximadamente los 14 cm de longitud. También es relevante indicar que comparando las

figuras 17 (c) y 17 (d) se observa que la disipación de energía para resaltos sumergidos es ligeramente superior al caso de los resaltos libres.

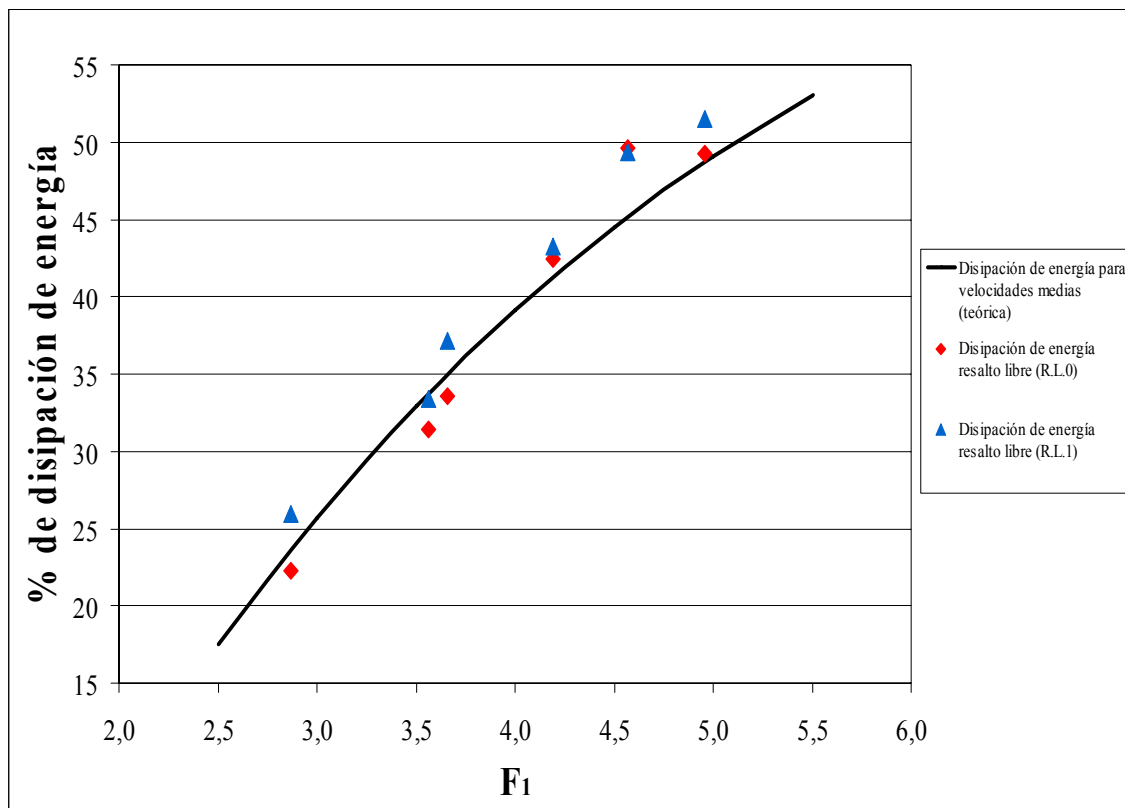


Fig. 17 (c). Disipación de energía en resaltos libres para velocidades medias

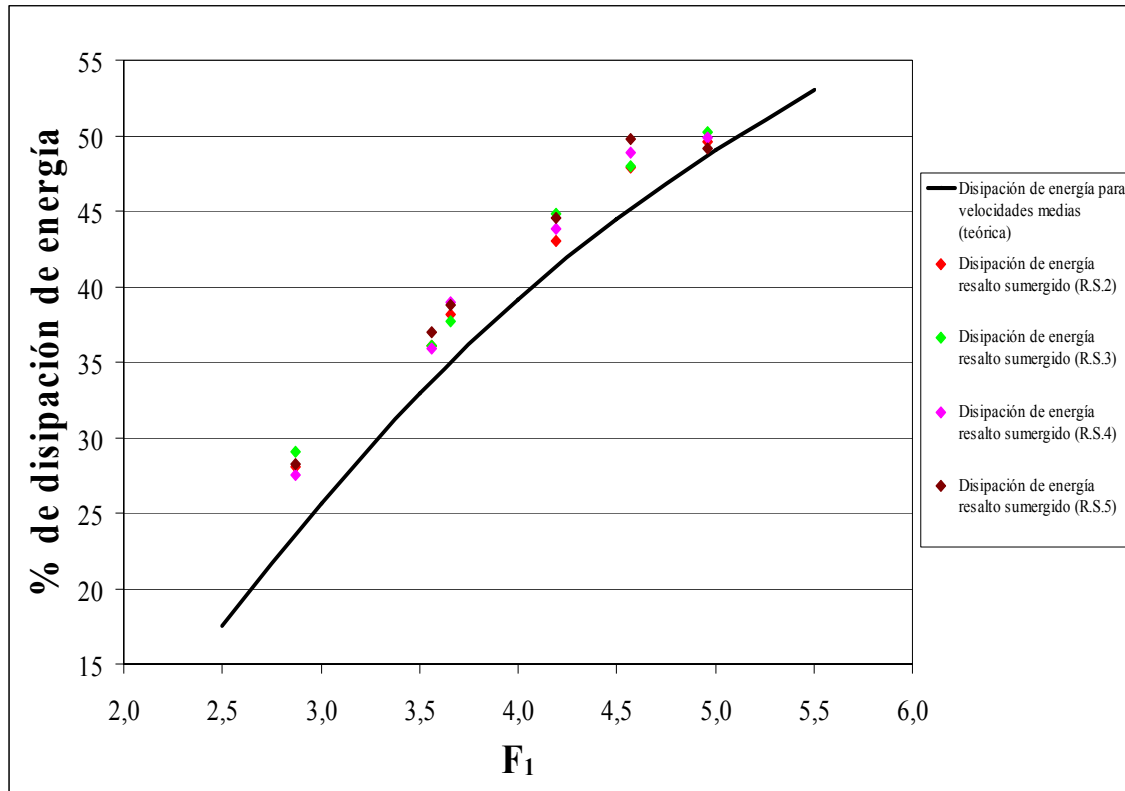


Fig. 17 (d). Disipación de energía en resaltos sumergidos para velocidades medias

Por último se ha evaluado la disipación de energía en los resaltos hidráulicos debida únicamente a la reducción de velocidades máximas entre la sección inicial del resalto($x=0$) y la sección final del mismo donde $x=L_j$. Se han utilizando las siguientes expresiones:

$$\% \text{ reducción de velocidad máxima experimental} = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right) \times 100 ; \quad (46)(a)$$

para el caso de los resaltos libres.

$$\% \text{ reducción de velocidad máxima experimental} = \left(1 - \frac{v_4}{v_0}\right) \times 100 ; \quad (46)(b)$$

para el caso de los resaltos sumergidos.

Los resultados obtenidos para los resaltos libres y sumergidos se muestran en las figuras 17 (e) y 17 (f) respectivamente:

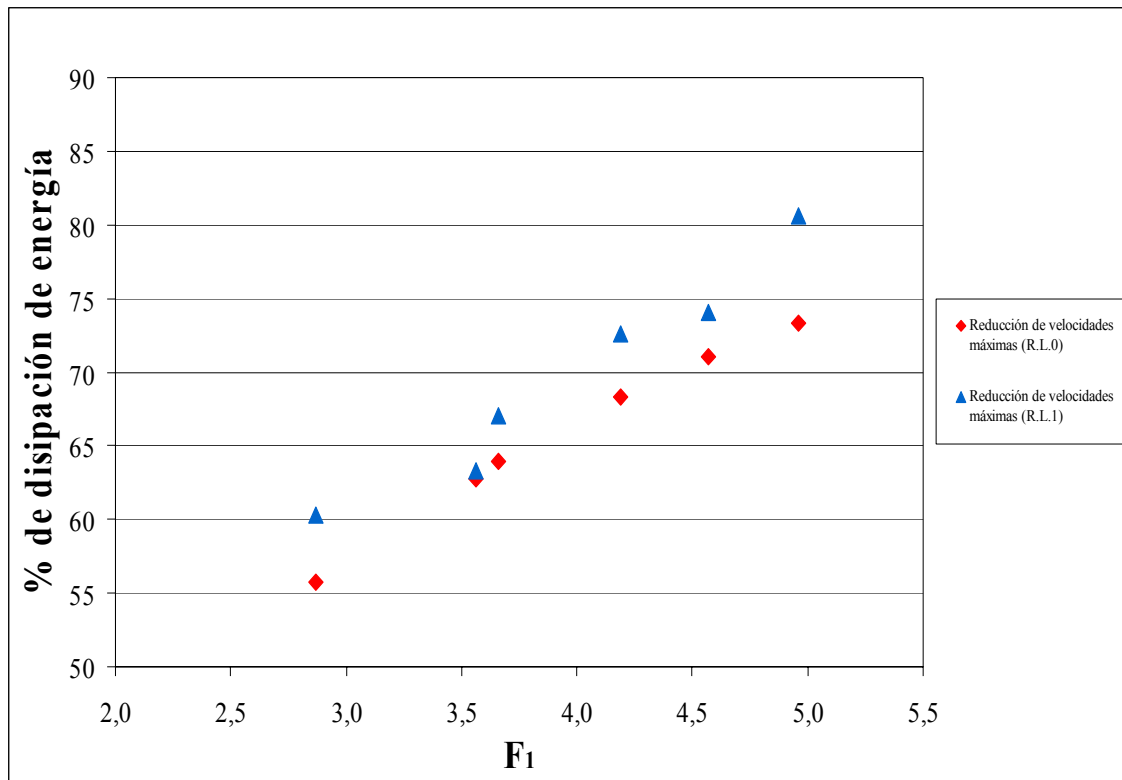


Fig. 17 (e). Disipación de energía en resaltos libres debido únicamente a la reducción de velocidades máximas

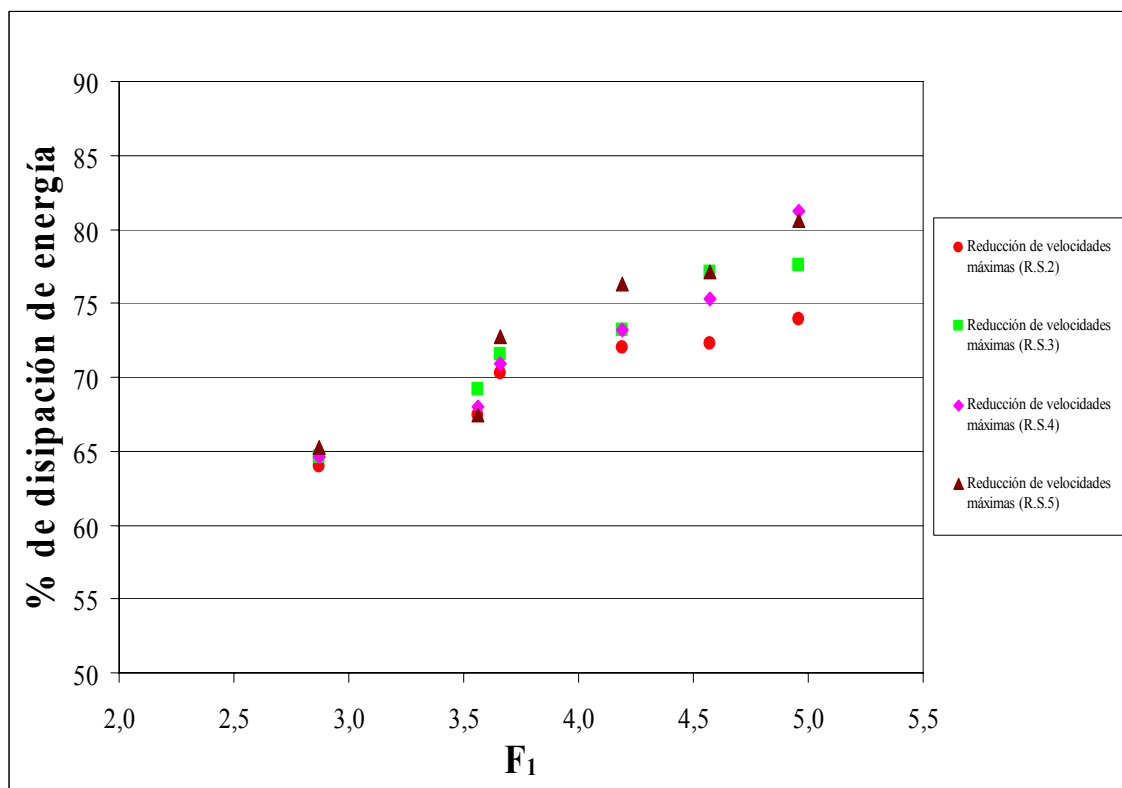


Fig. 17 (f). Disipación de energía en resaltos sumergidos debido únicamente a la reducción de velocidades máximas

4.5. Longitud del resalto hidráulico

Con respecto a la longitud del resalto hidráulico, muchos datos experimentales han sido analizados sin ninguna base teórica. Se ha intentado incluso analizar los datos considerando el significado físico.

Si la longitud del resalto L es interpretada como la longitud de la zona requerida para disipar la energía en el resalto, entonces L debería ser función de la energía específica H_* al comienzo del resalto y de la energía perdida H_L en el resalto (Fig. 18), implicando la siguiente relación:

$$f(L/H_L, H_L/H_*) = 0 \quad (47)$$

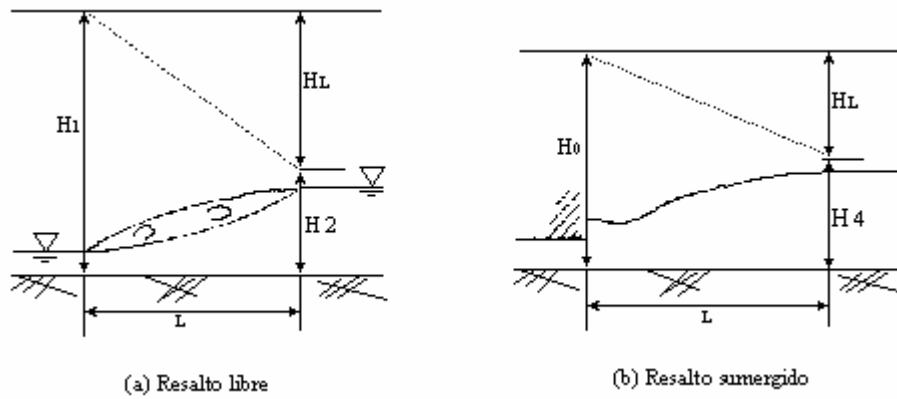


Fig. 18. Relación entre L y H_L

4.5.1. Resaltos hidráulicos libres

En el caso del resalto libre, la relación (47) puede ser expresada como:

$$f(L_j/H_L, H_L/H_1) = 0 \quad (48)$$

siendo L_j : longitud del resalto libre

También, L_{rj} : longitud del rulo y L_t : longitud total, se asumen como proporcionales a L_j :

$$L_{rj} \propto L_j \propto L_t \quad (49)$$

De las relaciones (48) y (49), se derivan las relaciones (50) y (51):

$$f(L_{rj} / H_L, H_L / H_1) = 0 \quad (50)$$

$$f(L_t / H_L, H_L / H_1) = 0 \quad (51)$$

De acuerdo con datos experimentales y con las relaciones (48), (50) y (51), se aprecian claras correlaciones que se indican en la Fig. 19 donde se representan las siguientes ecuaciones:

$$\log_{10} \frac{L_{rj}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,40; \quad \text{para } (2,3 \leq F_1 \leq 9,5) \quad (52)$$

$$\log_{10} \frac{L_j}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,58; \quad \text{para } (2,3 \leq F_1 \leq 9,5) \text{ y } (0,14 \leq H_L/H_1 \leq 0,71) \quad (53)$$

$$\log_{10} \frac{L_t}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,72; \quad \text{para } (2,3 \leq F_1 \leq 9,5) \quad (54)$$

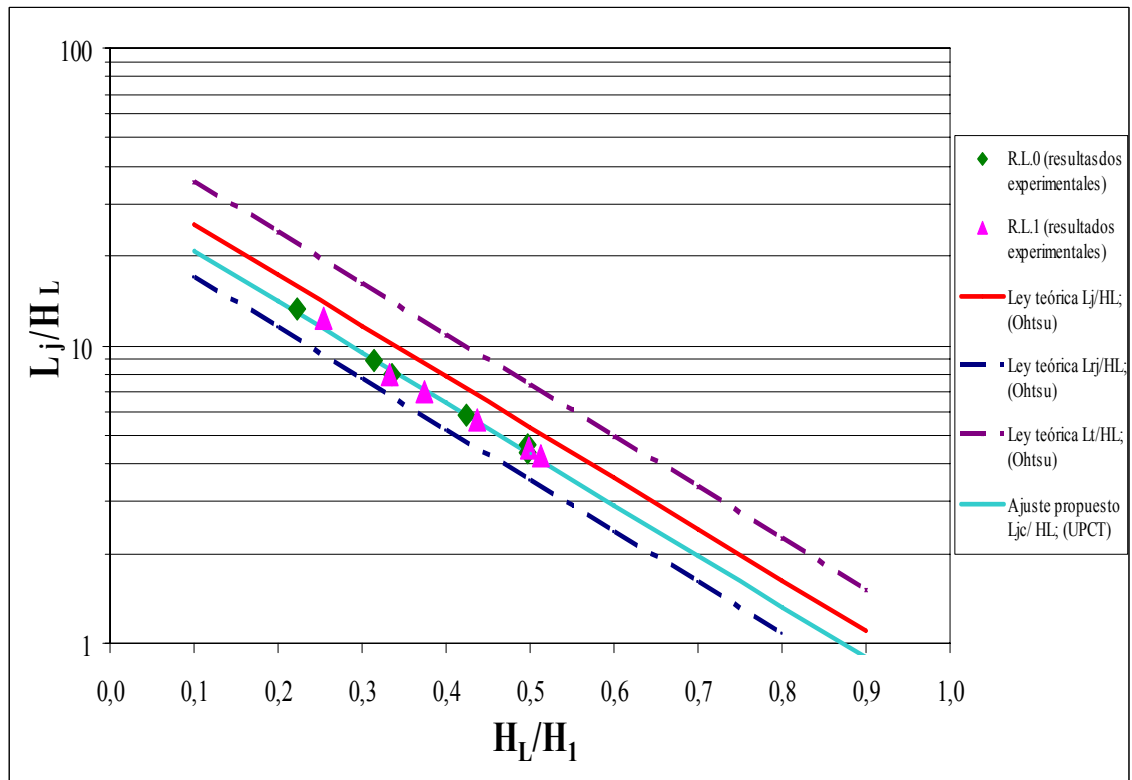


Fig. 19. Relación entre L_j/H_L y H_L/H_1

Con respecto a los resultados que muestra la Fig. 19 se puede hacer la siguiente interpretación: la pérdida de energía relativa más grande H_L/H_1 se da cuando el remolino

superficial y las fluctuaciones de la velocidad turbulenta son mayores; así, cuando el gradiente de la línea de energía H_L/L_j es mayor, entonces L_j/H_L será menor. Como contraste, la relación H_L/H_I más pequeña se corresponde con un remolino superficial y unas fluctuaciones de la velocidad turbulenta menores; así, H_L/L_j es menor mientras L_j/H_L es mayor. Comparando las leyes teóricas propuestas por Ohtsu et al. con los resultados experimentales se observa que los datos experimentales para ambos resaltos siguen la misma tendencia y pendiente que las teóricas, pero con un matiz: los valores que se han considerado en la gráfica para ambos resaltos ensayados se corresponden con medidas de longitud de resalto L_{jc} y éstos se encuentran entre la ley teórica para la longitud de resalto L_j y la ley teórica para la longitud del rulo L_{rj} , lo que nos indica que el criterio de longitud L_{jc} considerado en nuestros ensayos se encuentra entre los valores de L_j y L_{rj} , cumpliendo el criterio establecido. Por este motivo se propone a continuación una ley (Ec. (55)) que se ajusta exactamente a nuestros resultados experimentales:

$$\log_{10} \frac{L_{jc}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_1} + 1,49; \quad \text{para } (2,87 \leq F_1 \leq 4,96) \quad (55)$$

4.5.2. Resaltos hidráulicos sumergidos

En el caso del resalto sumergido, la relación (47) puede ser expresada de la siguiente forma:

$$f(L_{sj} / H_L, H_L / H_0) = 0 \quad (56)$$

Analizando los datos experimentales en base a la relación (56), se puede apreciar una clara correlación que se muestra en la Fig. 20, y se obtiene la siguiente ecuación:

$$\log_{10} \frac{L_{sj}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_0} + 1,58; \quad \text{para } (2,3 \leq F_0 \leq 10) \text{ y } (1 \leq y_3/y_0 \leq 20) \quad (57)$$

La Ec. (57) es idéntica a la Ec. (53) (resalto libre), constituyendo una expresión general que incluye el caso del resalto libre ($y_3/y_0=1$). El hecho de que las ecuaciones (57) y (53) sean idénticas tiene una explicación coherente dado que, como se ha demostrado en el apartado anterior, la pérdida de energía H_L en resaltos sumergidos es mayor que en resaltos libres y en consecuencia la longitud de resalto en los resaltos sumergidos será mayor que en los resaltos libres.

De acuerdo con la longitud del rulo L_{rsj} del resalto sumergido, si los datos experimentales de Rao y Rajaratnam (1963) se comparan con la relación (58), L_{rsj} puede también graficarse en la misma Fig. 20. Generalmente, se comprueba experimentalmente que $L_{rsj} \leq L_{sj}$, y para el caso de una gran inclinación superficial ($y_4/y_3 \geq 2$), L_{rsj} puede ser calculado desde la Ec. (59), que es la misma expresión que para la longitud del rulo del resalto libre (Ec.(52)) debido a que, al comprobarse que la pérdida de energía H_L en los resaltos sumergidos es mayor que en los resaltos libres, la longitud de rulo L_{rsj} en los resaltos sumergidos también ha de ser mayor.

$$f(L_{rsj} / H_L, H_L / H_0) = 0 \quad (58)$$

$$\log_{10} \frac{L_{rsj}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_0} + 1,40 \quad (59)$$

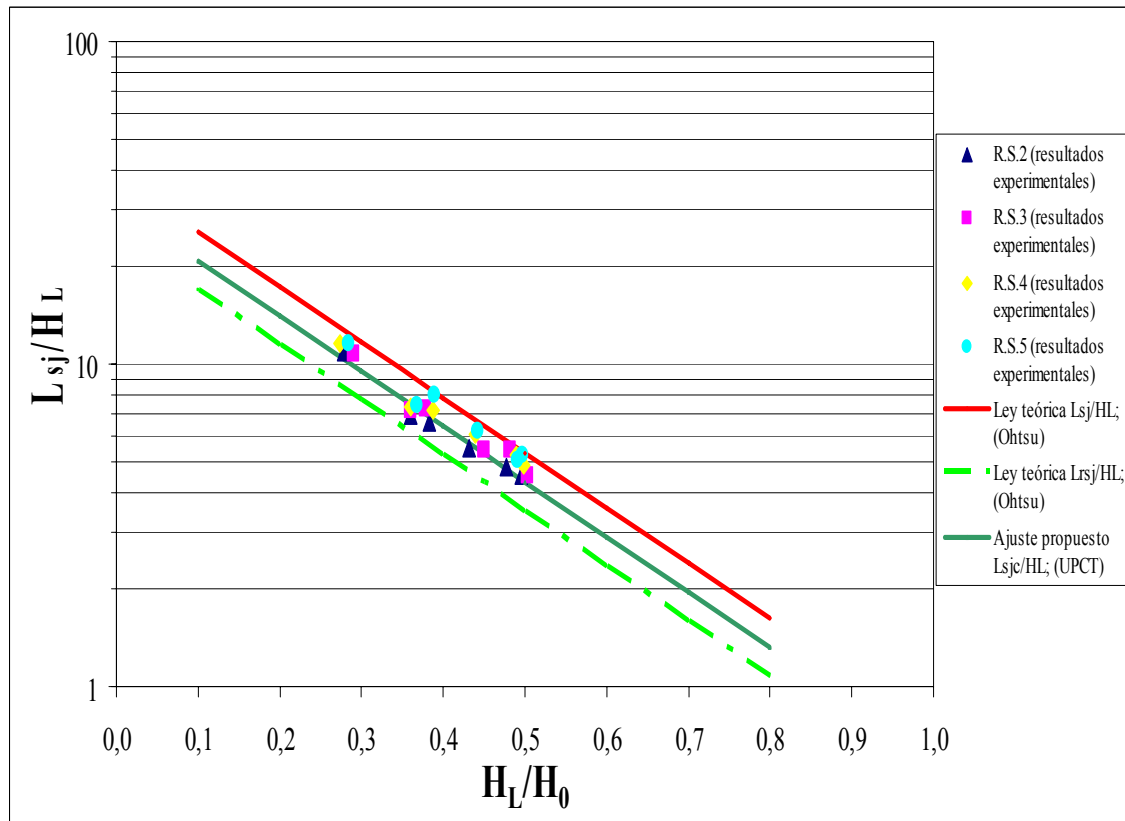


Fig. 20. Relación entre L_{sj}/H_L y H_L/H_0 en resaltos sumergidos

Analizando las leyes teóricas junto con los resultados experimentales se observa que la nube de puntos experimentales para todos los resaltos obtenidos e independientemente de su sumergencia, siguen una línea con la misma tendencia y pendiente que las teóricas, pero

teniendo en cuenta la misma consideración formulada para los resaltos libres: los valores considerados en la gráfica para los resaltos ensayados son los correspondientes a las medidas de longitud de resalto L_{sjc} y éstos se encuentran entre la ley teórica para la longitud de resalto L_{sj} y la ley teórica para la longitud del rulo L_{rsj} , verificándose de nuevo que el criterio de longitud de resalto seguido en este trabajo es correcto. Se propone a continuación una ley (Ec. (60)) que se ajusta exactamente a nuestros resultados experimentales:

$$\log_{10} \frac{L_{sjc}}{H_L} = -1,71 \frac{H_L}{H_0} + 1,49 ; \text{ para } (2,87 \leq F_0 \leq 4,96) \quad (60)$$

Una ecuación experimental para L_{sj} que ha sido propuesta antes de Ohtsu (1990), es la Ec. (61) de Rao y Rajaratnam (1963):

$$L_{sj} / y_2 = 4,9S + 6,1 \quad (61)$$

donde $S = (y_4 - y_2) / y_2 = y_4 / y_2 - 1$

Una comparación de la ecuación (61) con los datos experimentales obtenidos en nuestro estudio se presenta en la Figura 21.

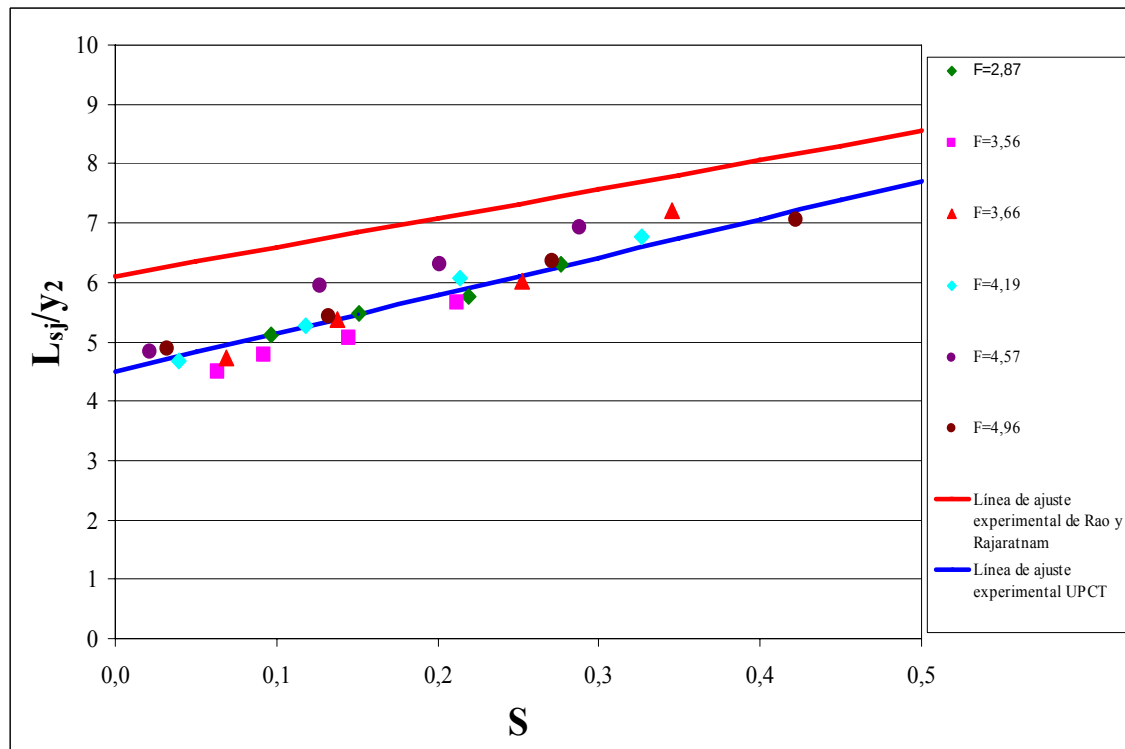


Fig. 21. Representación de la Ecuación de Rao y Rajaratnam

La Fig. 21 es similar a la Fig. 10 representada anteriormente y consecuentemente se obtienen unos resultados parecidos. Se puede observar claramente una diferencia entre la línea de ajuste dada por Rao y Rajaratnam (1963) (Ec. (61)) y la línea de ajuste que se ha propuesto según los resultados obtenidos (Ec. (62)):

$$L_{sjc} / y_2 = 6,4S + 4,5 \quad (62)$$

Como se observa en la Fig. 21 la línea de ajuste experimental está por debajo de la teórica, totalmente consistente con el criterio de longitud de resalto adoptado. En todo caso, la pendiente de la recta de nuestro ajuste, tiende asintóticamente a encontrarse con la recta de ajuste de Rao y Rajaratnam para valores altos de S .

Para el caso del resalto libre (Fig. 22 ($y_3/y_0=1$)), se puede obtener una descripción satisfactoria usando la siguiente relación:

$$L_j / H_L = f(F_1) \quad (63)$$

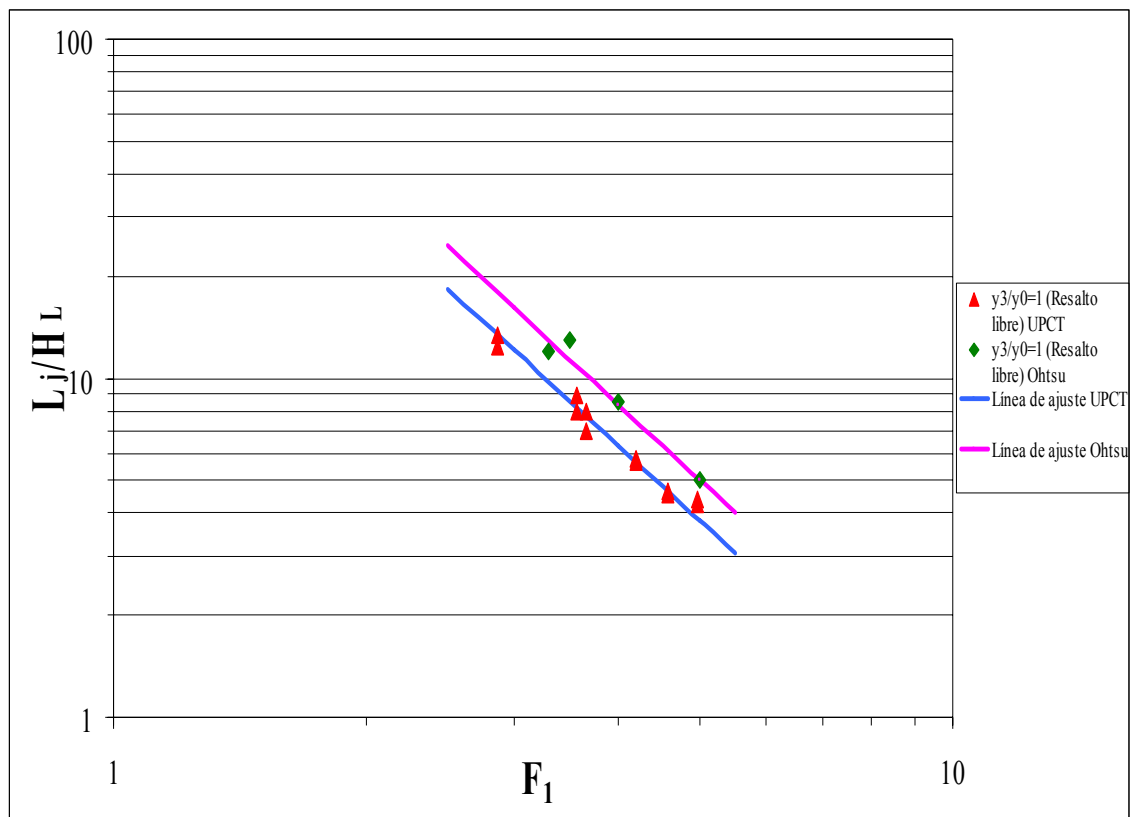


Fig. 22. Relación: $L_j / H_L = f(F_1)$

Se ha añadido una ley de ajuste para los resultados experimentales obtenidos en nuestros resaltos (Ec. (64)):

$$L_{jc} / H_L = 145,362(F_1)^{-2,264} \quad (64)$$

De igual forma se ha obtenido otra ley de ajuste para los resultados experimentales obtenidos por Ohtsu (Ec. (65)):

$$L_j / H_L = 202,305(F_1)^{-2,299} \quad (65)$$

Como se ve en la figura anterior los valores de L_j/H_L obtenidos por Ohtsu son algo mayores que los obtenidos en nuestros experimentos pero ambas leyes de ajuste siguen una misma tendencia.

Sin embargo, para el caso del resalto sumergido, si los datos experimentales son contrastados usando la relación (66), algunos valores experimentales están dispersos (Fig. 23), por la siguiente razón: de la relación (67) y la Ec. (27), se puede apreciar que se cumple la relación (68):

$$L_{sj} / H_L = f(F_0) \quad (66)$$

$$f(L_{sj} / H_L, F_0, \frac{y_3}{y_0}) = 0 \quad (67)$$

$$L_{sj} / H_L = f(F_0, \frac{y_3}{y_0} \text{ ó } \frac{y_4}{y_0}) \quad (68)$$

Entonces, si y_3/y_0 ó y_4/y_0 incrementa para valores dados de y_0 y F_0 , L_{sj} se hace mayor y H_L se hace menor. Los valores mayores de y_3/y_0 y y_4/y_0 se dan para los valores experimentales más altos de L_{sj}/H_L dado un F_0 .

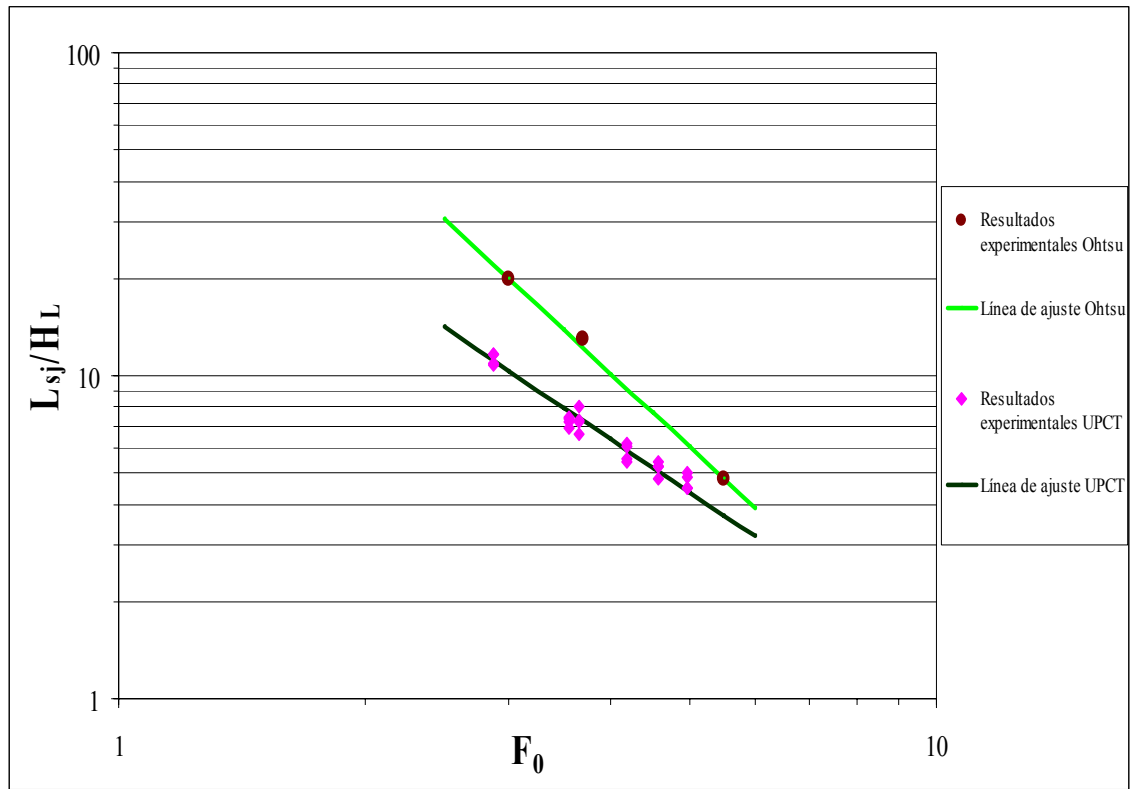


Fig. 23. Relación: $L_{sj} / H_L = f(F_0)$

Se ha añadido una ley de ajuste para los resultados experimentales obtenidos en nuestros resaltos sumergidos (Ec. (69)):

$$L_{sjc} / H_L = 67,15(F_0)^{-1,70} \quad (69)$$

Se ha representado también la ley de ajuste para los resultados experimentales obtenidos por Ohtsu (Ec. (70)):

$$L_{sj} / H_L = 265,566(F_0)^{-2,354} \quad (70)$$

Como se ve en la figura anterior los valores de L_{sj}/H_L obtenidos por Ohtsu son algo mayores que los obtenidos en nuestros experimentos.

Si los valores experimentales son contrastados de acuerdo a la relación (53), se obtiene una clara correlación que se muestra en la Fig. 20, anteriormente representada, desde que los efectos de F_0 y y_3/y_0 (ó y_4/y_0) se incluyen en H_L/H_0 .

4.6. Campos de velocidad media en los resaltos hidráulicos

4.6.1. Resaltos hidráulicos libres

Desde el punto de vista del diseño de disipadores de energía hidráulica, es importante conocer que el campo de velocidad en el resalto cambia con F_l y las condiciones para el desarrollo de la capa límite, al comienzo del resalto libre.

Una investigación del campo de velocidades en el resalto ha sido llevada a cabo por Rajaratnam (1965), quien trató el resalto libre como chorro de pared, pero los cambios en las características de la velocidad dependientes de F_l no han sido totalmente descritos. Considerando el hecho de que el resalto hidráulico es un fenómeno que implica un remolino superficial, se puede considerar el resalto como chorro de pared, sin tener en cuenta el efecto de la superficie libre. Considerando el efecto que el desarrollo de la capa límite en flujo supercrítico tiene en las condiciones del flujo del resalto, una investigación experimental fue llevada a cabo por Leutheusser y Kartha (1972), y por Wilson y Turner (1972). Sin embargo, la precisión de los instrumentos de medida debido a los pequeños valores medidos de los calados contraídos podrían haber perturbado en algún grado las medidas.

A continuación se investigan los cambios en las características de la velocidad de los resaltos en relación a F_l .

Examinando la distribución experimental de velocidades medias en varias secciones, se encuentra una distribución semejante de velocidades independiente de F_l y x dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$ (Figuras 24 y 25), donde la longitud escalar Y es la distancia perpendicular a la solera, en la que la velocidad $\bar{u}$ es la mitad de la velocidad máxima u_m y el gradiente de velocidad es negativo, y $y_{m\acute{a}x}$ es la distancia perpendicular a la solera, en la que $\bar{u} = u_m$ (Fig. 24).

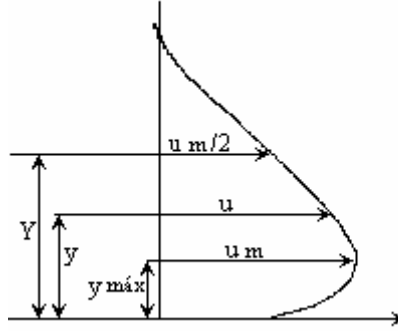


Fig. 24. Definición esquemática de Y y $y_{máx}$

Esta distribución de velocidad se expresa por una ley de potencia, Ec. (71)(a), y una ley exponencial, Ec. (71)(b):

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left\{ \frac{1}{k} \left(\frac{y}{Y} \right) \right\}^{1/n}, \quad 0 \leq \frac{y}{Y} \leq k \quad (71)(a)$$

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1,177}{1-k} \left(\frac{y}{Y} - k \right) \right\}^2 \right], \quad k \leq \frac{y}{Y} \leq 1,5 \quad (71)(b)$$

donde $k = y_{máx} / Y$

A continuación se representan las leyes teóricas (Ec. (71)(a) y (71)(b)) obtenidas experimentalmente por Ohtsu para el Caso “a” (similar a nuestro R.L.1) donde $k=0,333$ y $n=12$, y para el Caso “b” (similar a nuestro R.L.0) donde $k=0,351$ y $n=7$.

Para cada F se han representado también los resultados obtenidos experimentalmente para resaltos libres y para resaltos sumergidos, donde $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$. Para los Froude 2,87 y 3,56 se han obtenido medidas de velocidad en todas las secciones de trabajo definidas, tanto para resaltos libres como para resaltos sumergidos. Para el resto de los Froude se obtienen medidas de velocidad en todas las secciones solo para los resaltos sumergidos, pero no para los resaltos libres, debido a las condiciones de trabajo de la sonda y a las dimensiones del canal.

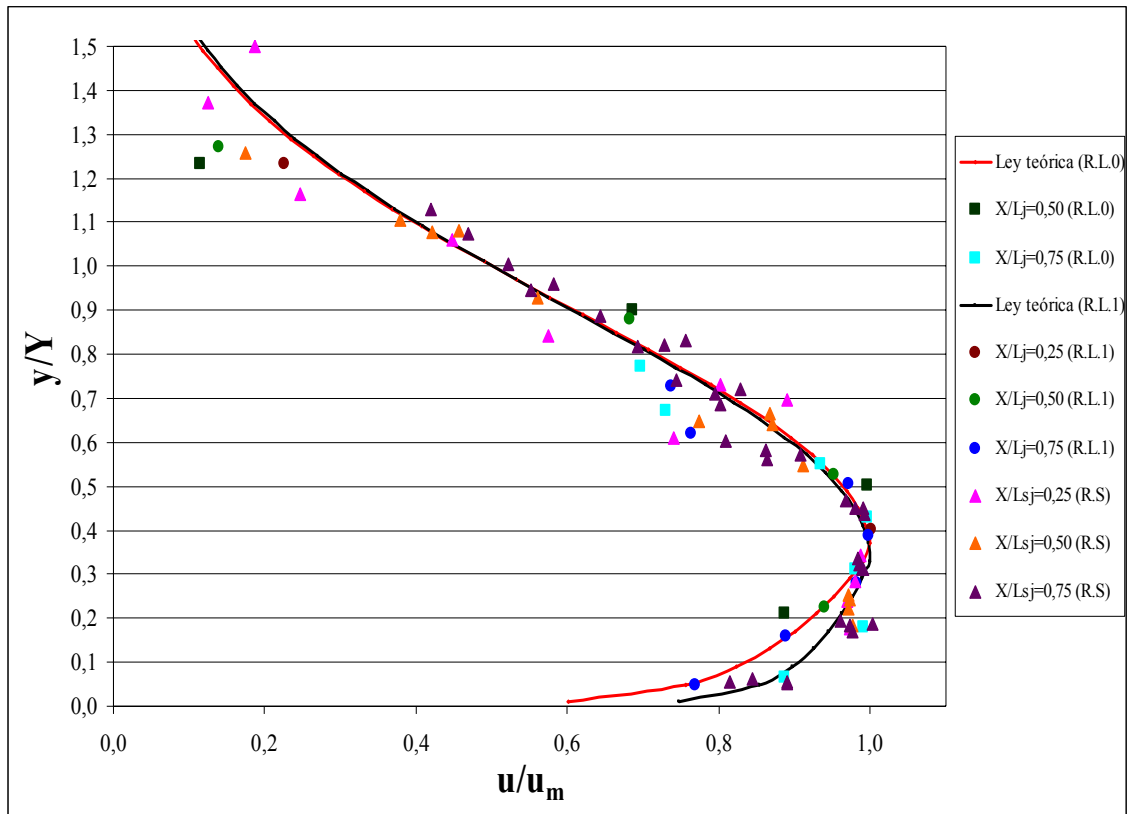


Fig. 25 (a). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos, $F=2.87$

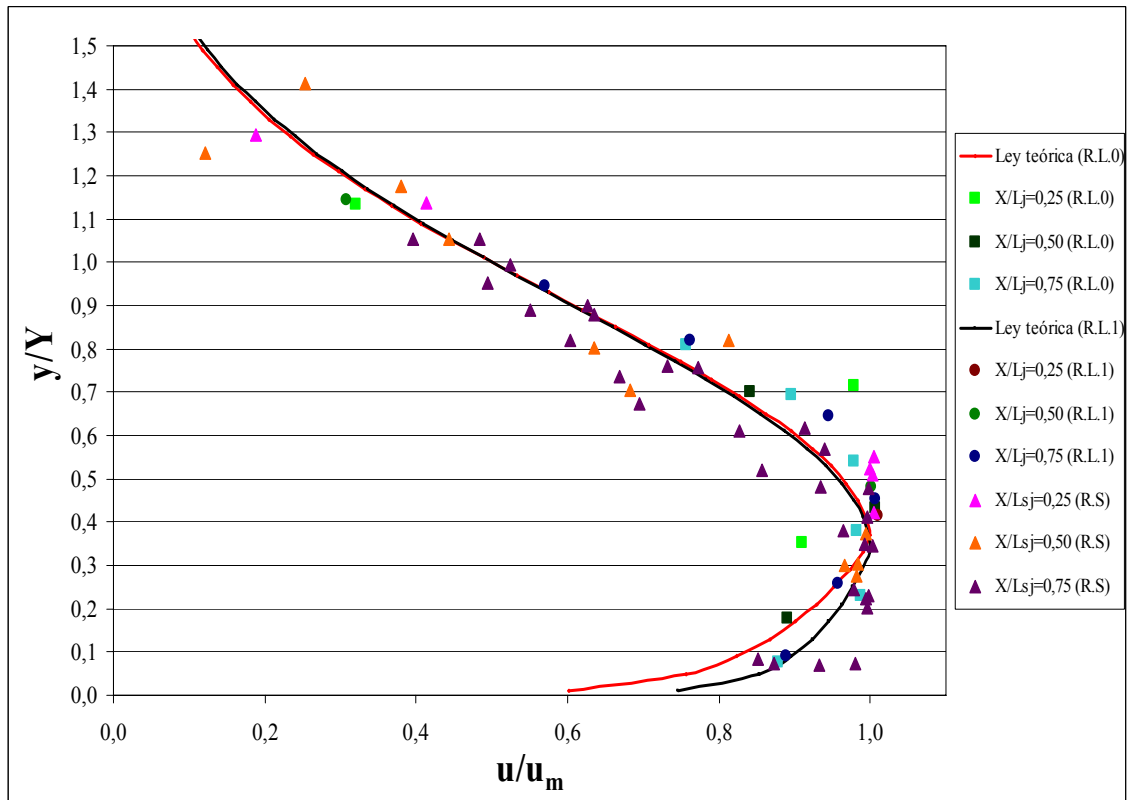


Fig. 25 (b). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos, $F=3.56$

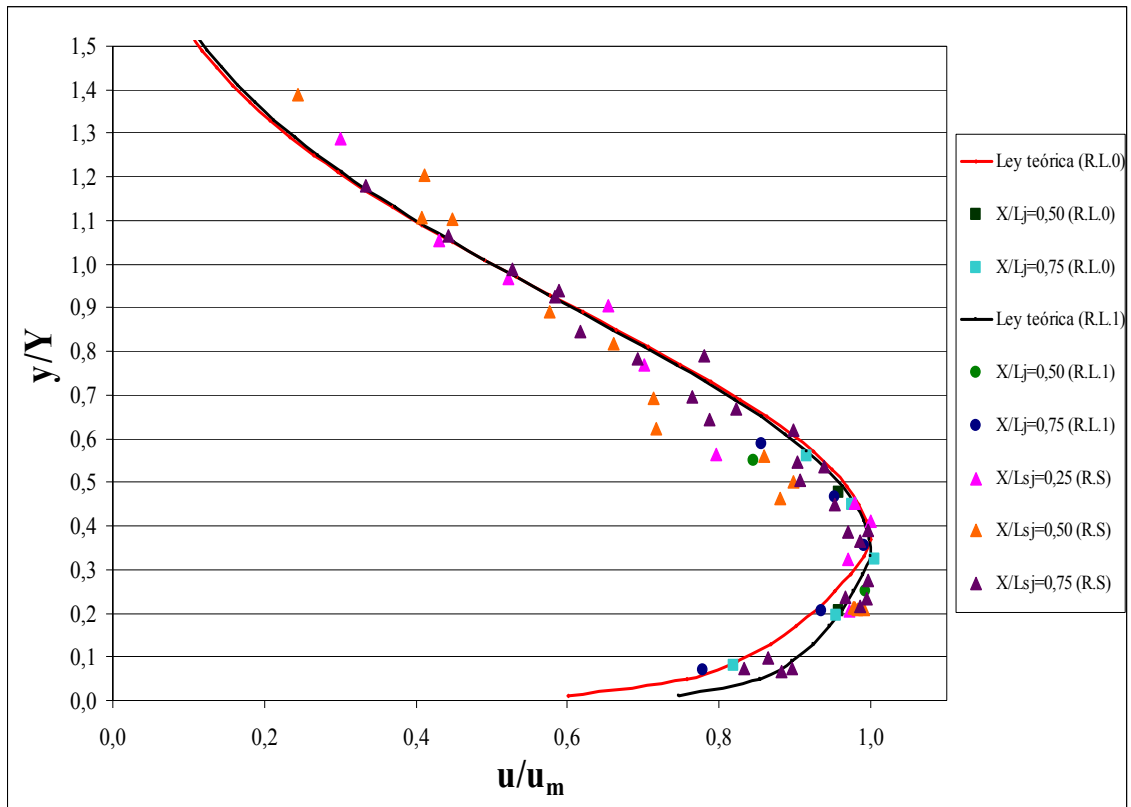


Fig. 25 (c). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos, $F=3.66$

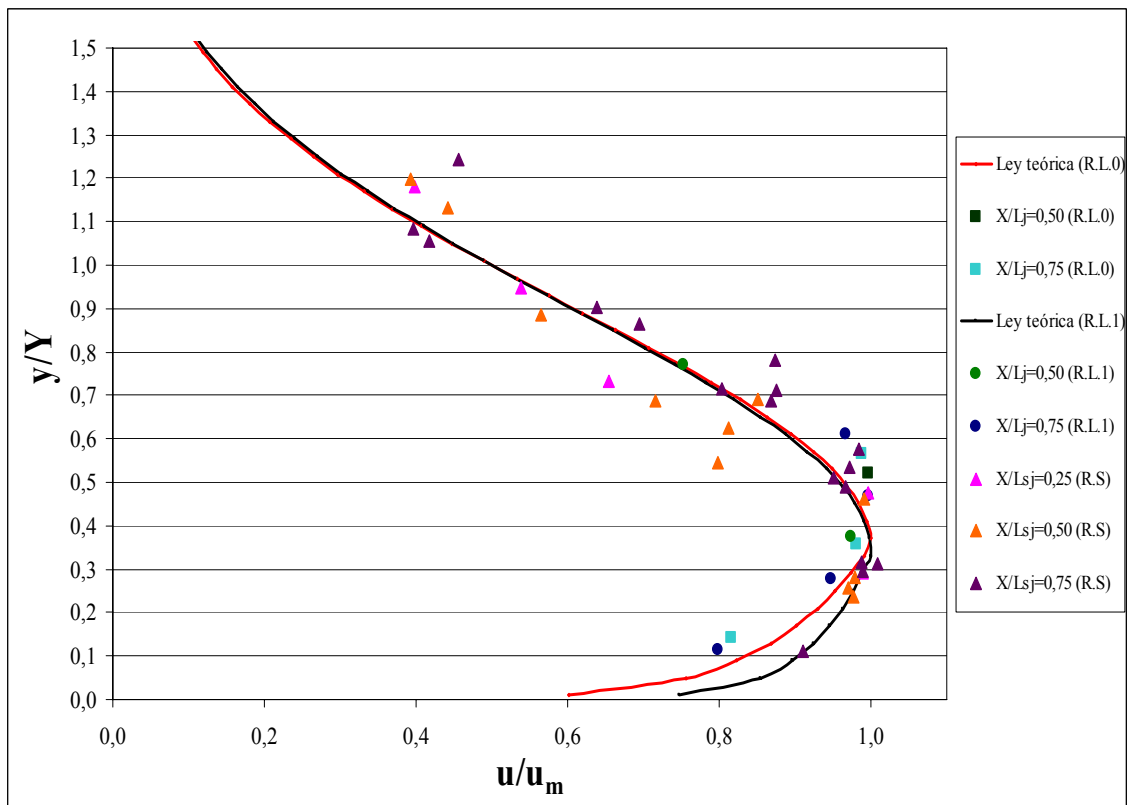


Fig. 25 (d). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos, $F=4.19$

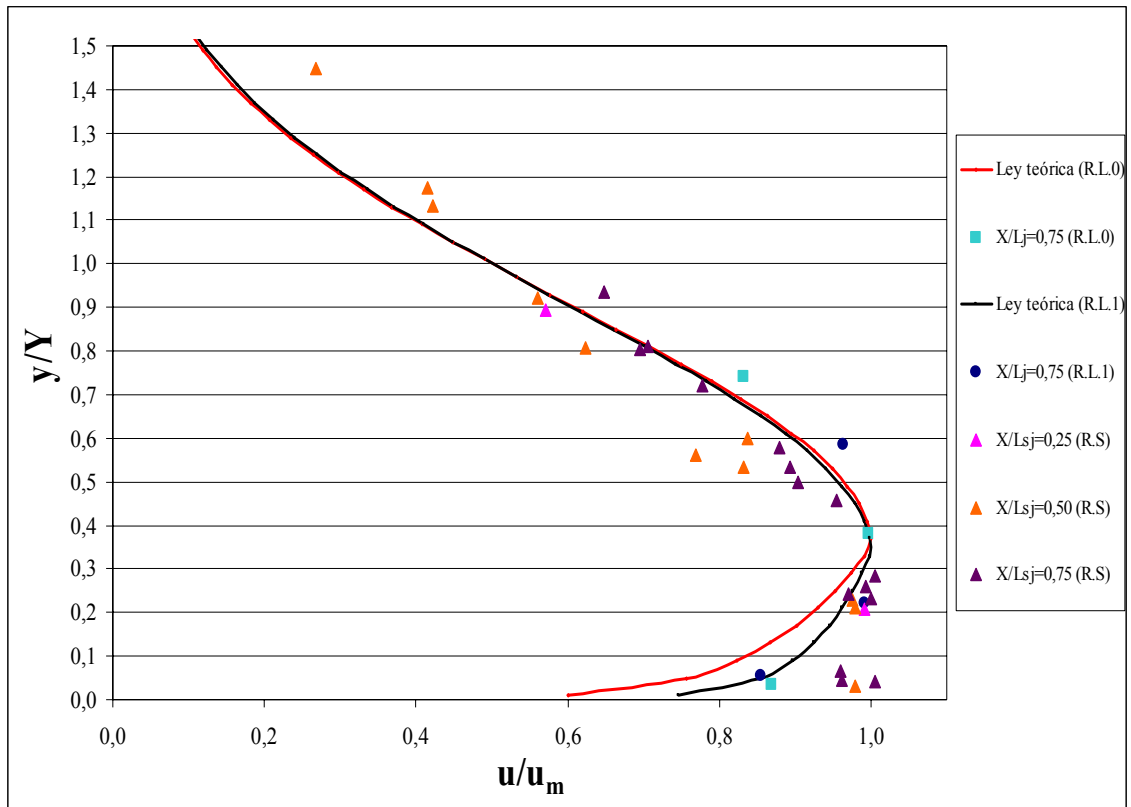


Fig. 25 (e). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos, $F=4.57$

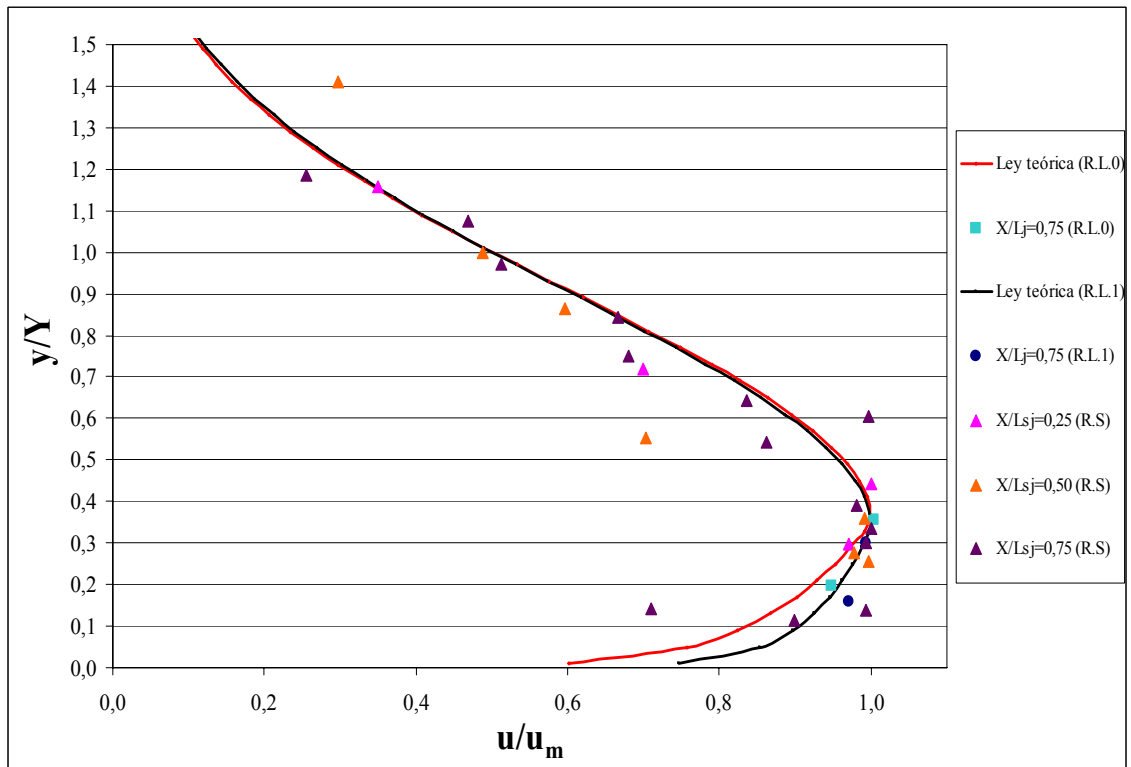


Fig. 25 (f). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos, $F=4.96$

Como se ve en las figuras anteriormente representadas, se obtiene un buen ajuste teórico-experimental entre las leyes teóricas propuestas por Ohtsu et al. y los perfiles de velocidad medidos, teniendo en cuenta que los valores más dispersos se dan para el caso de los resaltos sumergidos. Por este motivo se propone una ley universal que mantiene la estructura de la ley propuesta por Ohtsu (Ec. 71) pero con unos valores distintos de k y n para obtener un mejor ajuste de la ley universal, tanto para resaltos libres y sumergidos, a partir de nuestros resultados experimentales. Los valores propuestos son $k=0,342$ y $n=9,5$ y el resultado se muestra en la Figura 25 (g) donde la distribución de velocidad propuesta se expresa mediante las siguientes expresiones y siendo válida la ley de distribución de velocidades para resaltos libres y resaltos sumergidos en un rango de $0,25 \leq x/L_{jc} \leq 0,75$ para el caso de los resaltos libres, y $0,25 \leq x/L_{sjc} \leq 0,75$ y $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$, para el caso de resaltos sumergidos:

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left\{ \frac{1}{k} \left(\frac{y}{Y} \right) \right\}^{1/n}, \quad 0 \leq \frac{y}{Y} \leq k \quad (71)(a)$$

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1,177}{1-k} \left(\frac{y}{Y} - k \right) \right\}^2 \right], \quad k \leq \frac{y}{Y} \leq 1,5 \quad (71)(b)$$

donde $k = 0,342$ y $n = 9,5$

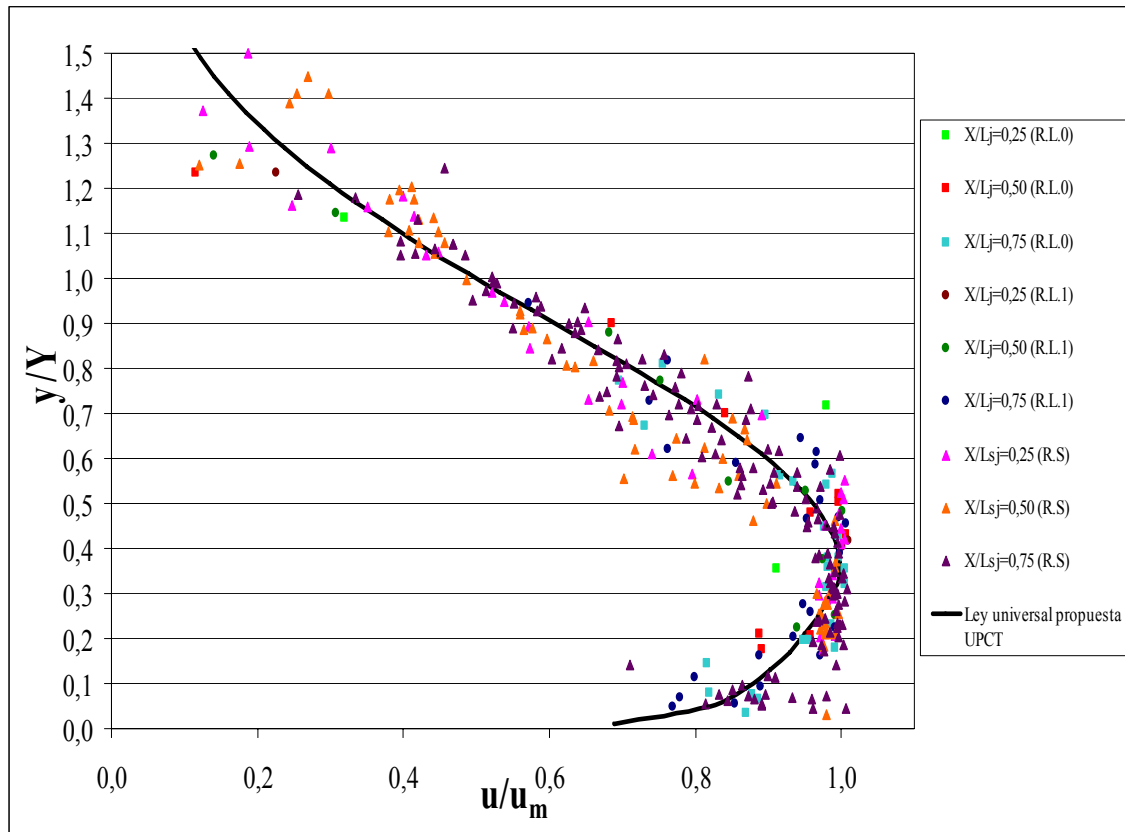


Fig. 25 (g). Distribución de velocidades para resaltos libres y sumergidos

A continuación se representan los resultados para los resaltos libres en la figura 25 (h), y los resultados para los resaltos sumergidos en la figura 25 (i), con el fin de proponer una ley con distintos valores de k y n para cada uno de los casos y así obtener un mejor ajuste para cada tipo de resalto. La ley que sigue la distribución de velocidades propuesta se expresa mediante las ecuaciones (71)(a) y (71)(b) y los valores propuestos son $k=0,393$ y $n=9,9$ para el caso de los resaltos libres y $k=0,302$ y $n=9,15$ para el caso para el caso de los resaltos sumergidos.

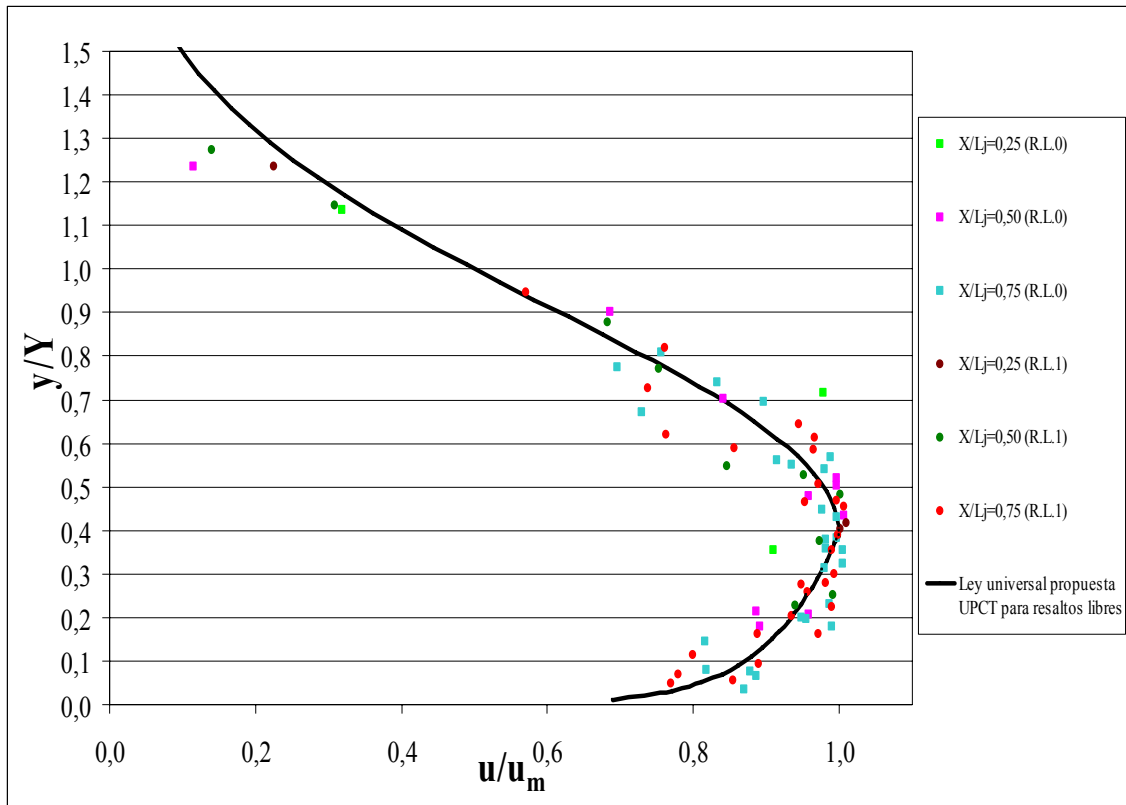


Fig. 25 (h). Distribución de velocidades para los resaltos libres

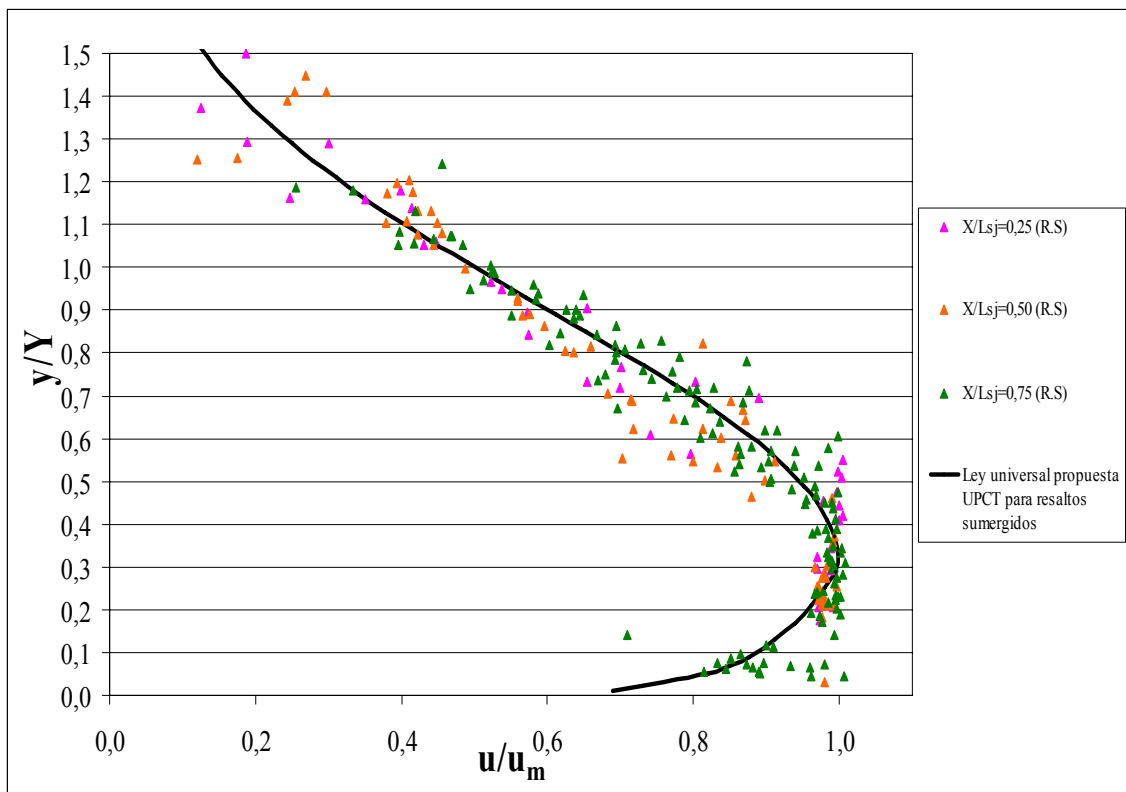


Fig. 25 (i). Distribución de velocidades para los resaltos sumergidos

En la siguiente tabla se recogen los coeficientes y exponentes correspondientes a las expresiones (71)(a) y (71)(b), obtenidos en los diferentes ajustes:

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left\{ \frac{1}{k} \left(\frac{y}{Y} \right) \right\}^{1/n}, \quad 0 \leq \frac{y}{Y} \leq k \quad (71)(a)$$

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1,177}{1-k} \left(\frac{y}{Y} - k \right) \right\}^2 \right], \quad k \leq \frac{y}{Y} \leq 1,5 \quad (71)(b)$$

Distribución de Velocidad	<i>k</i>	<i>n</i>
Resalto libre y sumergido UPCT $2,5 \leq F_r \leq 5$ $0,25 \leq x/L_{jc} \leq 0,75$ $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$	0,342	9,5
Resalto libre UPCT $2,5 \leq F_1 \leq 5$ $0,25 \leq x/L_{jc} \leq 0,75$	0,393	9,9
Resalto sumergido UPCT $2,5 \leq F_0 \leq 5$ $0,25 \leq x/L_{sjc} \leq 0,75$	0,302	9,15
Resalto libre (caso “a”) Ohsu et al. $5 \leq F_1 \leq 7,3$ $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$	0,333	12
Resalto libre (caso “b”) Ohsu et al. $5,3 \leq F_1 \leq 7,3$ $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$	0,351	7

Tabla 3. Coeficientes correspondientes a los ajustes realizados en la distribución de velocidades

En la figura 26 se muestra la relación $u_m / v_1 = f(x / y_1, F_1)$, que fue obtenida por Ohtsu et al., proponiendo la siguiente ecuación:

$$u_m / v_1 = (0,175F_1 + 1,57) / \sqrt{x / y_1} ; \text{ para } (3 \leq F_1 \leq 9,5) \quad (72)$$

La ecuación anterior es aplicable en la zona del resalto, dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$

En la figura se representan las leyes teóricas para cada Froude según la Ec. (72), junto con nuestros resultados experimentales y se observa que los puntos medidos quedan por debajo de las líneas teóricas correspondientes, por lo tanto no se puede considerar el ajuste teórico-experimental como bueno. Se ha de considerar igualmente que la mejor correlación entre los valores teóricos y los experimentales se obtiene para el primer Froude medido ($F=2,87$). Se puede observar que nuestros valores experimentales caen asintóticamente por debajo de la relación propuesta por Ohtsu et al., concluyendo que la relación de velocidades máximas registradas para la velocidad contraída, son en media un 25% inferiores a las propuestas por Ohtsu. Se ha representado también un ajuste de las leyes teóricas independiente del número de Froude para nuestro rango de trabajo ($2,87 \leq F_1 \leq 4,96$) (Ec. (73)) y se ha propuesto una ley que describe los resultados conseguidos experimentalmente (Ec. (74)):

$$u_m / v_1 = (2,252) / \sqrt{x / y_1} ; \text{ para } (2,87 \leq F_1 \leq 4,96) \quad (73)$$

$$u_m / v_1 = (1,735) / \sqrt{x / y_1} \quad (74)$$

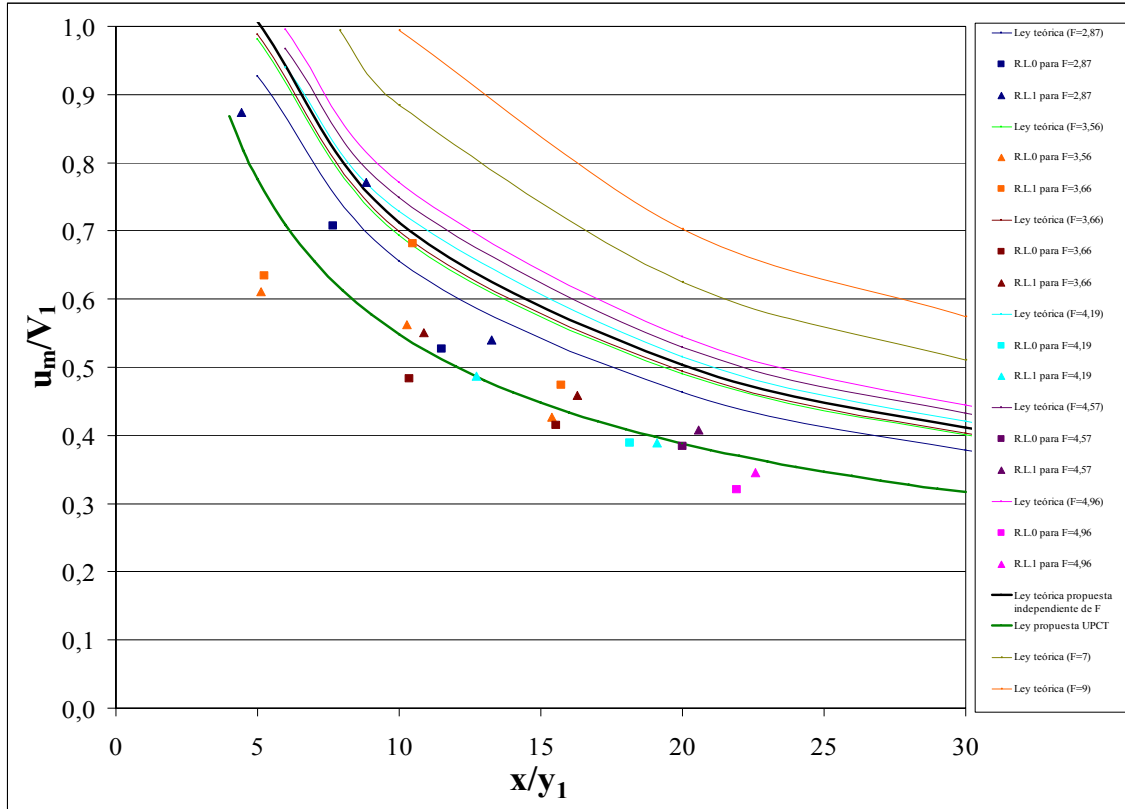


Fig. 26. Caída de velocidad máxima

Con respecto a Y , dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$, se puede aplicar la Ec.(75)(a) para el Caso “a”, comparable con nuestro R.L.1 estabilizado a 14 cm de la compuerta (Fig. 27 (a)) y la Ec.(75)(b) para el Caso “b”, comparable con nuestro R.L.0 estabilizado al pie de la compuerta (Fig. 27 (b)):

$$Y/y_1 = (0,330/\sqrt{F_1})x/y_1; \quad \text{para } (3 \leq F_1 \leq 9,5) \quad (75)(a)$$

$$Y/y_1 = (0,370/\sqrt{F_1})x/y_1; \quad \text{para } (3 \leq F_1 \leq 9,5) \quad (75)(b)$$

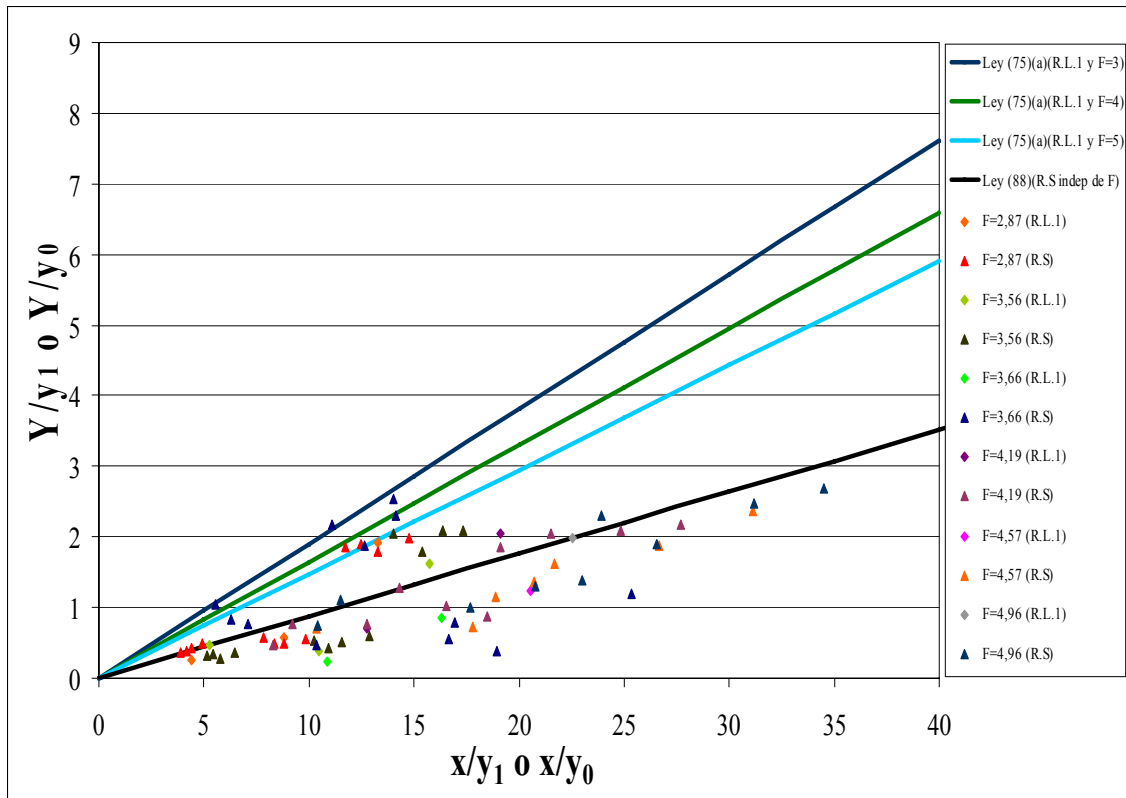


Fig. 27. (a). Relación $Y/y_1 = f(x/y_1)$ (resalto libre 1) ó $Y/y_0 = f(x/y_0)$ (resaltos sumergidos)

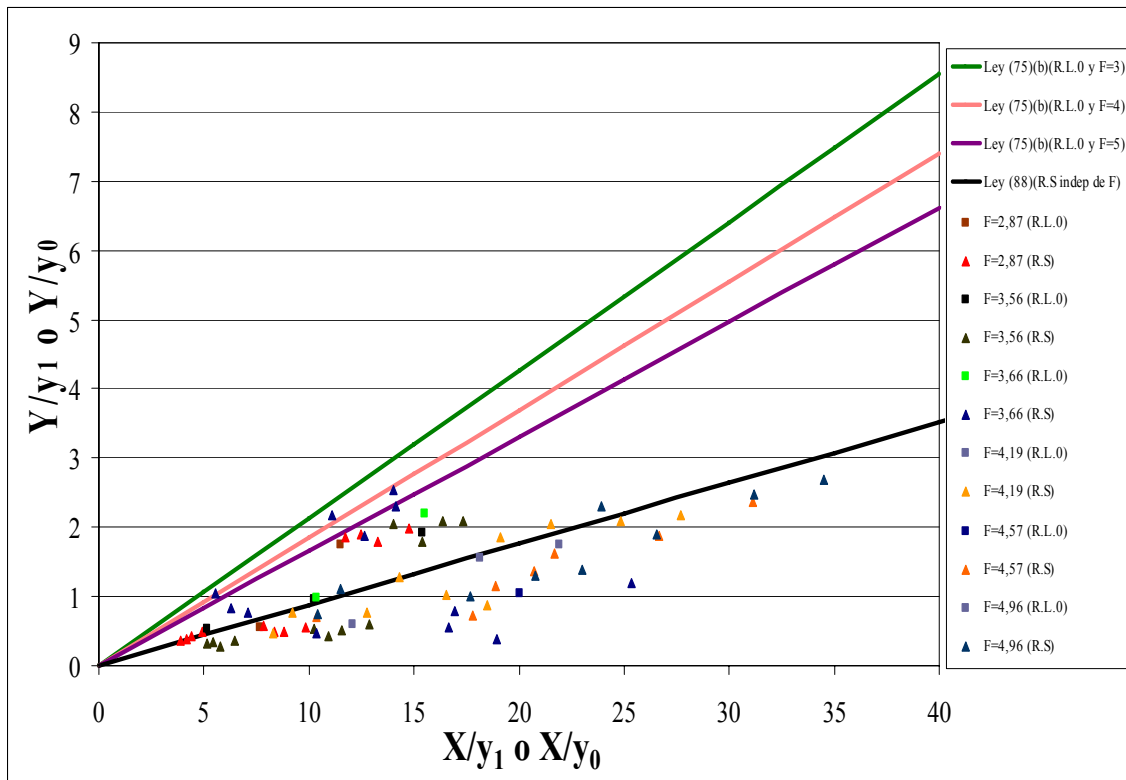


Fig. 27. (b). Relación $Y/y_1 = f(x/y_1)$ (resalto libre 0) ó $Y/y_0 = f(x/y_0)$ (resaltos sumergidos)

Se han representado las leyes teóricas para los resaltos libres según las ecuaciones (75)(a) y (75)(b) y para todos los números de Froude que se encuentran en nuestro rango de trabajo. También se ha representado la ley teórica correspondiente a los resaltos sumergidos según la Ec. (88), la cual es independiente del número de Froude. Junto a estas leyes teóricas se han representado los resultados obtenidos experimentalmente para los resaltos libres y los resaltos sumergidos. Según las bases teóricas las medidas experimentales para nuestros resaltos sumergidos deberían ajustarse más a la ley teórica correspondiente a resaltos libres porque los parámetros medidos y_4/y_0 en los resaltos sumergidos ensayados no son lo suficientemente grandes ($y_4/y_0 < 20$), concretamente ($4 \leq y_4/y_0 \leq 10$) y deberían acercarse más al caso del resalto libre. Pero en la gráfica se puede observar que no ocurre exactamente así, sino que los valores experimentales son muy dispersos y se ubican entre la ley teórica para el resalto libre y la ley teórica para el resalto sumergido.

Con respecto a $y_{\text{máx}}$, dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$, se puede aplicar la Ec.(76)(a) para el Caso “a”, comparable con nuestro R.L.1 estabilizado a 14 cm de la compuerta (Fig. 28 (a)) y la Ec. (76)(b) para el Caso “b”, comparable con nuestro R.L.0 estabilizado al pie de la compuerta (Fig. 28 (b)):

$$y_{\text{máx}} / y_1 = (0,110 / \sqrt{F_1}) x / y_1, \quad (76)(a)$$

$$y_{\text{máx}} / y_1 = (0,130 / \sqrt{F_1}) x / y_1, \quad (76)(b)$$

Los valores de Y e $y_{\text{máx}}$ llegan a ser repentinamente más grande para $x > L_{rj}$ (de acuerdo con $x/L_j > 0,7$).

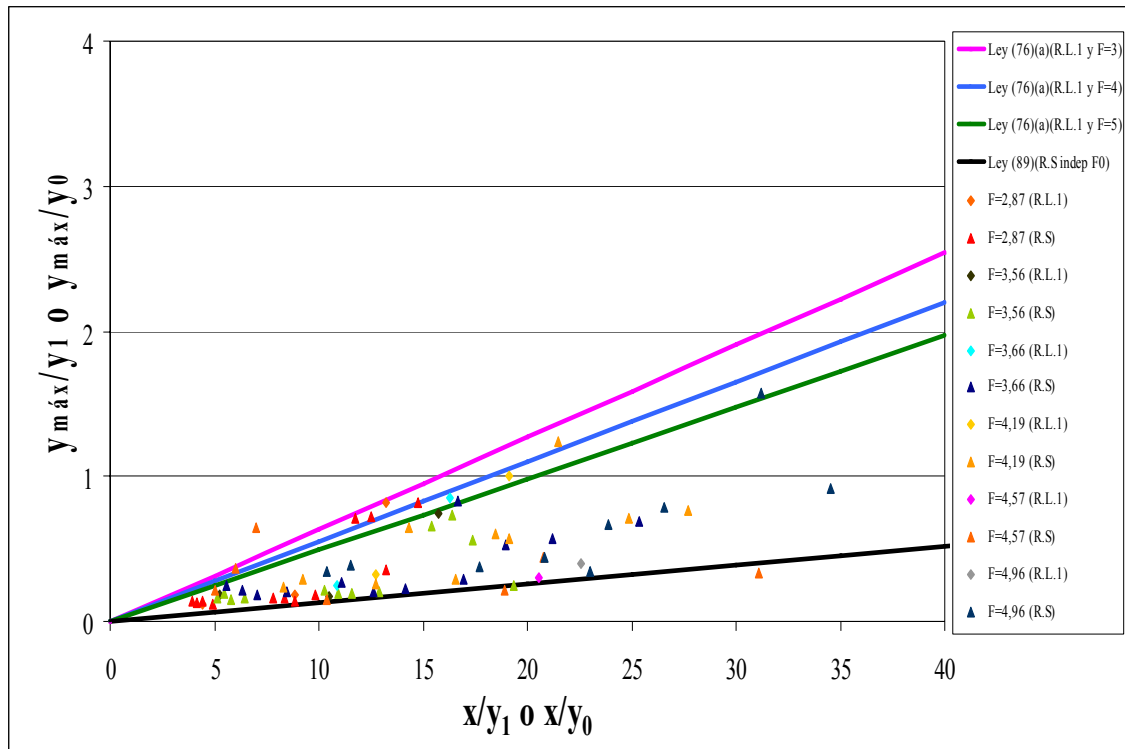


Fig. 28. (a). Relación $y_{m\acute{a}x} / y_1 = f(x / y_1)$ (resalto libre 1) ó $y_{m\acute{a}x} / y_0 = f(x / y_0)$ (resaltos sumergidos)

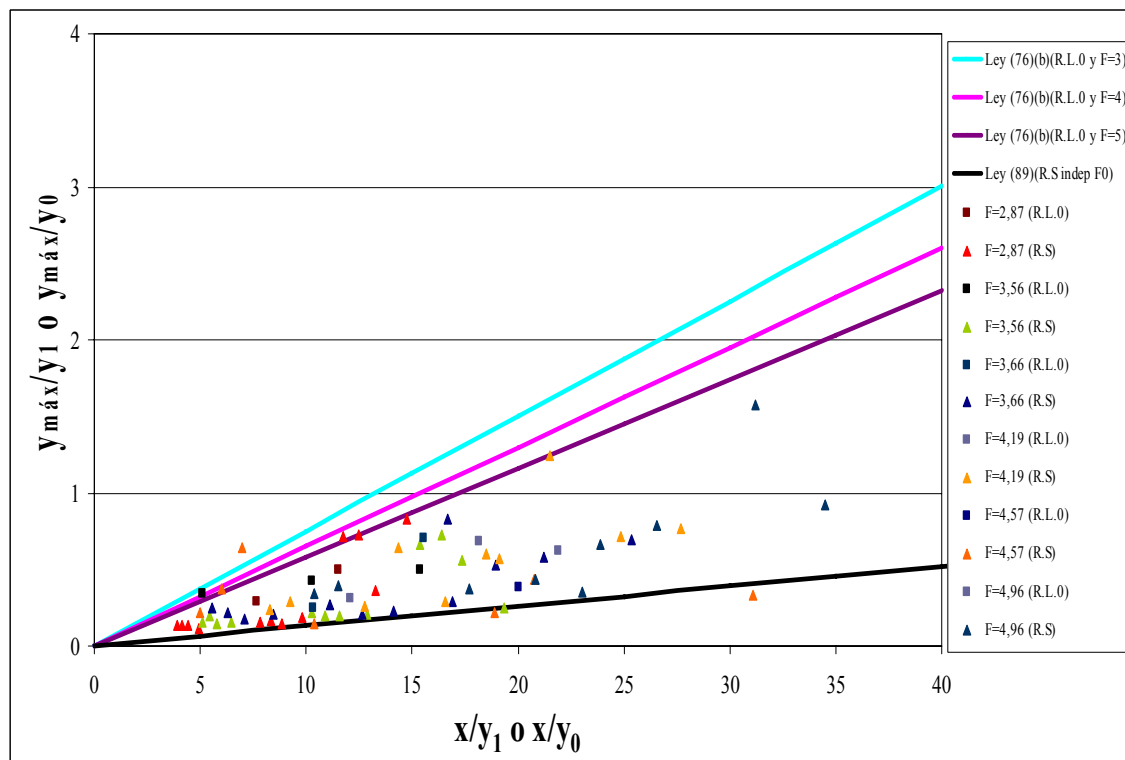


Fig. 28.(b). Relación $y_{m\acute{a}x} / y_1 = f(x / y_1)$ (resalto libre 0) ó $y_{m\acute{a}x} / y_0 = f(x / y_0)$ (resaltos sumergidos)

Se han representado las leyes teóricas para los resaltos libres según las ecuaciones (76)(a) y (76)(b) para todos los números de Froude que se encuentran en nuestro rango de trabajo y junto a éstas se ha representado la ley teórica correspondiente a los resaltos sumergidos según la Ec. (89) (independiente del número de Froude). Comparándolas con los resultados obtenidos experimentalmente para los resaltos libres y los resaltos sumergidos creados se observa que los valores medidos se encuentran entre el caso teórico para resaltos libres y el caso teórico para resaltos sumergidos. Según las bases teóricas los resultados para los resaltos sumergidos deberían ajustarse más a la ley teórica correspondiente a resaltos libres por el mismo motivo que en la figura anterior: los parámetros medidos y_4/y_0 en los resaltos sumergidos ensayados no son lo suficientemente grandes ($y_4/y_0 < 20$) como para tratarlos como tal, y se podrían considerar comparativamente como resaltos libres.

Si se comparan las figuras 27(a) y 27(b) con las figuras 28(a) y 28(b) se observa que se obtiene un mejor ajuste de los datos experimentales con los teóricos esperados en el caso de las figuras 28(a) y 28(b). Esto se debe a que la distancia $y_{m\acute{a}x}$, en la que $\bar{u} = u_m$, se obtiene directamente de los perfiles de velocidad medidos en nuestro laboratorio, mientras que la distancia Y , en la que $\bar{u} = u_m / 2$, es un valor estimado, ya que dichos perfiles medidos no alcanzan suficiente calado como para obtener con exactitud la distancia Y .

A partir de haber obtenido una ley de similitud para la distribución de velocidades, como se muestra en la Fig. 25, se intenta dar una explicación de este punto a continuación:

Examinando las condiciones para obtener dicha ley de similitud en base a la ecuación del movimiento, es necesario satisfacer las ecuaciones (77), (78) y (79):

$$u_m \propto x^a \quad (77)$$

$$Y \propto x \quad (78)$$

$$\frac{dy}{dx} / \left(\frac{u_m}{\sqrt{gY}} \right)^2 = 0 \text{ ó valor constate} \quad (79)$$

Desde que las Ecs. (72) y (75) son aplicables dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$, concuerdan aproximadamente con las relaciones (77) y (78).

En otras palabras, cuando las relaciones (77), (78) y (79) son satisfechas aproximadamente dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$, se ha obtenido una ley de similitud para la distribución de velocidades.

El resultado de los datos experimentales, considerando la distribución de velocidades al final del resalto aguas abajo ($x=L_{jc}$), usando la relación (80), se muestra en la Fig. 29:

$$\bar{u}/v_2 = f(y, y_2) \quad (80)$$

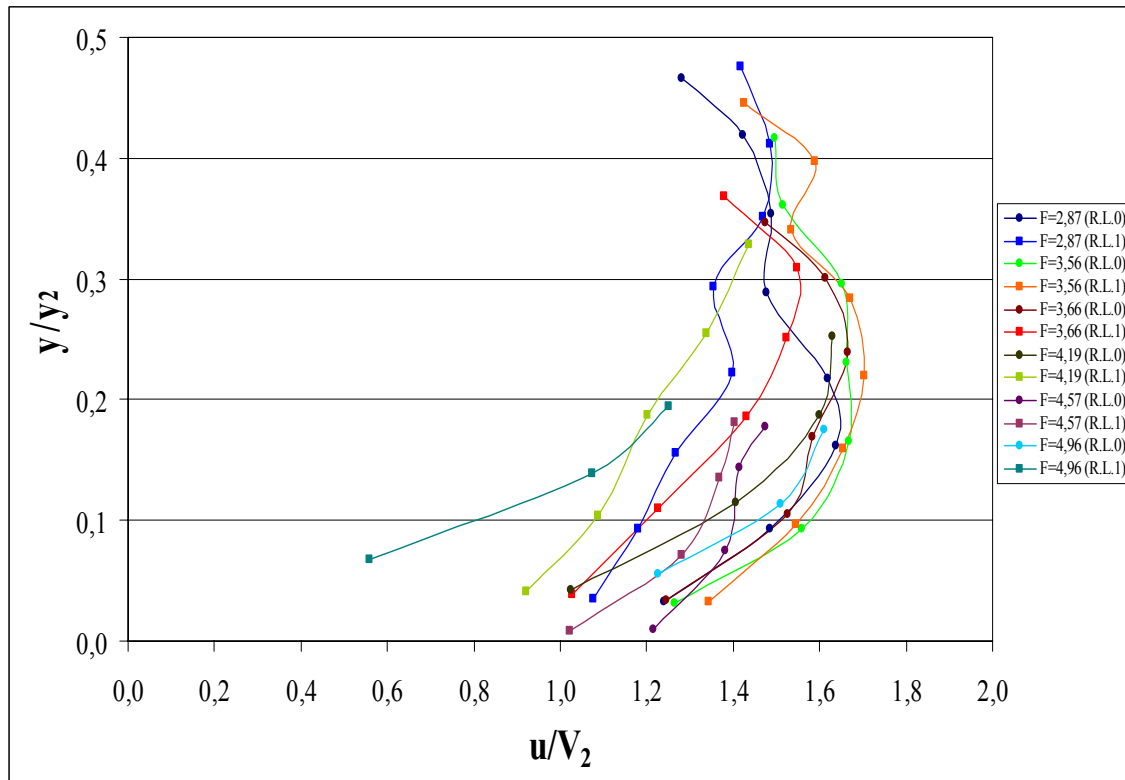


Fig. 29. Distribución de velocidades para resaltos libres a $x=L_{jc}$

4.6.2. Resaltos hidráulicos sumergidos

Si la profundidad aguas abajo es lo suficientemente grande y la difusión del chorro no se ve afectada por la superficie libre, la condición de flujo puede ser tratada como un chorro de pared. Si la profundidad aguas abajo disminuye tanto que la difusión del chorro se ve afectada por el remolino superficial, la condición de flujo se define como un resalto sumergido. Las características de velocidad del resalto sumergido se consideran idénticas al caso del resalto libre si la profundidad aguas abajo se acerca a y_2 (profundidad secuente de y_0).

Si los datos experimentales obtenidos en el flujo principal son tratados en base a la relación (81), se obtiene una ley de similitud para la distribución de velocidades dentro del rango $0,2 < x/L_{sj} < L_{rsj}/L_{sj}$, como se muestra en la Figura 25 (junto al caso de los resaltos libres) y como se explica en la Fig. 30:

$$\bar{u}/u_m = f(y/Y) \quad (81)$$

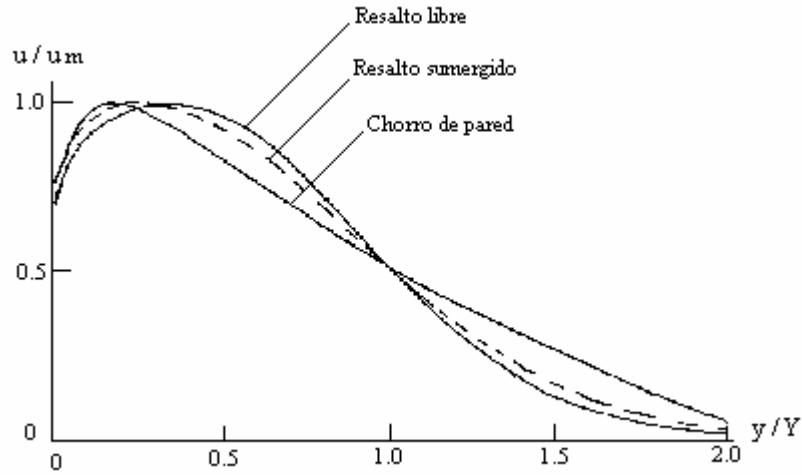


Fig. 30. Ley de similitud para la distribución de velocidades (diagrama aclaratorio)

Los datos experimentales pueden ser explicados por la Ec. (82), si y_4/y_0 es grande, y por la ecuación del resalto libre si $y_4/y_0 \rightarrow y_2/y_0$.

$$\bar{u}/u_m = 1,48\eta^{1/7} [1 - \text{erf}(0,68\eta)] \quad (82)$$

donde:

$$\eta = \frac{y}{Y}, \text{ siendo } Y \text{ la distancia perpendicular a la solera, en la que } \bar{u} = \frac{u_m}{2}$$

erf es la función error

En el caso de los experimentos realizados la relación y_4/y_0 no es tan grande como para poder aplicar la Ec. (82), sino que se asemeja más a la relación y_2/y_0 , y por tanto podemos aplicar la ecuación del resalto libre (Ec. (71)). Por este motivo se ha considerado como mejor opción representar los resultados experimentales para los resaltos sumergidos junto con los de los resaltos libres en la Fig. 25.

La relación (83) se muestra en la Fig. 31 (a) para valores dados de F_0 .

$$u_m / v_0 = f(x / h_0) \quad (83)$$

La caída de u_m para el resalto sumergido está entre el caso de chorro de pared y el caso de resalto libre. En otras palabras, si la profundidad aguas abajo y_4/y_0 es lo suficientemente grande, tanto que $y_4/y_0 > 20$ (en este caso, la superficie del agua es casi horizontal y $y_3/y_0 = y_4/y_0$), la caída de u_m coincide con el caso de chorro de pared, como indica la ecuación (84):

$$u_m / v_0 = 3,48(x / y_0)^{-0,50} \quad (84)$$

Si la profundidad y_4/y_0 disminuye y $y_4/y_0 < 20$, la caída de u_m descrita por la Ec. (17) se transforma en la relación (85):

$$u_m / v_0 = f(x / y_0, F_0) \quad (85)$$

Además, si $y_4/y_0 \rightarrow y_2/y_0$, la caída de u_m coincide con el caso de resalto libre (Ec. 72). En los casos experimentales en los que se ha trabajado, $y_4/y_0 < 20$, por lo que en la Fig. 31 (a) que aparece a continuación los resaltos sumergidos deberían ajustarse a la ley teórica representada para el caso de los resaltos libres.

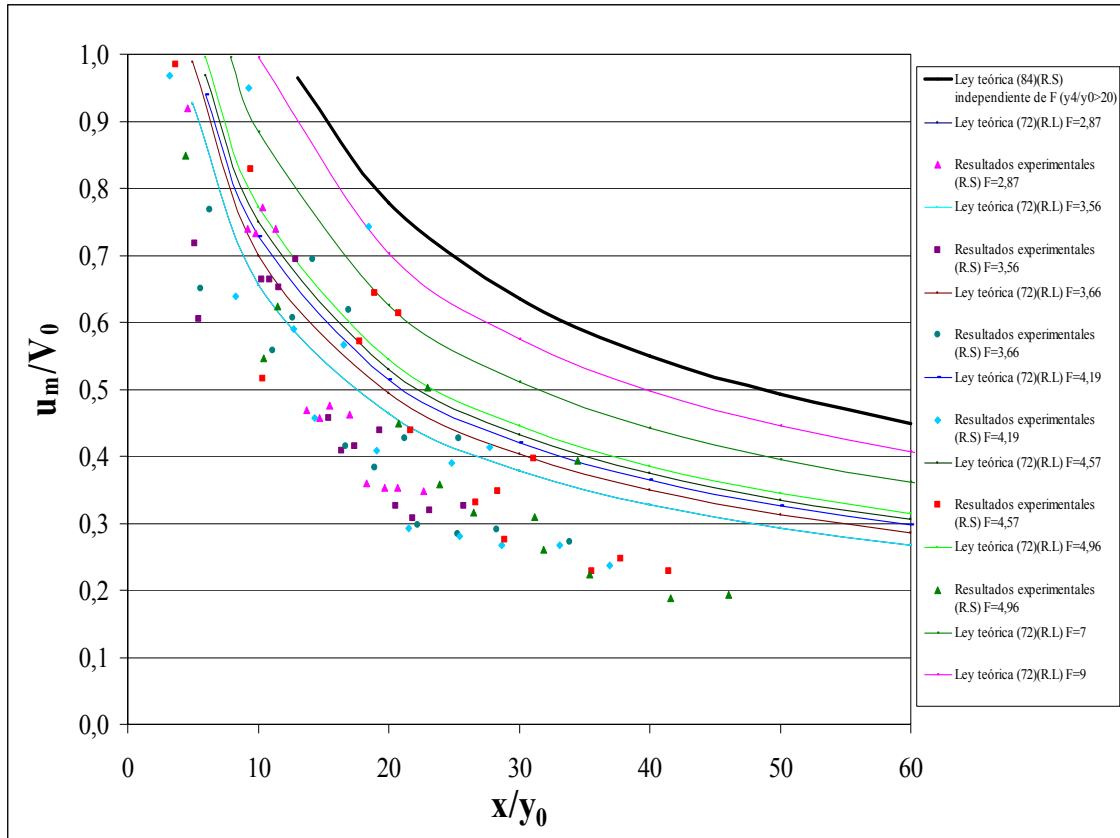


Fig. 31. (a) Caída de velocidad máxima en resaltos sumergidos: $u_m / v_0 = f(x / y_0, F_0)$

Para cada número de Froude se ha representado la ley teórica correspondiente al resalto libre (Ec. (72)), la ley teórica correspondiente al resalto sumergido (Ec. (84)) y los resultados experimentales obtenidos en los resaltos sumergidos. Como se puede observar en las gráficas los resultados experimentales se ajustan mejor a la caída de velocidad correspondiente a un resalto libre dado que nuestros valores de y_4/y_0 son menores a 20. Esta observación coincidiría con las bases teóricas explicadas anteriormente. Aún así se observa que la caída de velocidad máxima obtenida experimentalmente tiende a ser inferior a la teórica para todos los Froude ensayados.

Para obtener un buen ajuste de los datos experimentales se ha propuesto una ley para resaltos sumergidos en un rango $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$. La ley propuesta representada en la figura 31 (b) es la siguiente:

$$u_m / v_0 = 4(x / y_0)^{-0,78} \quad (86)$$

En la figura 31 (b) también se ha representado la relación (87) clasificando los valores experimentales de caída de velocidad máxima en los resaltos sumergidos en función de su valor y_4/y_0 , junto con la Ec. (84) de los resaltos sumergidos.

$$u_m / v_0 = f(x / y_0, y_4 / y_0) \quad (87)$$

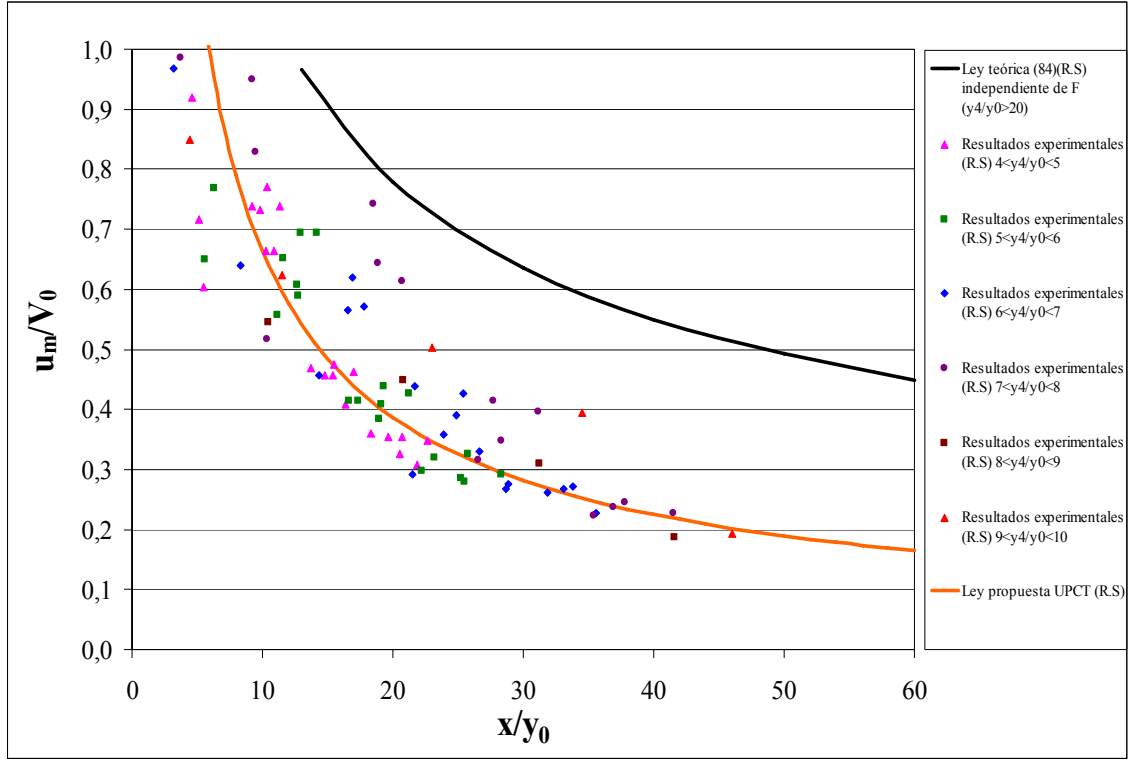


Fig. 31. (b) Caída de velocidad máxima en resaltos sumergidos: $u_m / v_0 = f(x / y_0, y_4 / y_0)$

El cambio de Y e $y_{m\acute{a}x}$ también coincide con el caso de chorro de pared (Ec. (88) y (89)) si y_4/y_0 es lo suficientemente grande ($y_4/y_0 \geq 20$), y se acerca al caso del resalto libre (Ec. (75)(a)), Ec. (76)(a) si $y_4/y_0 \rightarrow y_2/y_0$, como debe ocurrir en los casos experimentales en los que se ha trabajado. Los resultados se muestran en las figuras 27 y 28 anteriormente representadas junto a los casos de resaltos libres.

$$Y / y_0 = 0,080x / y_0 \quad (88)$$

$$y_{m\acute{a}x} / y_0 = 0,16Y / y_0 = 0,013x / y_0 \quad (89)$$

Como se menciona arriba, cuando la profundidad y_4/y_0 es lo suficientemente grande ($y_4/y_0 > 20$), la difusión del chorro no se ve afectada por el remolino superficial y este caso es tratado como un chorro de pared antes que como un resalto sumergido.

A partir de haber obtenido una ley de similitud para la distribución de velocidades para un F_0 dado y y_4/y_0 , como se muestra en la Fig. 25, se da una explicación de este punto a continuación:

Se confirma que $u_m \propto 1/\sqrt{x}$ y $Y \propto x$ dentro del rango $0,2 \leq x/L_j \leq 0,7$ y donde las Ecs. (77), (78) y (79) son casi satisfechas, y se obtiene una ley de similitud para la distribución de velocidades.

CONCLUSIONES

Tras el aprendizaje y uso de la instrumentación para la medida de velocidades instantáneas y la adquisición de datos por medio del equipo Doppler se obtienen las siguientes conclusiones.

Configuración de la sonda

Los principales parámetros establecidos para la configuración de la sonda han sido un rango de velocidad de ± 100 cm/sg y una frecuencia de muestreo de 5 Hz.

Como se explicó anteriormente el equipo de medida de velocidades instantáneas ADV necesita estar sumergido, pero la sonda no funciona correctamente en flujo con aire incorporado, lo que ocurre en el caso de los resaltos hidráulicos. En estas condiciones se obtiene un valor de velocidad erróneo, pero el procedimiento de filtrado de datos propuesto, ha permitido desechar o paliar las anomalías debidas a este fenómeno y dar validez a los datos muestreados. El tratamiento de datos realizado ha permitido obtener unos buenos resultados comparables con trabajos experimentales ya afianzados, e incluso, comprobar y proponer nuevas formulaciones para los resaltos libres y sumergidos.

Una vez contrastados los datos obtenidos en este proyecto fin de carrera con trabajos experimentales ya afianzados y hecho el análisis crítico correspondiente, se extraen las siguientes conclusiones en los diversos campos de estudio que se han tratado.

Campos de estudio

Los campos de estudio que se han tenido en cuenta son los siguientes:

- Características de la longitud del resalto

Se ha podido observar que la longitud de resalto medida, tanto para resaltos hidráulico libres como para resaltos hidráulicos sumergidos, en un rango $[2,8 < F < 5]$, se encuentra entre los valores de longitud de rulo y longitud de resalto definidos por otros autores. Como se ha demostrado, esto está totalmente de acuerdo con el criterio establecido para medir nuestra longitud de resalto hidráulico.

En el caso de los resaltos libres, según la relación $L_j / y_1 = f(F_1)$ (Ec. 3) y la figura 6, cabe destacar que, para los valores de Froude más bajos, las diferencias entre los valores teóricos y nuestros valores experimentales son más pequeñas, pero al aumentar el valor de Froude, esta diferencia aumenta, lo que también es concordante con el criterio definido para medir la longitud de resalto. Los resultados han permitido obtener una curva de ajuste (Ec. 4) a nuestros datos experimentales, similar a la teórica (Ec. 3).

En el caso de los resaltos sumergidos, según la relación $L_{sj} / y_2 = f(y_4 / y_2)$ (Ec. 12) y la figura 10, es importante aclarar que hasta una sumergencia del orden de $y_4 / y_2 = 1,20$, las longitudes de resalto sumergido podrían ser inferiores a la longitud de resalto libre definida por otros autores (Ecs. 2 y 13); pero al aumentar la sumergencia, las longitudes de resalto sumergido tienden a coincidir con la definición de longitud de resalto sumergido establecida según la Ec. 12. En este caso también se ha propuesto una curva de ajuste a nuestros datos experimentales (Ec. 15).

Según la ecuación experimental (61) propuesta por otros autores para resaltos sumergidos, que expresa también la relación anterior, se demuestra en la figura 21, una vez más, que los datos experimentales están por debajo de los teóricos, totalmente consistente con el criterio de longitud de resalto adoptado. En este caso, se ha propuesto la Ec. (62) como curva de ajuste a nuestros datos experimentales.

▪ Relación entre profundidades inicial y final

Observamos que, según la relación $y_2 / y_1 = f(F_1)$ (Ec. 23 [Bélanger]) y la figura 13, para el caso del resalto libre al pie de la compuerta, existe un buen ajuste entre los resultados experimentales y los valores teóricos, mientras que para el caso del resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta, la relación de los calados conjugados está por debajo de la ecuación de Bélanger y se ajusta algo más a la ecuación teórica de Rajaratnam (Ec. 24). Por este motivo se ha propuesto una curva de ajuste a los resultados experimentales para el caso del resalto libre a 14 cm de la compuerta (Ec. 25). La diferencia entre los valores experimentales y teóricos para este caso, deriva de la siguiente interpretación:

- La relación de calados conjugados en los flujos totalmente desarrollados (ó parcialmente desarrollados) es menor puesto que la energía disponible al inicio del resalto hidráulico se ha reducido por efecto de la pérdida de energía producida en la curva de

remanso parcialmente desarrollada; siendo mayor la pérdida de energía, cuanto más desarrollada se encuentra la curva de remanso.

- Por otra parte, la pérdida de energía por efecto del esfuerzo cortante del contorno, disminuye cuando el espesor de la capa límite tiende a alcanzar el calado del flujo. De esta forma, cuando el flujo está totalmente desarrollado, S_f tendría el menor valor. Sin embargo, el efecto global en los flujos parcialmente o totalmente desarrollados es que la reducción de pérdida de energía es siempre mayor por el mecanismo de la curva de remanso, que la reducción de pérdida de energía por efecto del desarrollo de la capa límite.

Para el caso de los resaltos sumergidos, según la relación $y_3 / y_0 = f(y_4 / y_0, F_0)$ (Ec. 27) y la figura 14, se observa claramente que existe una estrecha concordancia entre los valores teóricos y los resultados experimentales. Además, según la relación $y_4 / y_3 = f(y_3 / y_0)$, se ha conseguido un colapso de los datos experimentales en una única función incluyendo como parámetro el número de Froude. La ley de ajuste experimental (Ec. 28), viene representada en la figura 15 (b).

▪ Pérdida de energía en los resaltos hidráulicos

Para el caso de los resaltos libres, según la relación $H_L / H_1 = f(F_1, y_2 / y_1)$ (Ec. 37) y la figura 16 (a), el resultado entre los valores teóricos y los experimentales es satisfactorio. Hay que tener en cuenta que, para $F=4,57$ los resultados experimentales se desvían algo más de los teóricos esperados. Cabe destacar que para el resalto libre al pie de compuerta existe una pérdida de energía relativa mayor que para el resalto libre a 14 cm de la compuerta, constituyendo parte de esa diferencia de energía relativa, la pérdida de energía relativa que se produce a través de la curva de remanso parcialmente desarrollada hasta los 14 cm de longitud.

Para los resaltos sumergidos, según la relación $H_L / H_0 = f(y_3 / y_0, F_0)$ (Ec. 43) y la figura 17 (b), se ha demostrado que los resultados obtenidos son muy satisfactorios y concuerdan perfectamente con la ley teórica (Ec. 43).

Como se observa claramente en las figuras 16 (a) y 17 (b), tanto para resaltos libres como sumergidos, la disipación de energía relativa es inferior para valores de Froude menores que para valores de Froude mayores.

También es relevante indicar que, según la relación $H_2 / H_1 = f(F)$ y las figuras 17 (c) y 17 (d), existe un buen acorde entre las disipaciones de energía para velocidades medias en los resaltos libres y sumergidos y los correspondientes valores teóricos. Se demuestra también que la disipación de energía en los resaltos sumergidos ensayados es ligeramente superior a la disipación de energía en los resaltos libres (Figs. 17 (c) y (d)) y se comprueba de nuevo que la pérdida de energía relativa en el resalto libre a pie de compuerta es mayor que en el resalto libre a 14 cm (Fig. 17 (c)).

▪ Campos de velocidad media en los resaltos hidráulicos

Observamos que, examinando la distribución experimental de velocidades medias en varias secciones, dentro del seno del resalto hidráulico, es posible establecer una ley universal para la distribución de velocidades en resaltos libres y sumergidos (Ecs. 71 (a) y 71 (b)). A partir de estas ecuaciones se han propuesto distintos valores para coeficientes y exponentes, manteniendo la estructura de la ley propuesta, con el fin de obtener un mejor ajuste a nuestros resultados experimentales. Los distintos ajustes propuestos se muestran en las figuras 25 (g) (h) e (i). En la Tabla 3 se recogen los valores de coeficientes y exponentes para cada una de las condiciones en las que se ha realizado un ajuste diferente.

Se ha mostrado también que existe un buen ajuste entre los resultados experimentales y los valores teóricos propuestos por otros autores, teniendo en cuenta que los valores más dispersos se dan para los resaltos sumergidos.

Para el caso de los resaltos sumergidos, se ha demostrado que cuando la relación y_4/y_0 es grande, ($y_4/y_0 > 20$), se puede aplicar la ecuación propia de los resaltos sumergidos para la distribución de velocidades. En cambio, si $y_4/y_0 \rightarrow y_2/y_0$ se aplica la ecuación del resalto libre para la distribución de velocidades, como ocurre en el caso de nuestros resaltos sumergidos, donde $4 \leq y_4/y_0 \leq 10$.

ANEXO 1.

RESULTADOS DEL FILTRADO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO

En este primer anexo se muestran las tablas con los resultados del filtrado a partir de las campañas de muestreo. Los resultados se han clasificado por caudal de trabajo y valor de sumergencia de cada resalto hidráulico. Cada punto muestreado tiene una denominación diferente que se describe a continuación. Las dos primeras cifras de cada archivo muestran el valor del caudal (m^3/h), procedente de la lectura del caudalímetro. Las dos siguientes cifras reflejan el valor de apertura de compuerta medido en mm. La siguiente cifra muestra el tipo de resalto que estamos ensayando (R.L.0, R.L.1, R.S.2, R.S.3, R.S.4 ó R.S.5). El siguiente cuadro refleja las características de cada uno de estos resaltos, con el caudal correspondiente, la apertura de compuerta y el valor de sumergencia en cada caso:

		R.H. LIBRE A 14 CM DE COMPUERTA	R.H. LIBRE A PIE DE COMPUERTA	R. H. SUMERGIDO	R. H. SUMERGIDO	R. H. SUMERGIDO	R. H. SUMERGIDO
Caudal (l/seg)	Apertura de compuerta (cm)	R.L.0 Sin sumergencia	R.L.1 Sumergencia 1	R.S.2 Sumergencia 2	R.S.3 Sumergencia 3	R.S.4 Sumergencia 4	R.S.5 Sumergencia 5
3,78	4,5	0,67a	a	1,26a	1,46a	1,58a	1,82a
3,13	3,5	0,67a	a	1,26a	1,37a	1,59a	1,98a
2,59	3,1	0,67a	a	1,34a	1,59a	2,19a	2,63a
2,09	2,4	0,70a	a	1,27a	1,94a	2,48a	3,11a
1,82	2,2	0,68a	a	1,34a	2,02a	2,68a	3,34a
1,51	1,7	0,74a	a	1,37a	2,22a	3,22a	4,28a

Y la última cifra refleja la sección que estamos muestreando (S. 0, S. 1, S. 2, S. 3, S. 4 ó S.5), siendo éstas las secciones que se han considerado:

- (a) Sección 0; localizada inmediatamente aguas abajo de la compuerta, situada siempre a cinco centímetros de la compuerta debido a las dimensiones de los receptores.
- (b) Sección 1; localizada a $1/4L_r$ (un cuarto de la longitud de resalto considerada).
- (c) Sección 2; localizada a $1/2L_r$.
- (d) Sección 3; localizada a $3/4L_r$.
- (e) Sección 4; localizada a una distancia igual a la longitud del resalto.
- (f) Sección 5; localizada a una distancia intermedia entre el final de la longitud de resalto estimada y la mitad del canal (punto hasta el cuál el canal es completamente horizontal).

La letra posterior a esta denominación indica el punto de muestreo de cada sección, siendo la letra “a” la correspondiente al punto de muestreo más cercano a la solera del canal para cada una de las secciones.

El valor de velocidad media considerado tras el proceso del filtrado de la muestra original se denomina u_x . Seguidamente se muestra la profundidad para cada punto muestreo medida desde la solera del canal. El % de calado correspondiente es el cociente entre la distancia del punto de muestreo desde la solera y el calado total en esa sección. A continuación se indica el número de filtrados que ha sufrido cada muestra, y por último se obtienen los valores de los parámetros de turbulencia tras el tratamiento de las muestras.

Datos filtrados de resalto hidráulico libre, Q = 3.78 l/s (Sum = 0.67a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
124502a	97,58	0,35	0,04	1	13,84	5,52	-0,29	-0,09
124502b	109,63	0,83	0,10	1	16,05	52,10	-0,60	0,30
124502c	75,46	1,49	0,17	3	50,80	1112,39	-0,46	-1,64
124502d	12,62	2,04	0,23	4	75,89	1619,98	0,10	-1,86
Sección 3								
124503a	72,67	0,35	0,04	0	17,43	-2,30	-0,15	-0,01
124503b	81,22	0,95	0,10	1	16,77	14,32	-0,28	0,08
124503c	80,40	1,65	0,17	1	16,55	26,19	-0,22	-0,10
124503d	81,68	2,26	0,23	1	19,10	89,67	-0,73	0,88
124503e	76,63	2,90	0,29	2	19,67	102,28	-1,07	2,39
124503f	59,84	3,54	0,36	2	23,41	184,77	-0,27	-0,64
124503g	57,07	4,08	0,41	2	28,07	281,44	-0,44	-0,70
Sección 4								
124504a	52,02	0,36	0,03	4	13,47	182,44	0,20	0,38
124504b	62,32	1,02	0,09	0	15,69	-1,87	-0,05	0,21
124504c	68,83	1,78	0,16	0	17,09	11,24	-0,28	0,62
124504d	67,97	2,40	0,22	1	16,20	15,22	-0,25	0,35
124504e	61,98	3,18	0,29	1	12,20	17,92	-0,12	0,01
124504f	62,48	3,90	0,35	1	14,76	33,05	-0,22	0,43
124504g	59,73	4,61	0,42	1	16,94	51,10	-0,25	0,25
124504h	53,83	5,13	0,47	2	18,18	63,87	-0,24	0,07
Sección 5								
124505a	45,14	0,33	0,03	0	4,35	-1,80	0,12	-0,06
124505b	47,18	1,02	0,09	0	4,51	-0,95	0,11	0,01
124505c	47,94	1,82	0,17	0	4,62	-0,83	0,06	0,10
124505d	48,64	2,53	0,23	1	4,36	-0,71	-0,10	0,09
124505e	50,17	3,30	0,30	1	4,58	0,53	0,04	0,18
124505f	49,94	3,98	0,36	1	4,37	1,31	-0,13	0,08
124505g	49,70	4,64	0,42	1	3,99	0,84	0,03	0,07
124505h	49,59	5,31	0,48	1	3,86	1,04	0,03	0,06

Datos filtrados de resalto hidráulico libre al pie de compuerta, Q = 3.78 l/s (Sum = a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
124512a	112,77	0,39	0,05	1	14,85	18,48	-0,44	-0,54
124512b	114,19	0,91	0,11	4	16,18	111,81	-0,39	-0,97
124512c	81,9	1,52	0,18	4	44,19	898,98	-0,45	-1,57
124512d	16,77	2,17	0,25	4	74,55	1525,47	0,02	-1,87
Sección 3								
124513a	64,61	0,28	0,03	2	17,93	-6,19	-0,26	-0,06
124513b	74,60	0,92	0,09	2	18,28	1,06	-0,28	0,24
124513c	82,47	1,60	0,15	2	16,94	5,55	-0,27	-0,06
124513d	83,78	2,23	0,21	2	18,09	60,81	-0,48	0,14
124513e	81,64	2,90	0,28	3	19,23	140,96	-0,36	-0,74
124513f	64,06	3,55	0,34	3	26,29	287,88	-0,31	-1,01
124513g	61,93	4,16	0,40	3	29,26	352,36	-0,43	-0,81
Sección 4								
124514a	45,20	0,40	0,04	3	13,36	-7,95	0,19	-0,12
124514b	49,53	1,04	0,09	3	15,87	-8,07	0,16	0,41
124514c	53,16	1,75	0,16	3	16,32	-5,82	-0,10	0,41
124514d	58,73	2,50	0,22	3	16,29	4,38	-0,08	0,01
124514e	56,91	3,30	0,29	1	11,55	11,99	-0,12	-0,10
124514f	61,68	3,94	0,35	2	15,71	22,00	-0,22	0,29
124514g	62,32	4,62	0,41	2	16,93	34,83	-0,26	0,31
124514h	59,47	5,34	0,48	3	17,55	62,00	-0,32	0,05
Sección 5								
124515a	43,79	0,32	0,03	1	4,13	-1,54	-0,07	-0,20
124515b	45,53	1,09	0,10	1	4,20	-0,85	0,06	-0,31
124515c	46,10	1,84	0,16	1	4,12	-0,75	0,01	-0,33
124515d	46,83	2,56	0,23	1	3,99	-0,47	0,01	0,20
124515e	47,21	3,28	0,29	1	3,86	0,14	0,03	0,06
124515f	47,46	4,02	0,36	1	3,70	0,02	-0,05	-0,19
124515g	47,51	4,73	0,42	1	3,62	-0,07	-0,04	0,11
124515h	47,80	5,28	0,47	1	3,52	-0,30	-0,10	-0,01
124515i	48,01	5,83	0,52	1	3,44	-0,16	-0,08	0,15

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.78 l/s (Sum = 1,26a)								
Archivo	u _x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	(u _x · t ²) ^{1/2}	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
124521'a	141,26	0,37	0,04	2	11,44	57,85	-0,56	-0,75
124521'b	82,06	0,91	0,11	4	52,23	1199,78	-0,26	-1,90
124521'c	17,95	1,48	0,18	4	78,87	1645,22	0,33	-1,78
124521'd	2,58	1,93	0,23	4	68,76	1276,79	0,49	-1,53
Sección 2								
124522a	112,21	0,31	0,03	1	17,46	21,34	-0,43	-0,44
124522b	104,72	0,93	0,10	3	25,56	347,26	-0,45	-1,17
124522c	64,37	1,58	0,17	4	54,54	1057,58	-0,31	-1,68
124522d	20,17	2,14	0,23	4	71,49	1317,91	-0,01	-1,81
124522e	13,29	2,74	0,29	4	68,67	1107,10	0,01	-1,56
124522f	11,89	3,35	0,35	4	53,77	691,40	-0,17	-1,28
Sección 3								
124523a	59,47	0,31	0,03	3	20,07	-0,85	-0,02	-0,20
124523b	70,17	1,08	0,10	2	19,85	3,59	-0,21	-0,09
124523c	72,25	1,75	0,16	2	20,35	17,67	-0,26	0,03
124523d	72,28	2,51	0,23	1	20,52	88,23	-0,34	-0,02
124523e	66,22	3,19	0,30	2	21,67	162,93	-0,46	-0,12
124523f	60,49	4,02	0,37	3	25,49	231,72	-0,48	-0,27
124523g	55,25	4,64	0,43	4	25,51	247,82	-0,29	-0,64
Sección 4								
124524a	43,24	0,33	0,03	3	14,08	-2,88	0,18	-0,24
124524b	48,22	1,07	0,09	4	16,05	-3,24	0,28	0,41
124524c	50,55	1,75	0,15	3	16,19	5,05	0,03	0,08
124524d	52,65	2,51	0,21	3	16,27	14,23	-0,08	0,13
124524e	54,65	3,15	0,27	1	12,68	14,50	-0,11	-0,07
124524f	55,37	3,82	0,32	3	14,36	27,32	-0,18	0,54
124524g	56,05	4,57	0,39	3	16,71	42,83	-0,17	0,61
124524h	53,88	5,35	0,45	4	17,59	55,14	-0,14	0,20
124524i	50,27	6,04	0,51	4	18,40	82,72	-0,19	0,37
Sección 5								
124525a	41,45	0,30	0,03	1	4,34	-1,09	0,05	-0,10
124525b	43,05	1,10	0,09	1	4,30	-0,59	0,16	-0,09
124525c	43,35	1,78	0,15	1	4,37	-0,36	0,09	0,03
124525d	43,97	2,56	0,22	1	4,22	0,39	0,05	-0,10
124525e	44,51	3,34	0,28	1	4,17	0,54	0,06	0,04
124525f	44,66	4,10	0,35	1	3,97	0,57	0,01	-0,23
124525g	44,73	4,88	0,41	1	3,86	0,53	-0,05	0,16
124525h	44,92	5,51	0,47	1	3,73	0,38	0,02	-0,19
124525i	44,79	6,16	0,52	1	3,55	0,59	-0,05	0,08

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.78 l/s (Sum = 1.46a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
124530a	164,39	0,38	0,06	2	5,14	4,17	-1,99	7,02
124530b	163,96	0,70	0,11	2	5,90	2,11	-1,57	3,47
Sección 1								
124531a	157,77	0,32	0,04	4	6,54	34,40	-0,44	-0,97
124531b	143,37	0,78	0,10	4	15,31	269,00	-0,50	-1,49
Sección 2								
124532a	111,02	0,36	0,04	2	18,78	56,27	-0,27	-0,98
124532b	99,30	0,95	0,10	4	29,09	422,04	-0,33	-1,39
124532c	52,01	1,60	0,16	4	63,28	1145,72	-0,27	-1,68
124532d	26,24	2,23	0,23	4	70,71	1140,30	-0,11	-1,54
124532e	18,59	2,88	0,29	4	60,61	835,00	-0,11	-1,46
124532f	15,12	3,65	0,37	4	44,37	428,86	-0,24	-1,01
Sección 3								
124533a	59,98	0,35	0,03	2	21,42	2,73	-0,16	-0,35
124533b	69,37	0,97	0,09	4	21,29	23,69	-0,17	-0,01
124533c	69,95	1,83	0,17	3	20,72	46,14	-0,21	-0,23
124533d	69,60	2,55	0,23	2	22,34	112,82	-0,28	-0,04
124533e	61,18	3,29	0,30	4	22,44	186,22	-0,27	-0,56
124533f	56,44	4,03	0,37	4	26,01	271,75	-0,46	-0,47
124533g	51,67	4,65	0,43	4	26,37	267,01	-0,33	-0,67
124533h	41,26	5,43	0,50	4	30,25	315,93	-0,61	0,10
Sección 4								
124534a	41,91	0,42	0,03	4	15,24	-5,57	0,14	0,27
124534b	48,06	1,12	0,09	4	16,35	7,49	0,04	0,07
124534c	51,65	1,84	0,15	3	17,04	7,60	-0,04	-0,15
124534d	52,48	2,60	0,21	4	17,22	15,35	0,03	0,04
124534e	50,69	3,34	0,27	1	12,47	18,67	-0,11	-0,13
124534f	55,28	4,09	0,33	4	17,12	49,06	-0,12	0,17
124534g	53,71	4,77	0,38	4	17,74	62,08	-0,15	0,25
124534h	50,79	5,53	0,45	2	18,00	74,53	-0,16	-0,20
124534i	48,02	6,29	0,51	4	18,06	92,66	-0,17	0,15
Sección 5								
124535a	38,49	0,31	0,03	1	4,54	-1,14	0,06	-0,14
124535b	39,79	1,07	0,09	1	4,56	-0,35	0,15	-0,12
124535c	40,50	1,85	0,15	1	4,71	-0,07	0,08	-0,31
124535d	40,75	2,59	0,21	1	4,36	0,34	0,13	0,09
124535e	41,17	3,33	0,27	1	4,43	0,78	0,07	-0,11
124535f	41,42	4,04	0,33	1	4,41	0,72	-0,02	-0,17
124535g	41,82	4,80	0,39	1	4,42	1,13	0,01	0,15
124535h	42,11	5,55	0,45	1	3,99	1,15	0,02	-0,12
124535i	42,19	6,22	0,50	1	3,98	0,97	0,02	0,26
124535j	42,27	6,92	0,56	1	4,03	0,60	-0,10	0,23

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.78 l/s (Sum = 1.58a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x^{-2})^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
124540a	170,81	0,30	0,04	2	3,20	-0,60	-0,38	1,69
124540b	170,99	0,91	0,13	2	4,18	-9,79	-1,37	4,24
124540c	169,06	1,40	0,20	3	6,34	-13,38	-0,99	0,23
Sección 1								
124541a	162,75	0,31	0,04	3	8,27	57,73	-0,83	-0,26
124541b	134,87	0,95	0,12	4	24,05	473,35	-0,48	-1,60
124541c	41,51	1,51	0,19	4	80,75	1699,95	0,12	-1,90
Sección 2								
124542a	116,57	0,33	0,03	1	20,83	69,46	-0,49	-0,47
124542b	92,84	0,96	0,09	2	47,53	769,32	-0,68	-1,04
124542c	45,55	1,64	0,15	4	68,33	1162,81	-0,21	-1,66
124542d	30,85	2,32	0,22	4	64,60	1007,24	-0,11	-1,63
124542e	19,81	2,95	0,28	4	61,51	781,27	-0,20	-1,21
124542f	16,31	3,60	0,34	4	48,16	448,61	-0,38	-0,46
124542g	13,42	4,24	0,40	4	43,81	360,87	-0,54	-0,07
Sección 3								
124543a	65,89	0,29	0,02	2	20,73	-2,70	-0,20	-0,17
124543b	74,17	1,01	0,08	2	21,31	26,79	-0,15	-0,14
124543c	72,74	1,80	0,15	2	21,34	50,89	-0,18	0,06
124543d	71,63	2,51	0,21	2	22,07	117,54	-0,31	0,12
124543e	59,85	3,24	0,27	3	24,00	204,82	-0,34	-0,27
124543f	54,99	3,98	0,33	4	25,93	245,58	-0,39	-0,38
124543g	47,63	4,77	0,40	4	25,73	261,45	-0,26	-0,56
124543h	38,64	5,40	0,45	4	31,29	294,96	-1,03	1,69
124543i	31,04	6,08	0,51	4	26,08	214,59	-0,22	-0,08
Sección 4								
124544a	46,47	0,37	0,03	4	15,73	-0,38	0,03	-0,15
124544b	51,03	1,11	0,08	4	16,37	0,32	0,04	-0,01
124544c	54,59	1,85	0,14	2	17,02	15,39	-0,09	-0,10
124544d	55,29	2,64	0,20	2	16,95	25,74	-0,11	0,05
124544e	53,53	3,35	0,26	1	12,43	22,77	-0,18	0,00
124544f	54,64	4,11	0,31	2	17,17	56,33	-0,20	0,25
124544g	53,75	4,84	0,37	1	17,03	62,04	-0,17	0,21
124544h	48,60	5,59	0,43	4	18,06	87,39	-0,17	0,52
124544i	47,42	6,21	0,47	4	17,04	85,84	-0,14	-0,23
124544j	42,81	6,94	0,53	4	18,87	105,79	-0,07	0,70
Sección 5								
124545a	38,21	0,35	0,03	1	5,10	-0,68	0,18	-0,06
124545b	39,55	1,08	0,08	1	5,19	-0,32	0,08	-0,21
124545c	40,25	1,83	0,14	1	5,29	0,38	0,10	-0,24
124545d	40,88	2,57	0,20	1	5,07	0,66	0,06	-0,21
124545e	41,05	3,37	0,26	1	5,09	2,21	0,02	-0,12
124545f	41,49	4,10	0,31	1	4,89	1,66	0,06	-0,31
124545g	41,65	4,89	0,37	1	4,68	2,15	-0,08	-0,04

124545h	42,13	5,63	0,43	1	4,50	2,60	0,03	-0,03
124545i	41,75	6,32	0,48	1	4,50	2,26	0,04	0,14
124545j	41,70	6,98	0,53	1	4,30	2,24	-0,06	-0,10
124545k	41,33	7,51	0,57	1	4,35	1,45	0,04	0,31

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.78 l/s (Sum = 1.82a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x^{-2})^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
124550a	172,42	0,31	0,04	2	2,79	-3,83	-0,06	0,63
124550b	172,42	0,83	0,10	2	2,80	-5,21	-0,05	0,41
124550c	173,05	1,44	0,18	2	4,16	-22,57	-1,33	2,86
124550d	167,88	2,00	0,24	2	6,57	0,94	-0,37	-0,54
124540e	87,29	2,60	0,32	4	45,67	706,91	-0,27	-1,62
Sección 1								
124551a	165,56	0,26	0,03	2	7,36	-0,40	-0,84	-0,25
124551b	125,93	0,90	0,10	3	42,42	917,00	-0,53	-1,59
124551c	76,06	1,56	0,18	4	64,02	1382,78	-0,17	-1,93
124551d	31,88	2,21	0,25	4	70,35	1292,55	0,11	-1,77
Sección 2								
124552a	111,71	0,42	0,04	1	20,17	32,17	-0,41	-0,44
124552b	99,78	1,10	0,10	3	32,59	449,36	-0,46	-1,23
124552c	48,53	1,78	0,16	4	68,41	1171,58	-0,23	-1,63
124552d	33,36	2,53	0,23	4	60,48	848,83	-0,15	-1,54
124552e	21,78	3,30	0,30	4	50,26	511,32	-0,24	-1,10
124552f	19,28	4,00	0,36	4	46,74	410,33	-0,56	-0,25
124552g	14,17	4,67	0,42	4	40,89	299,07	-0,70	1,06
Sección 3								
124553a	64,13	0,30	0,02	1	20,97	-1,24	-0,21	-0,24
124553b	70,07	1,10	0,09	1	21,13	19,13	-0,19	0,05
124553c	71,31	1,85	0,15	2	20,91	54,78	-0,18	0,03
124553d	71,42	2,59	0,21	4	22,04	104,18	-0,23	-0,05
124553e	62,20	3,34	0,27	2	21,91	172,56	-0,26	-0,40
124553f	57,77	4,07	0,33	4	24,99	225,13	-0,36	-0,22
124553g	49,86	4,86	0,39	4	25,00	223,65	-0,32	-0,28
124553h	39,69	5,61	0,45	4	28,38	261,17	-0,60	0,42
124553i	33,73	6,38	0,52	4	24,39	216,21	-0,19	-0,34
Sección 4								
124554a	44,27	0,34	0,02	1	14,50	-2,61	0,04	-0,33
124554b	49,18	1,21	0,09	3	16,08	0,51	0,03	-0,09
124554c	50,73	1,92	0,14	4	15,94	9,87	0,05	0,07
124554d	52,89	2,69	0,20	1	16,45	19,89	-0,17	0,00
124554e	50,00	3,46	0,25	1	11,84	16,39	-0,19	0,08
124554f	54,24	4,29	0,31	2	16,20	49,90	-0,14	0,29
124554g	53,11	5,08	0,37	3	16,86	66,42	-0,27	0,39
124554h	49,63	5,83	0,42	3	17,22	77,12	-0,27	0,48
124554i	47,02	6,61	0,48	2	17,15	83,88	-0,11	-0,18
124554j	41,86	7,39	0,54	4	16,92	89,51	-0,18	0,48
Sección 5								
124555a	36,10	0,35	0,03	0	5,35	-1,09	0,16	-0,18
124555b	37,71	1,11	0,08	1	5,29	-0,57	0,15	-0,16
124555c	38,92	1,91	0,14	1	5,38	0,47	0,13	-0,18
124555d	39,46	2,67	0,19	1	5,41	1,19	0,05	-0,24

124555e	39,81	3,48	0,25	1	5,30	2,10	0,06	-0,13
124555f	39,82	4,22	0,31	1	5,12	2,49	0,05	0,00
124555g	40,30	4,99	0,36	0	4,97	3,13	-0,05	-0,16
124555h	40,32	5,77	0,42	0	4,82	2,78	0,11	0,01
124555i	40,57	6,58	0,48	1	4,86	3,68	0,01	-0,04
124555j	40,06	7,36	0,54	1	4,52	3,13	-0,05	0,05
124555k	40,02	8,19	0,60	1	4,49	1,76	-0,09	-0,06

Datos filtrados de resalto hidráulico libre, Q = 3.13 l/s (Sum = 0.67a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
103501a	93,78	0,43	0,06	1	18,42	18,75	-0,37	0,21
103501b	100,83	0,87	0,12	2	27,05	194,31	-0,69	-0,27
103501c	32,91	1,38	0,19	4	66,26	1165,70	-0,04	-1,65
Sección 2								
103502a	84,66	0,39	0,05	1	15,89	5,58	-0,23	0,00
103502b	95,62	0,95	0,12	2	23,01	131,62	-0,61	-0,04
103502c	79,92	1,54	0,19	3	37,72	591,49	-0,47	-1,30
Sección 3								
103503a	63,24	0,34	0,04	1	15,86	-1,92	-0,13	-0,03
103503b	71,07	1,01	0,11	1	16,40	4,54	-0,03	0,16
103503c	70,67	1,67	0,17	1	16,24	12,94	-0,21	0,24
103503d	70,50	2,38	0,25	1	16,08	22,48	-0,14	-0,11
103503e	64,54	3,06	0,32	1	15,79	50,17	-0,35	0,12
103503f	54,43	3,56	0,37	2	19,87	113,98	-0,22	-0,23
Sección 4								
103504a	46,77	0,32	0,03	2	12,42	-6,88	-0,03	-0,15
103504b	57,65	0,97	0,09	2	14,05	-0,24	-0,15	-0,14
103504c	61,71	1,71	0,16	1	14,73	11,08	-0,23	0,29
103504d	61,55	2,39	0,23	4	15,64	18,60	-0,32	0,64
103504e	61,05	3,07	0,30	1	13,04	26,06	-0,14	-0,23
103504f	56,09	3,75	0,36	2	13,07	21,98	-0,27	0,39
103504g	55,32	4,32	0,42	1	16,53	58,91	-0,29	-0,07
Sección 5								
103505a	39,06	0,34	0,03	0	4,16	-2,13	0,10	-0,32
103505b	41,39	0,96	0,09	0	4,24	-1,76	-0,01	0,03
103505c	42,25	1,58	0,15	0	4,37	-1,43	0,09	-0,28
103505d	43,08	2,23	0,22	0	4,33	-0,58	0,09	-0,15
103505e	43,49	2,95	0,28	1	4,33	-0,29	-0,08	-0,25
103505f	43,88	3,64	0,35	0	3,96	0,37	-0,02	-0,09
103505g	43,89	4,3	0,41	0	3,86	0,46	-0,07	-0,09
103505h	43,84	4,93	0,48	0	3,61	0,61	-0,05	-0,04

Datos filtrados de resalto hidráulico libre al pie de compuerta, Q = 3.13 l/s (Sum = a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
103512a	115,17	0,43	0,05	2	25,20	146,63	-0,55	-0,78
103512b	35,44	1,02	0,13	4	72,18	1436,96	0,02	-1,81
103512c	6,12	1,58	0,20	4	56,70	836,36	0,46	-1,14
Sección 3								
103513a	71,14	0,34	0,04	1	17,99	-4,44	-0,14	0,04
103513b	76,57	0,96	0,10	1	18,25	17,36	-0,18	0,20
103513c	80,48	1,69	0,18	4	19,46	71,05	-0,32	0,12
103513d	75,55	2,39	0,25	3	22,10	163,96	-0,36	-0,46
103513e	60,93	3,04	0,32	4	25,77	272,39	-0,27	-0,94
103513f	45,67	3,51	0,37	4	28,60	311,96	-0,22	-0,98
Sección 4								
103514a	48,37	0,35	0,03	2	15,45	-4,83	0,03	-0,27
103514b	55,66	1,04	0,10	4	17,80	3,37	-0,16	0,02
103514c	59,51	1,72	0,16	2	17,34	10,24	-0,07	0,06
103514d	61,33	2,38	0,22	2	17,01	16,43	-0,19	0,13
103514e	60,11	3,07	0,28	1	13,24	25,40	-0,16	0,08
103514f	55,24	3,68	0,34	1	14,42	45,12	-0,14	0,00
103514g	57,17	4,29	0,40	3	17,89	57,96	-0,16	0,16
103514h	51,27	4,81	0,45	3	18,78	82,39	-0,16	-0,17
Sección 5								
103515a	38,67	0,37	0,03	0	4,00	-1,30	0,12	-0,06
103515b	39,98	1,09	0,10	0	4,30	-1,14	0,12	-0,15
103515c	40,86	1,76	0,16	0	4,16	0,27	0,04	-0,14
103515d	41,39	2,44	0,23	0	4,27	-0,28	0,03	-0,02
103515e	41,73	3,14	0,29	0	4,07	0,12	0,03	-0,30
103515f	42,22	3,85	0,36	0	3,84	0,37	0,08	-0,14
103515g	42,23	4,50	0,42	0	3,67	0,37	0,03	-0,11
103515h	42,27	5,10	0,47	1	3,57	0,45	0,05	-0,16

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.13 l/s (Sum = 1.26a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x^{-2})^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
103521a	121,41	0,37	0,05	3	30,38	458,21	-0,48	-1,33
103521b	9,22	0,94	0,13	4	65,04	1152,33	0,72	-1,18
Sección 2								
103522a	108,27	0,37	0,05	1	18,79	18,79	-0,36	-0,20
103522b	91,05	1,01	0,12	3	41,72	707,79	-0,46	-1,38
103522c	13,53	1,54	0,19	4	68,35	1217,32	0,24	-1,64
103522d	2,95	1,98	0,24	4	57,48	823,38	0,37	-1,25
Sección 3								
103523a	65,58	0,35	0,03	2	19,51	-2,36	-0,13	-0,12
103523b	75,29	1,01	0,10	1	20,68	15,79	-0,27	0,06
103523c	76,65	1,70	0,17	2	21,14	85,91	-0,35	0,13
103523d	72,37	2,35	0,23	4	25,67	221,35	-0,55	-0,12
103523e	59,44	3,12	0,31	4	26,62	318,06	-0,21	-1,07
103523f	42,37	3,66	0,36	4	31,49	384,40	-0,27	-1,00
103523g	37,28	4,34	0,43	4	30,45	373,78	-0,31	-0,95
Sección 4								
103524a	37,61	0,31	0,03	4	15,64	-7,47	0,13	-0,32
103524b	44,46	0,97	0,09	4	18,33	0,06	0,17	-0,11
103524c	49,69	1,69	0,15	4	18,37	3,64	0,12	-0,09
103524d	50,73	2,30	0,21	4	18,35	15,41	0,00	-0,28
103524e	52,40	3,03	0,27	4	14,96	22,64	-0,09	-0,01
103524f	51,44	3,74	0,34	2	13,81	24,96	-0,12	-0,15
103524g	54,25	4,45	0,40	3	17,76	51,90	-0,21	-0,14
103524h	52,20	4,95	0,45	2	17,76	61,74	-0,13	-0,01
Sección 5								
103525a	35,99	0,35	0,03	0	4,01	-1,44	0,13	-0,05
103525b	37,90	1,02	0,09	0	4,10	-1,15	0,15	-0,14
103525c	38,65	1,75	0,16	0	4,04	-0,80	0,07	-0,13
103525d	39,39	2,43	0,22	0	4,18	-0,07	0,12	-0,30
103525e	39,64	3,13	0,28	0	3,75	0,06	0,10	-0,10
103525f	39,63	3,83	0,35	0	3,87	0,05	0,10	-0,16
103525g	39,87	4,41	0,40	0	3,67	-0,09	0,00	-0,22
103525h	40,13	5,08	0,46	0	3,42	-0,15	0,00	0,33
103525i	40,36	5,60	0,50	0	3,48	-0,17	0,03	0,09

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.13 l/s (Sum = 1.37a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
103531a	102,55	0,42	0,06	4	49,43	935,81	-0,42	-1,54
103531b	4,82	0,99	0,13	4	57,75	878,31	0,97	-0,56
Sección 2								
103532a	111,29	0,36	0,04	2	21,62	50,37	-0,34	-0,64
103532b	49,67	1,02	0,12	4	64,54	1234,99	-0,17	-1,77
103532c	10,17	1,64	0,19	4	64,13	1058,96	0,28	-1,53
103532d	4,51	2,24	0,25	4	56,94	745,13	0,31	-1,13
Sección 3								
103533a	60,18	0,35	0,03	3	21,25	-2,11	-0,21	-0,20
103533b	68,67	1,08	0,10	3	21,80	20,02	-0,18	-0,06
103533c	69,25	1,66	0,16	3	21,39	50,01	-0,27	0,07
103533d	68,84	2,29	0,22	3	22,07	126,09	-0,43	0,18
103533e	63,07	2,97	0,28	4	22,17	181,71	-0,21	-0,73
103533f	50,46	3,66	0,35	4	26,18	290,04	-0,24	-0,88
103533g	43,22	4,33	0,41	4	27,04	310,59	-0,26	-0,86
Sección 4								
103534a	40,64	0,38	0,03	4	15,99	-0,88	0,19	-0,21
103534b	45,68	1,05	0,09	3	18,21	3,87	0,10	-0,46
103534c	47,62	1,75	0,15	4	18,50	17,45	0,05	0,07
103534d	51,45	2,36	0,21	4	18,09	19,55	-0,07	-0,16
103534e	51,26	3,02	0,26	3	16,33	25,82	-0,12	-0,05
103534f	50,62	3,62	0,32	1	13,47	29,17	-0,15	0,10
103534g	51,65	4,31	0,38	3	17,36	44,95	-0,10	0,07
103534h	49,74	4,95	0,43	4	17,17	60,28	-0,19	0,20
103534i	48,11	5,43	0,48	3	17,43	63,13	-0,18	-0,06
Sección 5								
103535a	34,78	0,37	0,03	1	4,07	-1,31	0,03	-0,02
103535b	36,91	1,03	0,09	0	4,13	-0,85	0,15	0,13
103535c	37,68	1,63	0,14	0	4,22	-0,50	0,10	-0,18
103535d	38,28	2,30	0,20	0	4,20	0,04	0,08	-0,06
103535e	38,71	3,00	0,26	0	4,15	0,37	0,16	-0,02
103535f	38,91	3,63	0,32	0	3,88	0,19	0,03	-0,20
103535g	39,06	4,31	0,38	1	3,74	-0,06	-0,08	-0,10
103535h	39,49	4,93	0,43	1	3,71	0,20	0,00	0,15
103535i	39,47	5,47	0,48	0	3,68	0,34	-0,04	-0,04
103535j	39,33	5,92	0,52	0	3,46	0,18	-0,06	-0,03

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.13 l/s (Sum = 1.59a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
103541a	37,96	0,32	0,05	4	73,37	1640,35	0,59	-1,57
103541b	7,16	0,79	0,12	4	57,74	969,26	1,32	0,12
Sección 2								
103542a	108,24	0,36	0,04	1	22,27	50,43	-0,32	-0,39
103542b	69,89	0,95	0,10	4	57,97	971,49	-0,38	-1,46
103542c	27,89	1,67	0,18	4	66,87	1017,24	0,03	-1,52
103542d	17,24	2,29	0,25	4	56,56	692,40	0,03	-1,24
103542e	12,71	2,86	0,31	4	47,23	443,89	-0,12	-0,76
Sección 3								
103543a	65,31	0,33	0,03	3	21,50	4,40	-0,20	-0,21
103543b	69,76	0,97	0,09	2	21,50	32,22	-0,16	-0,20
103543c	69,44	1,67	0,16	2	21,30	78,77	-0,31	0,21
103543d	65,47	2,32	0,22	3	23,05	133,78	-0,27	-0,04
103543e	57,87	2,94	0,28	4	23,78	210,05	-0,28	-0,42
103543f	46,87	3,54	0,33	4	23,24	217,15	-0,15	-0,68
103543g	44,49	4,23	0,40	4	27,04	273,56	-0,33	-0,29
103543h	36,67	4,77	0,45	4	27,47	273,24	-0,35	-0,12
Sección 4								
103544a	43,60	0,36	0,03	3	15,55	-0,72	0,00	-0,43
103544b	47,50	1,03	0,09	4	16,92	8,91	-0,01	-0,21
103544c	50,46	1,83	0,15	3	17,15	20,21	-0,09	-0,09
103544d	54,13	2,55	0,21	4	18,07	35,68	-0,04	0,05
103544e	50,26	3,26	0,27	2	12,73	29,76	-0,13	-0,06
103544f	52,03	3,92	0,33	2	16,00	0,18	-0,15	0,05
103544g	49,60	4,63	0,39	3	16,87	69,23	-0,09	-0,14
103544h	46,59	5,23	0,44	4	17,02	87,55	-0,14	0,00
103544i	42,45	5,76	0,48	4	18,24	101,31	-0,09	0,03
Sección 5								
103545a	34,13	0,35	0,03	0	4,24	-1,29	0,04	-0,23
103545b	36,11	1,01	0,08	1	4,46	-1,28	0,06	-0,11
103545c	37,16	1,75	0,15	1	4,53	-0,15	0,05	-0,23
103545d	37,65	2,44	0,20	0	4,52	0,21	0,06	-0,18
103545e	37,91	3,19	0,27	0	4,37	0,89	0,05	-0,09
103545f	38,07	3,87	0,32	0	4,19	1,16	0,05	-0,10
103545g	38,59	4,57	0,38	0	4,19	1,32	0,06	-0,23
103545h	38,54	5,12	0,43	0	3,91	0,66	-0,10	-0,02
103545i	38,36	5,74	0,48	0	3,76	0,81	0,03	0,23
103545j	38,26	6,32	0,53	0	3,68	1,07	0,03	0,09

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 3.13 l/s (Sum = 1.98a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
103550a	184,67	0,34	0,05	3	6,24	24,88	-1,31	-0,03
103550b	182,28	0,85	0,12	4	5,77	-13,07	-1,05	-0,86
103550c	139,70	1,30	0,19	4	36,14	784,08	-0,36	-1,86
Sección 1								
103551a	44,20	0,34	0,05	4	74,41	1807,80	0,62	-1,61
103551b	18,24	0,92	0,13	4	62,43	1210,65	1,16	-0,52
103551c	15,43	1,43	0,19	4	62,28	1080,86	0,68	-1,23
103551d	16,54	1,85	0,25	4	59,32	872,44	0,39	-1,28
Sección 2								
103552a	114,81	0,37	0,04	3	21,88	61,81	-0,25	-0,81
103552b	79,85	0,95	0,10	4	48,51	800,59	-0,31	-1,50
103552c	44,53	1,58	0,16	4	57,72	2,76	-0,13	-1,56
103552d	32,53	2,18	0,23	4	57,45	738,32	-0,20	-1,22
103552e	25,67	2,84	0,30	4	3,68	-1,53	0,03	0,09
103552f	14,27	3,55	0,37	4	37,92	268,86	-0,39	0,73
Sección 3								
103553a	72,55	0,34	0,03	2	20,15	20,13	-0,17	-0,18
103553b	73,86	1,08	0,10	3	21,15	59,98	-0,16	0,08
103553c	71,33	1,78	0,16	2	22,91	134,34	-0,31	-0,19
103553d	63,41	2,45	0,22	4	24,55	198,59	-0,24	-0,39
103553e	51,50	3,16	0,28	4	24,02	218,50	-0,21	-0,26
103553f	44,62	3,85	0,34	4	27,18	251,90	-0,46	0,27
103553g	36,57	4,47	0,40	4	26,56	237,62	-0,31	-0,05
103553h	29,33	4,95	0,44	4	26,85	242,59	-0,42	0,53
Sección 4								
103554a	45,35	0,32	0,03	3	15,40	-1,63	-0,19	-0,40
103554b	51,21	1,02	0,08	3	16,52	7,65	-0,11	-0,05
103554c	54,26	1,77	0,14	2	17,40	20,13	-0,03	-0,09
103554d	54,75	2,43	0,19	1	16,87	33,75	-0,16	0,02
103554e	53,48	3,17	0,25	2	12,82	28,20	-0,06	0,06
103554f	53,46	3,91	0,31	2	15,21	49,69	-0,14	0,18
103554g	49,76	4,63	0,37	3	17,41	86,85	-0,23	0,12
103554h	45,11	5,35	0,42	4	17,84	94,94	-0,09	-0,01
103554i	40,81	5,96	0,47	4	18,32	99,24	-0,29	0,30
103554j	36,65	6,46	0,51	4	18,16	105,85	-0,09	0,15
Sección 5								
103555a	32,50	0,29	0,02	1	4,76	-1,41	0,14	-0,17
103555b	34,36	1,05	0,08	1	3,68	0,00	0,03	0,09
103555c	35,35	1,76	0,14	1	4,96	-0,24	0,02	-0,29
103555d	36,10	2,49	0,20	1	4,92	0,72	0,07	-0,35
103555e	36,44	3,15	0,25	1	4,84	1,00	0,00	-0,27
103555f	36,81	3,94	0,31	1	4,82	1,58	-0,05	-0,03
103555g	37,38	4,67	0,37	0	4,67	1,95	-0,15	-0,19
103555h	37,40	5,40	0,43	0	4,49	2,73	-0,05	-0,07

103555i	37,05	6,00	0,47	1	4,19	2,09	-0,05	0,01
103555j	37,22	6,63	0,52	0	4,25	2,22	-0,09	0,03
103555k	37,06	7,10	0,56	0	4,11	1,53	0,02	0,02

Datos filtrados de resalto hidráulico libre, Q = 2.59 l/s (Sum = 0.67a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
083102a	74,75	0,40	0,06	1	17,02	0,24	-0,29	-0,03
083102b	74,73	0,93	0,13	2	22,65	63,01	-0,42	-0,18
Sección 3								
083103a	54,84	0,35	0,04	1	13,08	-0,90	-0,09	-0,17
083103b	63,94	0,85	0,10	2	13,90	5,02	-0,07	0,24
083103c	67,33	1,40	0,17	1	13,51	8,32	-0,27	0,03
083103d	65,39	1,95	0,24	1	14,63	24,07	-0,20	0,12
083103e	61,33	2,44	0,30	1	15,19	36,90	-0,10	-0,09
Sección 4								
083104a	43,58	0,31	0,03	1	11,02	-2,12	-0,06	-0,22
083104b	53,42	0,96	0,11	3	12,76	-1,16	-0,17	0,17
083104c	55,44	1,55	0,17	4	13,54	9,40	-0,25	0,30
083104d	58,25	2,19	0,24	3	14,42	19,65	-0,27	0,41
083104e	56,50	2,75	0,30	2	13,78	26,72	-0,22	-0,27
083104f	51,59	3,17	0,35	1	11,44	25,20	-0,23	-0,03
Sección 5								
083105a	35,96	0,33	0,04	0	3,53	-1,45	-0,06	-0,27
083105b	38,24	0,93	0,10	0	3,70	-1,51	0,08	-0,23
083105c	39,18	1,59	0,17	0	3,68	-1,09	-0,03	-0,24
083105d	39,63	2,25	0,25	1	3,64	-0,77	-0,04	0,03
083105e	39,99	2,90	0,32	1	3,56	-0,42	-0,06	-0,10
083105f	37,39	3,55	0,39	1	4,73	0,20	-0,22	-0,20

Datos filtrados de resalto hidráulico libre al pie de compuerta, Q = 2.59 l/s (Sum = a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
083112a	88,28	0,40	0,06	1	21,64	39,52	-0,52	-0,27
083112b	75,29	0,87	0,13	2	40,42	480,54	-0,45	-1,16
Sección 3								
083113a	57,66	0,32	0,04	2	17,58	1,03	-0,26	-0,25
083113b	69,12	0,95	0,11	1	16,87	9,82	-0,30	0,11
083113c	73,30	1,65	0,19	1	17,17	36,15	-0,25	-0,12
083113d	70,54	2,17	0,26	2	18,74	79,27	-0,33	-0,22
083113e	63,37	2,74	0,32	2	21,40	147,88	-0,37	-0,43
Sección 4								
083114a	34,92	0,36	0,04	4	14,20	-8,03	0,12	-0,13
083114b	41,69	1,03	0,11	4	15,90	-7,90	0,07	-0,21
083114c	48,60	1,75	0,19	3	16,83	-0,87	-0,02	-0,04
083114d	51,74	2,36	0,25	3	16,86	7,03	-0,05	0,11
083114e	52,66	2,91	0,31	4	13,93	19,48	-0,10	0,52
083114f	46,88	3,46	0,37	1	12,14	24,67	-0,04	-0,10
Sección 5								
083115a	34,14	0,34	0,04	0	3,28	-1,30	0,04	-0,10
083115b	36,54	1,03	0,11	1	3,40	-1,46	-0,04	-0,09
083115c	37,12	1,77	0,19	0	3,23	-1,06	-0,09	-0,12
083115d	37,68	2,50	0,27	0	3,09	-0,71	-0,03	-0,04
083115e	38,16	3,20	0,34	0	3,08	-0,73	-0,08	-0,01
083115f	38,32	3,99	0,42	0	2,89	-0,73	-0,07	0,09

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.59 l/s (Sum = 1.34a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
083121'a	102,69	0,42	0,06	2	26,94	115,72	-0,48	-0,76
083121'b	68,66	0,84	0,12	4	46,33	710,90	-0,21	-1,61
Sección 2								
083122a	89,20	0,43	0,06	1	21,42	29,59	-0,36	-0,36
083122b	79,19	0,95	0,13	2	35,06	352,92	-0,50	-0,87
083122c	64,24	1,42	0,19	3	37,08	469,14	-0,24	-1,28
Sección 3								
083123a	55,79	0,32	0,03	2	19,34	2,21	-0,14	-0,25
083123b	64,75	1,02	0,11	2	17,80	14,64	-0,19	0,01
083123c	66,80	1,67	0,18	2	18,64	57,05	-0,26	0,26
083123d	62,89	2,31	0,25	1	19,82	114,79	-0,32	-0,03
083123e	55,13	2,88	0,31	3	21,38	156,62	-0,24	-0,32
Sección 4								
083124a	35,97	0,35	0,04	4	14,53	-4,68	0,06	-0,23
083124b	43,22	1,06	0,11	3	16,04	4,54	0,00	-0,45
083124c	47,37	1,73	0,17	4	17,36	14,56	0,03	0,31
083124d	48,52	2,50	0,25	3	16,64	32,76	-0,10	-0,06
083124e	44,50	3,21	0,32	1	12,30	31,40	-0,11	0,00
083124f	44,51	3,86	0,39	4	13,08	40,35	-0,16	-0,03
083124g	45,40	4,33	0,44	4	16,91	70,06	-0,08	-0,11
Sección 5								
083125a	31,12	0,33	0,03	0	3,38	-1,18	0,10	-0,14
083125b	34,43	1,04	0,10	0	3,51	-0,92	-0,01	-0,16
083125c	35,25	1,73	0,17	0	3,40	-0,64	0,09	0,05
083125d	35,65	2,40	0,24	0	3,33	-0,28	0,06	-0,27
083125e	36,14	3,10	0,31	0	3,29	-0,36	0,07	-0,12
083125f	36,19	3,87	0,39	0	3,11	-0,12	-0,06	0,17
083125g	36,28	4,47	0,45	0	3,01	-0,15	0,04	0,07

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.59 l/s (Sum = 1.59a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
083131'a	120,27	0,35	0,05	2	26,06	165,14	-0,42	-0,94
083131'b	86,93	0,83	0,12	4	44,14	735,88	-0,27	-1,69
Sección 2								
083132a	95,77	0,35	0,04	1	22,06	24,65	-0,36	-0,02
083132b	84,15	0,92	0,11	3	31,60	294,80	-0,34	-0,94
083132c	56,48	1,46	0,18	4	44,23	590,92	-0,33	-1,17
083132d	40,22	1,97	0,24	4	43,72	573,41	-0,26	-1,20
Sección 3								
083133a	53,62	0,36	0,04	4	19,23	11,85	0,05	-0,30
083133b	61,78	1,02	0,11	2	17,99	26,25	-0,03	-0,17
083133c	59,07	1,66	0,17	3	19,72	60,72	-0,12	0,24
083133d	55,71	2,30	0,24	4	19,63	92,11	-0,16	-0,24
083133e	48,40	2,93	0,31	4	19,64	136,19	-0,14	-0,30
083133f	36,44	3,48	0,37	4	19,38	128,76	-0,06	-0,20
Sección 4								
083134a	38,81	0,34	0,03	4	12,68	-2,52	-0,02	-0,30
083134b	44,01	1,07	0,10	4	14,08	7,28	-0,07	-0,18
083134c	46,01	1,77	0,17	4	14,98	14,96	-0,12	0,41
083134d	46,69	2,52	0,24	4	14,67	31,36	-0,10	-0,02
083134e	41,83	3,30	0,31	1	11,28	27,23	-0,11	-0,08
083134f	41,70	4,03	0,38	3	13,98	58,38	-0,21	-0,18
083134g	39,75	4,71	0,44	4	16,41	75,38	-0,09	0,28
Sección 5								
083135a	30,33	0,38	0,04	0	3,45	-1,04	0,11	0,01
083135b	32,57	1,03	0,10	0	3,63	-1,02	0,18	-0,08
083135c	33,52	1,80	0,17	0	3,64	-0,32	0,09	-0,15
083135d	34,12	2,51	0,24	1	3,65	-0,06	0,04	-0,08
083135e	34,07	3,24	0,31	1	3,71	0,41	0,03	-0,07
083135f	34,69	3,96	0,37	1	3,44	0,17	-0,07	-0,26
083135g	34,43	4,67	0,44	0	3,33	0,26	-0,03	-0,09
083135h	34,49	5,23	0,49	0	3,33	0,31	-0,05	-0,16

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.59 l/s (Sum = 2.19a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
083140a	176,51	0,34	0,05	1	2,08	0,99	-0,04	0,23
083140b	175,71	0,84	0,12	1	3,62	9,33	-1,37	3,16
083140c	155,12	1,21	0,18	4	10,41	163,02	-0,51	-1,08
Sección 1								
083141a	165,88	0,32	0,05	4	9,38	159,32	-0,56	-1,25
083141b	71,56	0,82	0,12	4	70,11	1652,50	-0,09	-1,97
083141c	36,53	1,34	0,19	4	69,65	1392,83	0,06	-1,84
Sección 2								
083142a	109,54	0,32	0,04	1	20,02	40,42	-0,31	-0,18
083142b	80,38	0,94	0,11	3	42,27	690,06	-0,40	-1,46
083142c	50,27	1,67	0,19	4	53,64	839,42	-0,31	-1,37
083142d	37,51	2,24	0,25	4	50,32	658,95	-0,39	-0,95
083142e	27,69	2,81	0,32	4	43,81	472,43	-0,53	-0,25
Sección 3								
083143a	61,85	0,34	0,03	4	19,32	-1,61	-0,19	-0,09
083143b	68,66	1,07	0,10	2	20,56	33,92	-0,17	0,09
083143c	66,94	1,76	0,17	3	20,83	69,00	-0,24	0,12
083143d	62,26	2,49	0,24	3	22,24	122,80	-0,24	-0,16
083143e	52,69	3,18	0,31	3	20,43	148,84	-0,12	-0,35
083143f	42,61	3,86	0,37	4	22,53	187,67	-0,11	-0,24
083143g	36,42	4,51	0,43	4	24,03	201,35	-0,09	-0,44
Sección 4								
083144a	34,82	0,33	0,03	3	13,79	-4,71	-0,05	-0,53
083144b	39,20	1,09	0,09	4	14,94	0,98	-0,03	-0,07
083144c	43,89	1,86	0,16	4	15,46	6,03	-0,17	-0,09
083144d	45,57	2,55	0,22	3	15,44	16,03	-0,17	0,03
083144e	44,14	3,31	0,28	1	11,67	18,61	-0,16	-0,10
083144f	46,59	4,01	0,34	4	14,93	43,73	-0,23	0,47
083144g	44,59	4,71	0,40	4	16,01	62,45	-0,09	0,47
083144h	39,70	5,52	0,47	4	16,26	82,70	-0,08	0,07
Sección 5								
083145a	28,14	0,38	0,03	0	3,63	-1,00	0,14	0,08
083145b	29,88	1,06	0,09	0	3,85	-0,72	0,09	-0,06
083145c	30,46	1,85	0,16	0	3,79	-0,48	0,10	-0,21
083145d	30,78	2,56	0,22	0	3,85	0,02	0,14	-0,11
083145e	31,02	3,25	0,28	0	3,62	-0,06	0,11	-0,15
083145f	31,17	4,01	0,34	1	3,61	0,27	0,07	-0,05
083145g	31,53	4,75	0,41	1	3,48	0,51	-0,07	-0,05
083145h	31,71	5,42	0,47	0	3,32	0,48	-0,08	0,09

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.59 l/s (Sum = 2.63a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
083150a	176,11	0,29	0,04	1	1,84	0,38	0,08	0,00
083150b	175,51	0,89	0,11	1	2,52	0,87	-0,71	1,19
083150c	119,66	1,50	0,18	2	18,63	192,19	-0,56	-0,50
083150d	35,49	1,92	0,24	4	16,53	65,66	-0,23	0,47
083150e	-1,32	2,50	0,31	4	11,37	13,01	-0,02	0,10
Sección 1								
083151a	169,12	0,32	0,04	3	6,46	63,75	-0,53	-0,96
083151b	138,43	0,88	0,11	4	17,89	323,53	-0,44	-1,44
083151c	90,85	1,51	0,18	4	35,02	580,22	-0,32	-1,51
083151d	52,37	2,01	0,24	4	36,46	419,45	-0,25	-1,01
083151e	33,40	2,54	0,31	4	31,11	266,21	-0,36	0,18
Sección 2								
083152a	98,15	0,50	0,05	3	18,26	37,99	-0,42	-0,15
083152b	89,75	1,19	0,13	3	29,63	309,57	-0,45	-0,90
083152c	66,01	1,94	0,20	4	37,11	466,82	-0,33	-1,00
083152d	40,77	2,63	0,28	4	41,94	470,21	-0,55	-0,13
083152e	24,35	3,30	0,35	4	33,55	271,26	-0,51	0,64
083152f	15,42	3,91	0,41	4	31,13	230,07	-0,46	2,06
Sección 3								
083153a	60,84	0,33	0,03	2	19,49	1,95	-0,26	-0,28
083153b	68,00	1,08	0,09	4	20,09	32,82	-0,17	0,04
083153c	67,96	1,84	0,16	1	20,26	58,26	-0,22	-0,15
083153d	62,51	2,53	0,22	2	20,64	92,13	-0,20	0,00
083153e	54,36	3,23	0,28	2	19,19	131,18	-0,17	0,00
083153f	47,80	3,93	0,34	4	21,41	147,78	-0,26	0,13
083153g	40,26	4,65	0,41	4	22,33	178,96	-0,12	-0,39
083153h	30,60	5,35	0,47	4	21,80	173,57	-0,03	-0,32
083153i	23,03	5,92	0,52	4	22,64	178,56	-0,19	0,05
Sección 4								
083154a	32,03	0,31	0,02	4	13,39	-1,07	0,00	-0,19
083154b	37,04	1,06	0,08	3	14,10	2,96	-0,09	-0,43
083154c	39,96	1,77	0,14	4	14,52	7,25	-0,08	-0,28
083154d	41,36	2,43	0,19	4	14,65	18,48	-0,10	-0,19
083154e	43,29	3,18	0,25	1	12,93	20,93	-0,25	0,06
083154f	44,38	3,90	0,31	1	13,47	39,99	-0,20	0,10
083154g	43,67	4,64	0,37	4	14,16	48,66	-0,10	0,01
083154h	40,71	5,33	0,43	4	14,99	67,12	-0,15	0,27
083154i	37,76	5,99	0,48	4	14,36	63,09	-0,05	-0,15
083154j	35,55	6,57	0,52	4	14,08	68,24	-0,05	-0,03
Sección 5								
083155a	25,92	0,30	0,02	1	3,73	-0,84	0,21	0,00

083155b	27,32	1,05	0,08	0	3,92	-0,51	0,10	-0,21
083155c	27,67	1,78	0,14	1	3,99	-0,04	0,09	-0,22
083155d	28,25	2,52	0,20	0	3,97	-0,05	0,14	-0,28
083155e	28,65	3,21	0,26	0	3,83	0,37	0,02	-0,24
083155f	28,73	3,92	0,31	0	3,81	0,55	0,15	-0,21
083155g	29,35	4,64	0,37	1	3,71	0,68	0,08	-0,10
083155h	29,47	5,35	0,43	1	3,55	0,61	0,07	-0,14
083155i	29,48	6,10	0,49	1	3,59	0,84	0,03	-0,03
083155j	29,65	6,92	0,55	0	3,35	0,36	-0,13	0,14

Datos filtrados de resalto hidráulico libre, Q = 2.09 l/s (Sum = 0.70a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
062403a	52,19	0,35	0,05	2	15,23	4,65	-0,19	-0,07
062403b	62,82	0,87	0,12	1	14,78	7,48	-0,14	0,10
062403c	63,26	1,38	0,19	1	14,90	23,50	-0,19	-0,02
Sección 4								
062404a	32,82	0,34	0,04	2	11,12	-4,78	-0,03	-0,41
062404b	45,01	0,92	0,12	4	14,58	1,25	-0,11	0,04
062404c	51,14	1,50	0,19	4	15,22	9,30	-0,38	0,51
062404d	52,15	2,02	0,25	4	15,04	27,99	-0,23	0,22
Sección 5								
062405a	30,19	0,37	0,05	0	2,99	-1,13	0,04	-0,02
062405b	32,97	0,90	0,11	0	2,97	-1,19	0,00	-0,20
062405c	33,14	1,48	0,19	0	3,04	-1,10	-0,09	-0,14
062405d	33,60	2,02	0,25	0	3,00	-1,15	0,08	-0,10
062405e	33,86	2,54	0,32	0	2,95	-1,06	-0,06	0,11

Datos filtrados de resalto hidráulico libre al pie de compuerta, Q = 2.09 l/s (Sum = a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
062412a	77,91	0,41	0,06	2	24,10	98,28	-0,40	-0,50
062412b	60,25	0,84	0,13	3	32,14	307,66	-0,35	-0,83
Sección 3								
062413a	51,14	0,37	0,05	3	17,92	12,11	-0,27	-0,21
062413b	60,67	0,89	0,11	1	17,63	14,50	-0,34	-0,06
062413c	63,79	1,51	0,19	1	16,68	36,55	-0,11	0,01
062413d	61,83	1,97	0,25	1	17,77	58,47	-0,21	-0,30
Sección 4								
062414a	28,54	0,34	0,04	4	12,46	-5,04	0,12	-0,48
062414b	33,69	0,87	0,10	4	14,98	-6,19	0,24	-0,01
062414c	37,27	1,57	0,19	4	15,92	-0,66	0,07	0,15
062414d	41,44	2,13	0,25	4	15,76	8,89	0,05	-0,11
062414e	44,51	2,75	0,33	4	14,92	18,71	-0,04	-0,07
Sección 5								
062415a	28,29	0,34	0,04	1	2,84	-1,09	0,11	0,09
062415b	31,80	0,94	0,11	0	2,90	-1,29	-0,10	-0,28
062415c	32,34	1,66	0,20	0	2,83	-1,27	-0,15	0,13
062415d	32,57	2,29	0,27	0	2,74	-1,18	0,00	-0,14
062415e	33,07	2,93	0,35	0	2,64	-1,13	-0,05	0,25

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.09 l/s (Sum = 1.27a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
062422a	94,90	0,34	0,05	1	23,08	64,69	-0,47	-0,08
062422b	78,87	0,75	0,11	2	32,49	327,73	-0,50	-0,74
Sección 3								
062423a	60,99	0,33	0,04	4	18,02	11,87	-0,22	0,03
062423b	67,53	0,91	0,11	2	18,31	19,28	-0,21	0,19
062423c	65,09	1,57	0,19	1	19,60	70,80	-0,19	-0,22
062423d	58,70	2,08	0,26	3	20,71	111,03	-0,23	-0,15
Sección 4								
062424a	31,29	0,40	0,04	4	13,73	-4,58	0,08	-0,36
062424b	38,15	0,97	0,11	4	15,87	0,94	0,07	-0,15
062424c	43,99	1,63	0,18	4	17,48	15,32	0,01	0,01
062424d	46,31	2,20	0,25	4	17,06	23,10	0,01	-0,21
062424e	43,75	2,90	0,33	4	13,59	19,90	-0,03	-0,08
Sección 5								
062425a	25,76	0,34	0,04	0	2,85	-0,89	0,06	0,06
062425b	30,52	0,96	0,11	0	3,02	-1,02	0,09	-0,07
062425c	31,04	1,59	0,18	0	2,88	-0,97	-0,13	0,17
062425d	31,18	2,25	0,25	0	2,87	-0,86	0,06	-0,21
062425e	31,55	2,89	0,33	0	2,64	-0,72	-0,14	0,06

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.09 l/s (Sum = 1.94a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
062432a	2,93	0,44	0,06	4	23,96	60,62	0,89	1,03
062432b	74,3	0,92	0,13	4	20,69	68,95	-0,07	-0,39
062432c	63,85	1,39	0,19	4	32,39	349,43	-0,20	-0,96
Sección 3								
062433a	6,9	0,51	0,06	4	20,53	19,93	0,37	-0,14
062433b	8,18	1,18	0,14	4	31,08	114,77	0,17	-0,83
062433c	47,27	1,85	0,22	4	23,85	153,93	-0,03	-0,19
062433d	41,9	2,48	0,3	4	24,66	208,28	-0,14	-0,23
Sección 4								
062434a	27,51	0,35	0,04	4	10,27	-3,07	-0,04	-0,08
062434b	40,91	1,01	0,11	4	14,21	5,57	-0,08	0,05
062434c	43,02	1,69	0,18	4	16,04	33,58	-0,09	0,33
062434d	43,84	2,35	0,25	4	16,27	48,74	0,00	0,14
062434e	38,69	2,87	0,30	2	12,17	41,12	-0,13	-0,24
062434f	31,25	3,38	0,35	4	12,09	32,65	0,05	-0,10
Sección 5								
062435a	25,2	0,44	0,05	1	2,94	-0,84	0,10	-0,30
062435b	28,49	1,09	0,12	0	3,13	-0,78	0,11	-0,43
062435c	29,31	1,76	0,19	1	3,19	-0,67	0,09	-0,36
062435d	29,72	2,45	0,26	0	3,17	-0,46	0,00	-0,32
062435e	27,09	3,24	0,34	4	4,15	-1,43	-0,16	-0,71
062435f	30,12	3,95	0,41	1	2,90	-0,10	-0,03	-0,52

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 2.09 l/s (Sum = 2.48a)								
Archivo	u _x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	(u _x ⁻²) ^{1/2}	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
062440a	158,51	0,36	0,06	2	9,91	30,44	-0,43	-0,65
Sección 1								
062441a	104,68	0,35	0,06	3	33,50	384,67	-0,36	-1,07
062441b	56,49	0,70	0,11	4	61,36	1104,35	-0,12	-1,78
Sección 2								
062442a	107,53	0,37	0,05	2	22,21	94,35	-0,12	-0,78
062442b	87,88	0,87	0,11	4	28,94	310,02	-0,25	-1,00
062442c	62,17	1,43	0,19	4	32,64	376,67	-0,20	-0,99
062442d	43,32	1,92	0,25	4	33,03	332,69	-0,24	-0,53
Sección 3								
062443a	28,58	0,39	0,04	4	15,71	17,35	0,41	0,53
062443b	63,23	1,03	0,11	4	25,83	74,48	-0,10	-0,15
062443c	60,85	1,67	0,18	2	22,82	105,62	-0,18	-0,34
062443d	51,46	2,34	0,25	4	22,73	127,19	-0,08	-0,20
062443e	40,90	2,95	0,32	4	19,88	149,45	0,01	-0,50
062443f	25,40	3,54	0,38	4	19,50	102,81	-0,01	0,24
Sección 4								
062444a	33,24	0,35	0,04	4	14,35	-3,81	-0,07	-0,21
062444b	39,51	1,03	0,10	4	15,15	-1,41	-0,10	0,72
062444c	42,07	1,70	0,16	4	15,36	13,32	-0,15	0,36
062444d	44,05	2,34	0,23	4	15,61	26,21	-0,12	0,09
062444e	44,06	2,98	0,29	1	14,69	38,20	-0,12	0,13
062444f	38,36	3,66	0,35	4	11,65	20,62	-0,05	-0,04
062444g	39,02	4,35	0,42	4	15,86	72,16	0,00	0,06
Sección 5								
062445a	23,15	0,38	0,04	1	2,99	-0,70	0,07	-0,34
062445b	24,15	1,04	0,10	0	3,27	-0,67	0,07	-0,45
062445c	24,60	1,74	0,17	0	3,11	-0,32	0,14	-0,41
062445d	24,94	2,41	0,23	1	3,04	-0,42	0,04	-0,68
062445e	25,24	3,12	0,30	1	2,92	-0,11	0,03	-0,42
062445f	25,38	3,8	0,37	4	2,89	-0,24	0,02	-0,44
062445g	25,70	4,31	0,43	0	2,87	-0,34	-0,06	-0,36
062445h	25,59	4,85	0,50	0	2,73	-0,26	0,00	-0,44

Datos filtrados de resalto hidráulico libre, Q = 1.82 l/s (Sum = 0.68a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
052203a	49,57	0,05	0,01	2	14,49	-8,70	-0,30	-0,28
052203b	56,78	0,54	0,08	1	13,45	1,80	-0,30	0,07
052203c	47,47	1,05	0,16	1	16,46	-20,77	-0,42	0,46
Sección 4								
052204a	38,91	0,07	0,01	2	9,84	-3,27	0,00	-0,76
052204b	44,21	0,53	0,08	4	18,22	40,66	-0,03	-0,87
052204c	45,22	1,01	0,14	4	14,49	24,51	-0,14	-0,40
052204d	47,2	1,25	0,18	4	12,81	13,44	-0,27	0,22
Sección 5								
052205a	29,35	0,39	0,06	0	2,87	-1,21	-0,09	-0,37
052205b	31,59	0,9	0,13	0	2,95	-1,41	0,05	-0,24
052205c	32,61	1,39	0,20	0	2,76	-1,32	-0,06	-0,35
052205d	33,08	1,99	0,28	0	2,62	-1,21	-0,03	-0,41

Datos filtrados de resalto hidráulico libre al pie de compuerta, Q = 1.82 l/s (Sum = a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
052213a	58,93	0,09	0,02	3	20,00	8,18	-0,23	-0,16
052213b	68,35	0,37	0,05	1	19,52	-4,74	-0,33	-0,02
052213c	66,53	0,97	0,14	1	22,86	-0,62	-0,26	0,01
Sección 4								
052214a	30,63	0,06	0,01	4	11,58	-9,83	-0,02	-0,61
052214b	38,43	0,54	0,07	4	13,29	-7,31	-0,07	-0,44
052214c	41,07	1,02	0,14	4	14,09	-1,83	-0,17	0,01
Sección 5								
052215a	26,55	0,03	0,01	1	2,53	-1,15	-0,01	-0,43
052215b	30,26	0,59	0,08	0	2,59	-1,19	0,00	-0,46
052215c	30,60	1,00	0,13	0	2,52	-1,20	0,04	-0,59
052215d	31,09	1,57	0,21	0	2,57	-1,18	-0,05	-0,39

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.82 l/s (Sum = 1.34a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
052223a	70,22	0,1	0,02	4	24,47	58,26	-0,12	0,81
052223b	70,84	0,53	0,07	2	27,43	94,01	-0,43	0,57
052223c	64,23	1,27	0,17	1	33,60	168,59	-0,34	-0,14
Sección 4								
052224a	39,56	0,01	0,01	4	12,09	0,05	-0,10	-0,60
052224b	44,70	0,45	0,05	4	14,42	6,95	-0,06	0,88
052224c	46,15	1,07	0,13	4	15,08	25,37	-0,15	0,68
052224c	44,91	1,60	0,19	4	16,28	42,80	-0,23	0,84
Sección 5								
052225a	24,77	0,02	0,10	0	2,49	-1,04	0,03	-0,34
052225b	27,19	0,41	0,05	0	2,53	-0,85	0,12	-0,47
052225c	27,92	1,13	0,14	0	2,55	-0,67	0,00	-0,26
052225d	28,44	1,92	0,23	0	2,50	-0,79	-0,03	-0,36

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.82 l/s (Sum = 2.02a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
052232a	93,01	0,3	0,05	4	38,45	453,38	-0,22	-1,20
052232b	79,62	0,59	0,09	4	37,64	210,89	-0,27	-0,79
Sección 3								
052233a	60,36	0,11	0,02	4	16,72	103,06	0,21	0,28
052233b	60,05	0,59	0,07	4	17,25	103,41	-0,06	0,59
052233c	54,26	1,27	0,15	4	24,91	322,88	-0,25	0,08
052233d	42,36	2,06	0,24	4	23,05	0,68	-0,07	-0,89
Sección 4								
052234a	29,33	0,04	0,01	4	17,19	88,20	0,03	0,56
052234b	36,15	0,69	0,08	4	16,72	103,06	0,21	0,28
052234c	37,32	1,47	0,16	4	17,45	110,74	-0,11	1,04
052234d	36,48	2,47	0,27	2	16,89	98,50	0,15	0,34
Sección 5								
052235a	22,15	0,02	0,01	1	16,69	-35,65	0,22	0,27
052235b	25,16	0,63	0,07	0	16,61	-36,00	0,25	0,24
052235c	26,06	1,45	0,16	1	16,53	-42,18	0,27	0,23
052235d	26,46	2,18	0,24	0	16,38	-50,46	0,32	0,21
052235e	26,19	2,72	0,30	4	16,58	-84,68	0,26	0,24

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.82 l/s (Sum = 2.68a)								
Archivo	u _x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	(u _x ²) ^{1/2}	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
052240a	165,87	0,37	0,06	4	3,06	1,24	-0,48	-0,45
052240b	121,58	0,77	0,13	2	17,41	215,91	-0,57	-0,76
Sección 1								
052241a	85,63	0,05	0,01	3	42,56	57,73	0,09	-1,15
Sección 2								
052242a	104,46	0,36	0,05	2	17,96	48,10	-0,10	-0,97
052242b	82,28	0,88	0,12	4	24,18	170,61	-0,17	-0,86
052242c	59,91	1,44	0,19	4	27,00	239,22	-0,14	-0,84
052242d	44,39	1,84	0,25	4	28,88	245,47	-0,24	-0,02
Sección 3								
052243a	63,71	0,05	0,01	4	19,15	23,18	-0,16	0,98
052243b	62,29	0,65	0,08	4	23,75	65,18	-0,33	0,66
052243c	55,34	1,36	0,16	2	27,64	130,85	-0,20	0,37
052243d	43,08	2,28	0,26	4	16,23	88,26	-0,04	-0,78
Sección 4								
052244a	30,30	0,36	0,04	4	13,13	0,41	-0,09	-0,37
052244b	35,28	1,02	0,11	4	14,01	3,54	-0,20	0,16
052244c	38,66	1,74	0,18	4	13,97	17,10	-0,06	0,29
052244d	41,03	2,39	0,25	4	17,07	30,71	-0,03	0,41
052244e	39,04	3,07	0,32	1	12,27	32,93	0,02	-0,12
052244f	34,65	3,79	0,39	4	11,74	31,31	-0,18	-0,24
052244g	34,01	4,36	0,45	4	15,30	81,39	0,10	0,08
Sección 5								
052245a	22,16	0,05	0,01	1	2,45	-0,66	0,07	-0,32
052245b	24,11	0,62	0,06	0	2,52	-0,72	0,06	-0,54
052245c	25,35	1,4	0,14	0	2,63	-0,50	0,14	-0,33
052245d	25,57	2,13	0,22	1	2,60	-0,35	-0,06	-0,25
052245e	25,57	2,75	0,28	1	2,63	-0,41	-0,04	-0,46
052245f	25,41	3,39	0,35	4	2,45	-0,40	0,00	-0,37

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.82 l/s (Sum = 3.34a)								
Archivo	u _x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	(u _x ⁻²) ^{1/2}	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
052250a	156,85	0,37	0,05	2	5,68	5,53	-0,22	-0,55
052250b	119,59	0,83	0,13	3	13,79	60,29	-0,31	-0,07
052250c	32,70	1,49	0,20	4	15,73	35,25	-0,05	-0,01
052250d	5,31	2,02	0,27	4	13,06	23,25	0,05	-0,17
Sección 1								
052251a	136,86	0,20	0,03	3	19,86	57,89	-0,93	0,23
052251b	78,90	0,86	0,12	4	41,61	217,73	-0,03	-0,87
Sección 2								
052252a	99,96	0,39	0,05	1	21,30	40,26	-0,04	-0,67
052252b	84,95	0,98	0,12	4	24,53	202,67	-0,20	-1,02
052252c	63,68	1,48	0,18	4	26,37	219,25	-0,14	-0,78
052252d	43,01	2,08	0,25	4	27,71	228,72	-0,23	-0,06
052252e	27,37	2,66	0,32	4	26,27	208,64	-0,11	-0,45
Sección 3								
052253a	61,44	0,21	0,02	4	18,75	6,63	-0,26	-0,09
052253b	63,57	0,83	0,09	2	22,89	58,99	-0,44	1,12
052253c	61,1	1,46	0,15	2	22,06	0,20	-0,02	-1,00
052253d	49,79	2,29	0,24	4	16,98	97,44	-0,06	-0,80
052253e	41,51	2,98	0,31	4	30,45	203,31	0,15	0,76
Sección 4								
052254a	22,10	0,37	0,04	4	11,98	-3,28	-0,05	-0,54
052254b	29,73	1,03	0,10	4	14,62	3,16	-0,04	-0,31
052254c	34,22	1,77	0,17	4	14,45	8,46	-0,15	-0,15
052254d	37,83	2,57	0,25	4	14,06	20,36	-0,17	0,89
052254e	33,01	3,43	0,33	4	10,82	21,64	-0,02	-0,54
052254f	37,02	4,17	0,40	2	13,41	45,64	-0,12	-0,23
Sección 5								
052255a	21,01	0,05	0,02	1	2,60	-0,65	0,10	-0,18
052255b	21,69	0,62	0,10	2	2,57	-0,59	0,10	-0,49
052255c	22,62	1,4	0,18	0	2,68	-0,13	0,11	-0,39
052255d	22,70	2,13	0,26	0	2,74	-0,38	-0,07	-0,46
052255e	22,57	2,75	0,33	2	2,50	-0,24	0,02	-0,40
052255f	22,44	3,39	0,42	0	2,46	-0,45	0,01	-0,24

Datos filtrados de resalto hidráulico libre, Q = 1.51 l/s (Sum = 0.74a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
041703a	50,21	0,39	0,06	2	14,19	9,36	-0,22	-0,09
041703b	53,24	0,70	0,11	3	14,79	12,23	-0,22	0,22
Sección 4								
041704a	33,11	0,39	0,06	3	11,71	0,67	-0,11	-0,27
041704b	40,76	0,79	0,11	4	14,07	8,81	-0,14	-0,14
041704c	43,46	1,22	0,17	3	14,42	14,83	-0,18	-0,16
Sección 5								
041705a	23,83	0,32	0,05	0	2,85	-1,18	0,08	-0,19
041705b	26,70	0,87	0,12	4	10,33	2,60	0,01	-1,18
041705c	27,64	1,41	0,20	0	2,82	-1,32	-0,09	-0,11

Datos filtrados de resalto hidráulico libre al pie de compuerta, Q = 1.51 l/s (Sum = a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
041703a	55,33	0,36	0,06	2	14,38	7,44	-0,23	0,02
041703b	56,60	0,67	0,10	2	14,63	15,15	-0,15	-0,02
Sección 4								
041704a	14,52	0,48	0,07	4	13,07	-11,63	0,11	0,32
041704b	27,89	0,99	0,14	4	12,60	13,80	-0,06	-0,12
041704c	32,54	1,39	0,19	3	12,47	5,52	-0,10	-0,34
Sección 5								
041705a	22,89	0,35	0,05	0	2,63	-0,89	0,07	-0,01
041705b	26,27	0,90	0,13	0	2,59	-1,16	0,03	-0,06
041705c	27,13	1,48	0,21	0	2,41	-1,06	-0,07	-0,13

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.51 l/s (Sum = 1.37a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 3								
041723a	41,89	0,37	0,05	4	18,54	52,14	0,18	0,37
041723b	58,64	0,78	0,11	3	18,14	37,01	-0,14	-0,02
Sección 4								
041724a	29,09	0,32	0,04	4	11,81	-0,64	-0,03	0,23
041724b	40,2	0,97	0,13	4	16,49	23,71	-0,05	-0,07
041724c	42,67	1,51	0,20	4	16,46	34,37	-0,09	-0,60
Sección 5								
041725a	20,09	0,30	0,04	0	2,65	-0,77	-0,07	0,07
041725b	24,06	0,85	0,11	0	2,43	-0,90	0,02	0,05
041725c	24,95	1,39	0,18	0	2,40	-0,87	-0,03	-0,01
041725d	25,65	1,99	0,26	0	2,25	-0,68	-0,10	0,09

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.51 l/s (Sum = 2.22a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 2								
041732a	45,59	0,41	0,07	4	19,59	4,15	0,16	0,28
Sección 3								
041733a	28,47	0,36	0,05	4	17,39	20,53	0,46	0,90
041733b	51,02	0,84	0,11	4	20,68	55,74	0,01	-0,34
041733c	43,49	1,38	0,19	4	22,29	84,66	-0,04	-0,37
Sección 4								
041734a	26,86	0,35	0,05	4	11,42	2,25	0,02	0,00
041734b	23,73	0,94	0,11	4	17,77	41,59	-0,11	-0,75
041734c	36,73	1,53	0,18	4	15,89	38,22	0,04	0,20
041734d	35,72	2,18	0,26	4	16,24	63,29	0,01	-0,26
Sección 5								
041735a	17,83	0,40	0,05	0	2,62	-0,61	-0,05	-0,17
041735b	23,50	1,03	0,12	0	2,42	-0,93	0,00	-0,17
041735c	24,30	1,77	0,21	0	2,33	-0,63	0,02	-0,02
041735d	24,42	2,53	0,30	0	2,21	-0,61	-0,03	-0,19
041735e	21,41	3,22	0,39	3	5,04	-0,81	-0,21	-0,11

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.51 l/s (Sum = 3.22a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 1								
041741a	90,01	0,37	0,07	2	30,73	231,43	-0,35	-0,08
Sección 2								
041742a	72,30	0,41	0,06	0	14,33	27,32	-0,21	-0,02
041742b	51,97	0,82	0,12	4	26,80	-22,78	0,13	-0,25
041742c	44,12	1,28	0,18	4	23,50	30,24	0,09	-0,02
Sección 3								
041743a	50,62	0,38	0,05	4	21,24	41,20	0,17	-0,17
041743b	60,41	1,03	0,12	4	23,78	48,39	-0,13	-0,50
041743c	50,88	1,69	0,20	4	22,54	108,61	-0,04	-0,31
041743d	34,02	2,35	0,28	4	21,69	101,00	-0,09	0,31
041743e	23,86	3	0,35	4	19,88	104,99	-0,10	0,54
Sección 4								
041744a	19,20	0,39	0,04	4	9,72	-3,86	0,00	-0,55
041744b	24,63	1,01	0,11	4	13,08	6,39	-0,18	-0,62
041744c	29,48	1,71	0,18	4	12,45	13,86	0,03	0,36
041744d	30,58	2,35	0,25	4	12,90	25,92	0,12	1,00
041744e	29,51	3,00	0,32	3	10,63	25,92	-0,02	-0,27
041744f	23,06	3,57	0,38	4	10,18	18,49	0,07	-0,57
Sección 5								
041745a	17,66	0,38	0,04	1	2,33	-0,53	0,11	-0,39
041745b	19,25	1,15	0,12	0	2,75	-0,74	0,06	-0,46
041745c	20,86	1,89	0,20	1	2,43	-0,46	0,09	-0,43
041745d	21,07	2,63	0,28	0	2,46	0,38	0,02	-0,16
041745e	16,77	3,39	0,36	4	6,13	1,97	0,01	-0,36
041745f	21,48	4,12	0,44	0	2,42	-0,47	-0,04	-0,30

Datos filtrados de resalto hidráulico sumergido, Q = 1.51 l/s (Sum = 4.28a)								
Archivo	u_x (cm/s)	Distancia al límite (cm)	% calado	Filtros	$(u_x'^2)^{1/2}$	Cov - XY	Sesgo	Curtosis
Sección 0								
041750a	140,28	0,35	0,05	3	10,94	32,50	-0,37	-0,11
041750b	-1,84	0,85	0,12	4	17,94	-38,42	-0,05	0,48
041750c	9,56	1,4	0,19	4	12,90	11,84	0,10	0,65
041750d	-8,52	1,92	0,26	4	7,73	11,57	0,15	0,50
Sección 1								
041751a	99,93	0,37	0,05	1	22,14	119,42	-0,36	0,07
041751b	72,03	0,9	0,12	1	23,68	156,87	-0,51	0,56
041751c	36,10	1,45	0,20	4	18,59	72,14	-0,14	0,11
041751d	18,23	1,97	0,27	4	18,21	52,40	-0,13	0,14
Sección 2								
041752a	102,64	0,34	0,05	2	19,88	37,66	-0,03	-0,62
041752b	4,15	0,95	0,12	4	29,03	-100,98	-0,22	-0,54
041752c	50,17	1,6	0,20	4	25,94	167,43	-0,22	0,17
041752d	30,64	2,22	0,28	4	24,29	145,73	-0,14	0,35
Sección 3								
041753a	58,47	0,36	0,04	4	19,76	37,77	-0,03	-0,61
041753b	65,06	1	0,11	4	26,92	89,05	-0,28	-0,21
041753c	56,05	1,64	0,17	4	22,51	112,00	-0,08	-0,60
041753d	44,17	2,3	0,24	4	22,35	149,07	-0,05	-0,72
041753e	33,34	2,94	0,31	4	20,37	165,24	0,04	-0,40
041753f	16,63	3,59	0,38	4	18,94	107,57	0,07	0,55
Sección 4								
041754a	14,32	0,37	0,04	4	11,10	-5,40	0,07	-0,41
041754b	24,54	1,07	0,10	4	15,34	2,59	-0,03	-0,23
041754c	28,38	1,73	0,16	4	15,76	19,36	-0,08	-0,01
041754d	31,27	2,46	0,23	4	14,72	31,33	-0,03	0,11
041754e	28,33	3,13	0,30	4	11,95	27,71	-0,02	-0,43
041754f	27,76	3,85	0,37	3	10,84	24,73	-0,05	-0,27
041754g	28,29	4,62	0,44	4	14,99	68,06	0,12	0,41
Sección 5								
041755a	15,61	0,39	0,04	2	2,40	-0,52	0,07	-0,18
041755b	18,25	1,07	0,10	1	2,62	-0,44	0,01	-0,40
041755c	18,5	1,78	0,17	1	2,58	-0,29	0,03	-0,33
041755d	18,76	2,49	0,24	0	2,74	-0,22	0,17	-0,19
041755e	15	3,17	0,30	4	6,73	4,07	-0,19	0,12
041755f	18,13	3,84	0,37	4	4,73	2,64	-0,08	0,17
041755g	18,99	4,52	0,43	0	2,46	-0,46	0,01	-0,20
041755h	19,31	5,11	0,49	0	2,48	-0,43	-0,03	-0,31

ANEXO 2.

GRÁFICAS DE VELOCIDAD FRENTE CALADO

Una vez recogidos en el anexo anterior los valores de velocidad medidos en cada punto de muestreo, se representan a continuación los perfiles de velocidad clasificados por secciones muestreadas y caudal de trabajo para cada resalto hidráulico analizado.

El muestreo se realizó usando una frecuencia de 5 Hz y a continuación se filtraron las muestras que requiriesen esta operación para eliminar datos negativos y homogeneizar la serie inicial.

Como se observa a continuación, en determinadas secciones, tan solo se han podido muestrear puntos en algunos resaltos, ya que para los demás tipos de resaltos fue imposible realizar medición alguna debido a que el calado en esa sección era insuficiente. El porcentaje de calado hasta el que se han podido obtener medidas es variable, y aumenta con la sumergencia del resalto hidráulico.

Las velocidades más altas se localizan, lógicamente, al inicio del resalto, debido fundamentalmente a la influencia del chorro principal saliente de la compuerta, y por este mismo motivo se localizan a porcentajes de calado bajos. Se observa generalmente un descenso rápido de las velocidades con el incremento del calado.

Igualmente, observamos que al muestrear secciones más alejadas de la compuerta, y aún dentro del seno del resalto, las velocidades van siendo cada vez más bajas conforme nos encontramos a mayor distancia de la compuerta. Esta reducción de velocidades indica el efecto de la disipación de energía dentro del resalto hidráulico. En estas secciones más alejadas de la compuerta el descenso de las velocidades es mucho más paulatino conforme aumenta el porcentaje del calado que en la sección inicial localizada inmediatamente aguas debajo de la compuerta.

Por último, observamos que en la sección denominada intermedia y localizada aguas abajo de la compuerta, la distribución de velocidades es muy uniforme, y la reducción de velocidades con respecto a las secciones iniciales es muy notable, lo que confirma de nuevo la disipación de energía producida dentro del resalto hidráulico.ç

A pesar de haber repetido las medidas de velocidad para estos casos, las figuras 21 y 22 (para $Sum=1,94 a$), figuras 31 y 33 (para $Sum= 4,28 a$) y figura 34 (para $Sum=3,22 a$), muestran perfiles influenciados por los remolinos internos de los resaltos hidráulicos sumergidos, obteniéndose oscilaciones bruscas de velocidad de un punto a otro del perfil,

pero también posiblemente, porque la presencia de aire en los remolinos, dificulta el normal registro del aparato. Estos puntos anómalos sólo se tomaron en cuenta en la distribución de velocidades recogida en la figura 25, y finalmente fueron desechados por ser muy minoritarios y poco influyentes en los resultados definitivos.

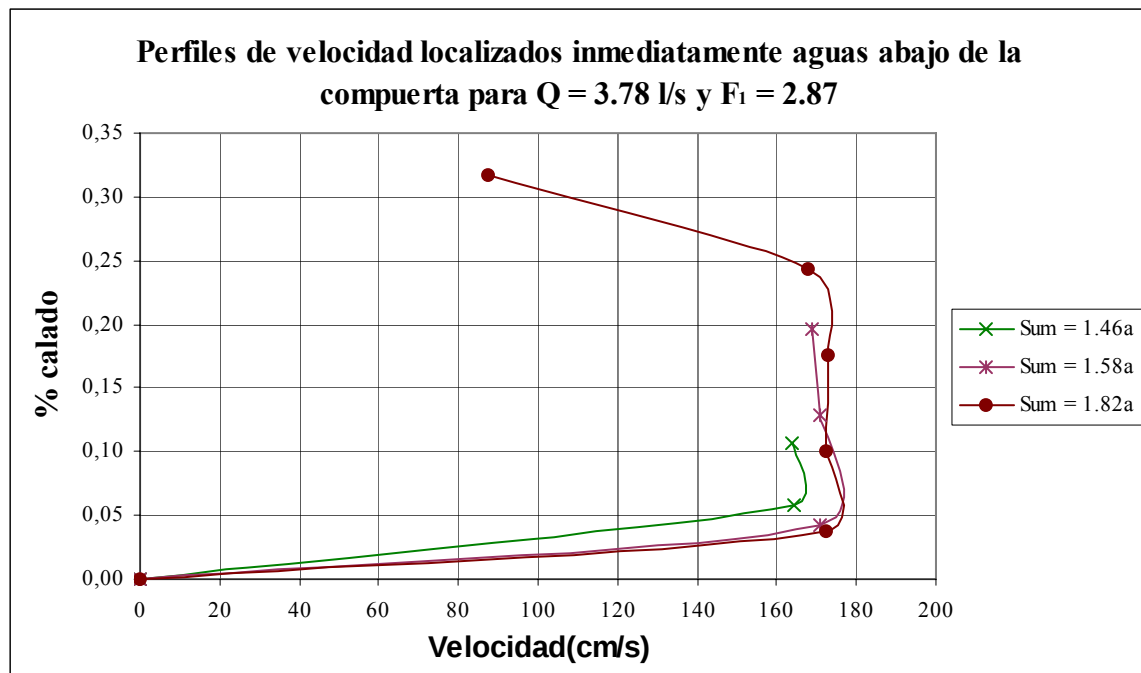


Figura 1

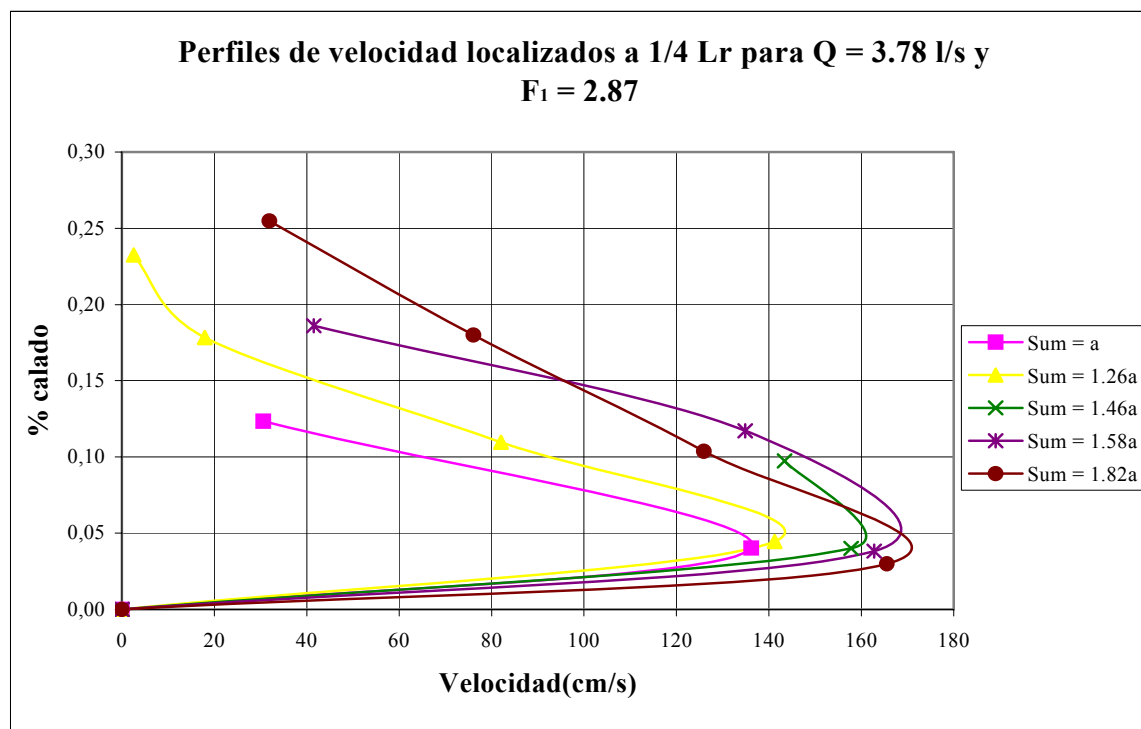


Figura 2

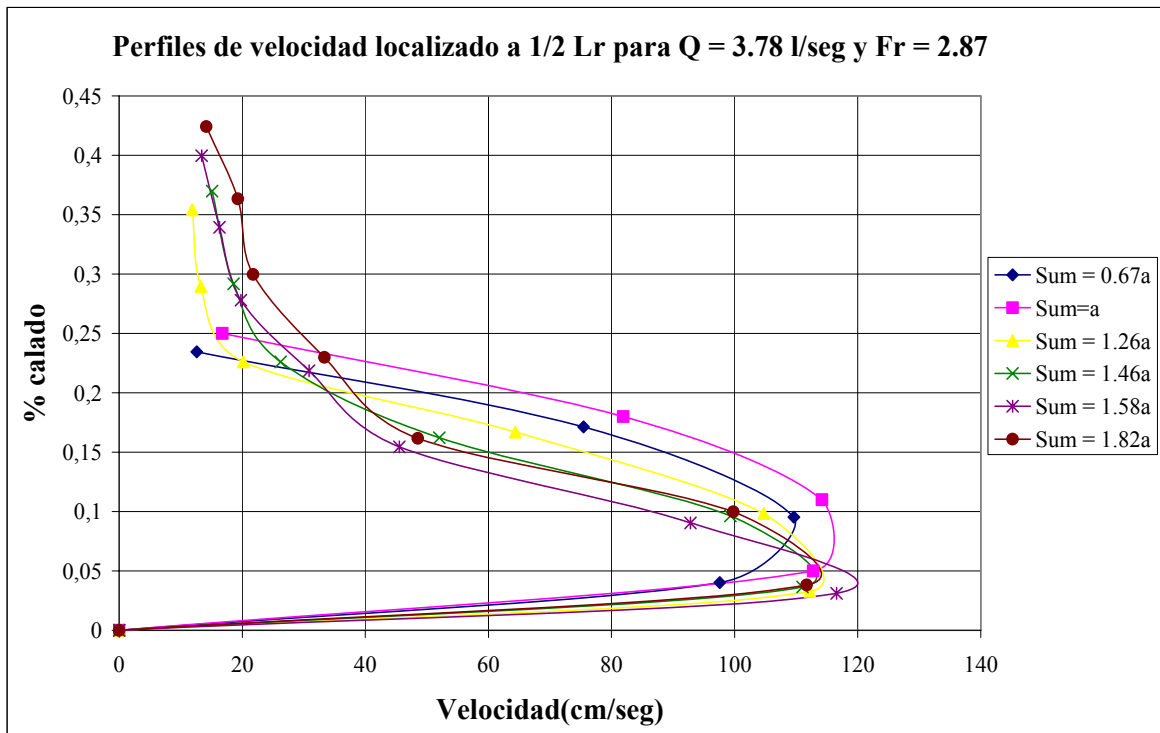


Figura 3

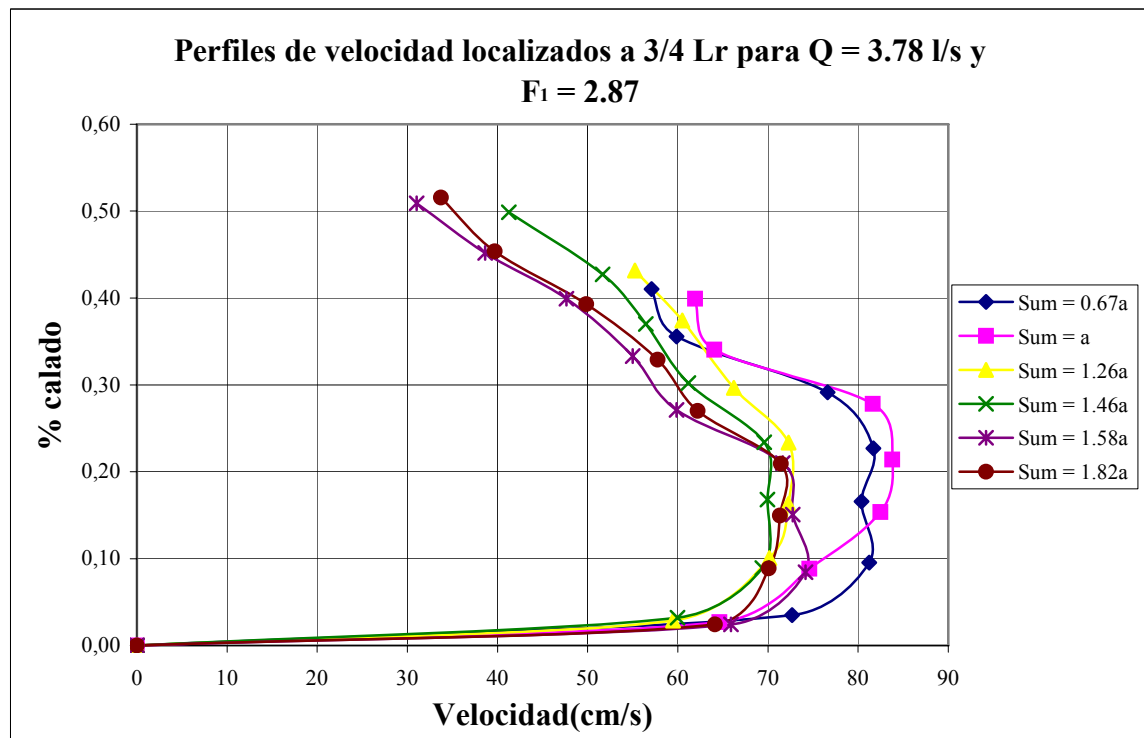


Figura 4

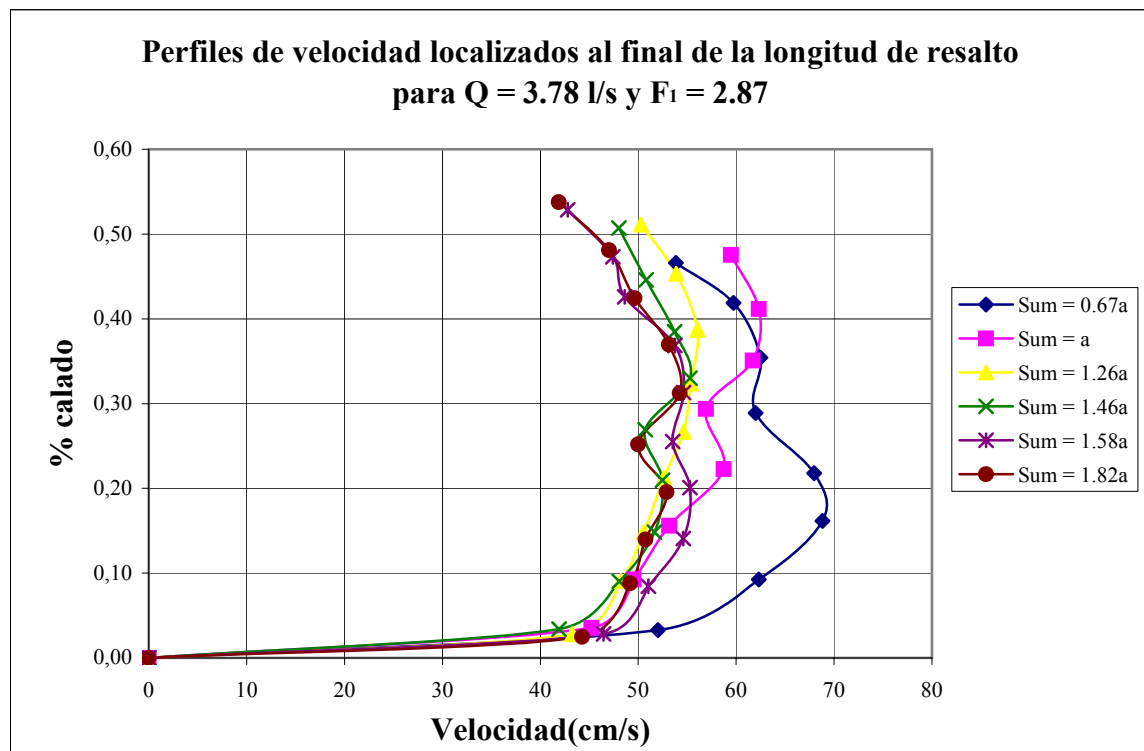


Figura 5

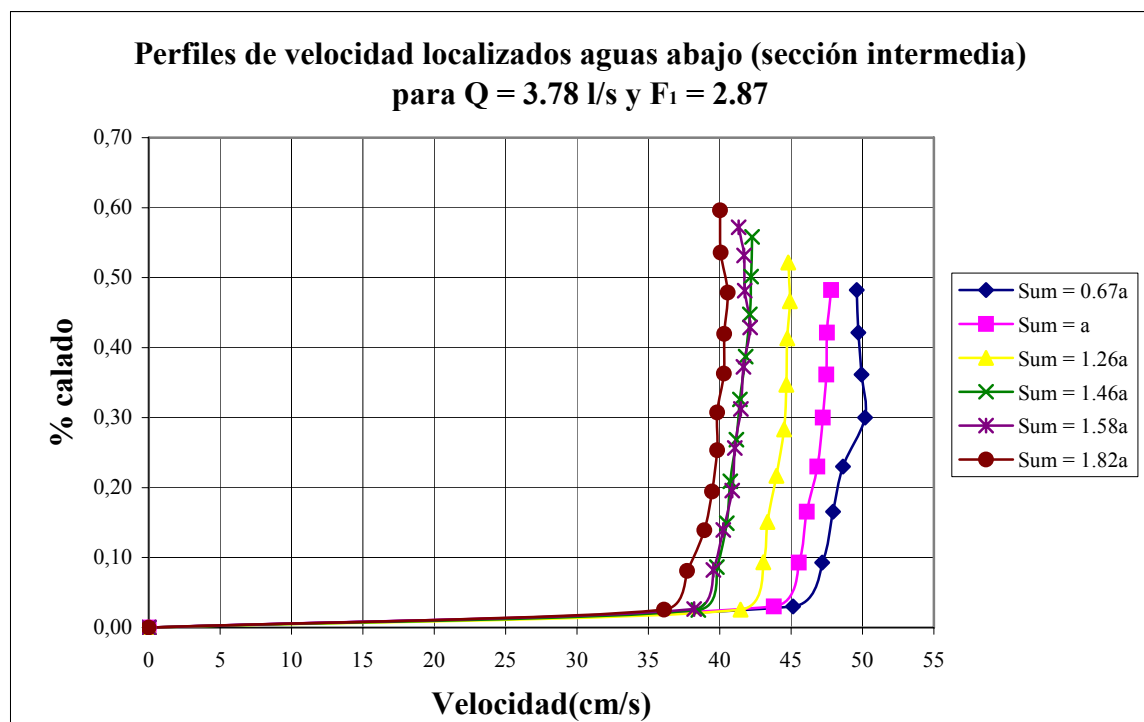


Figura 6

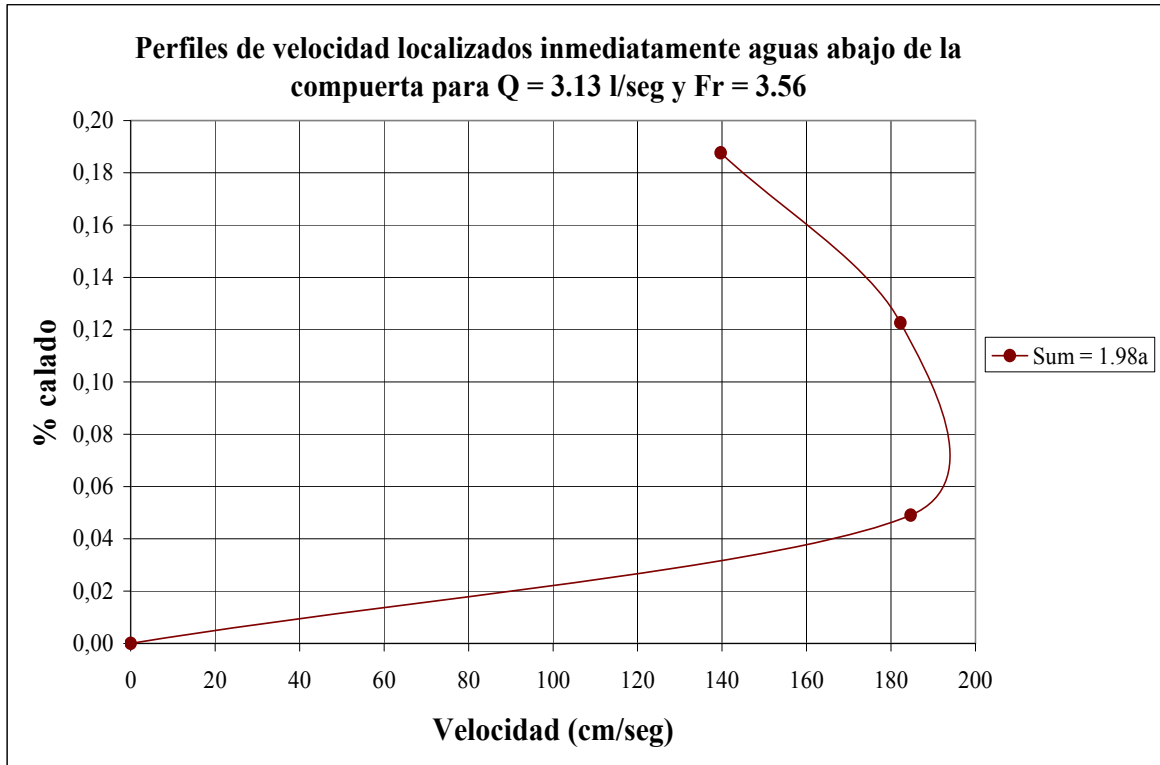


Figura 7

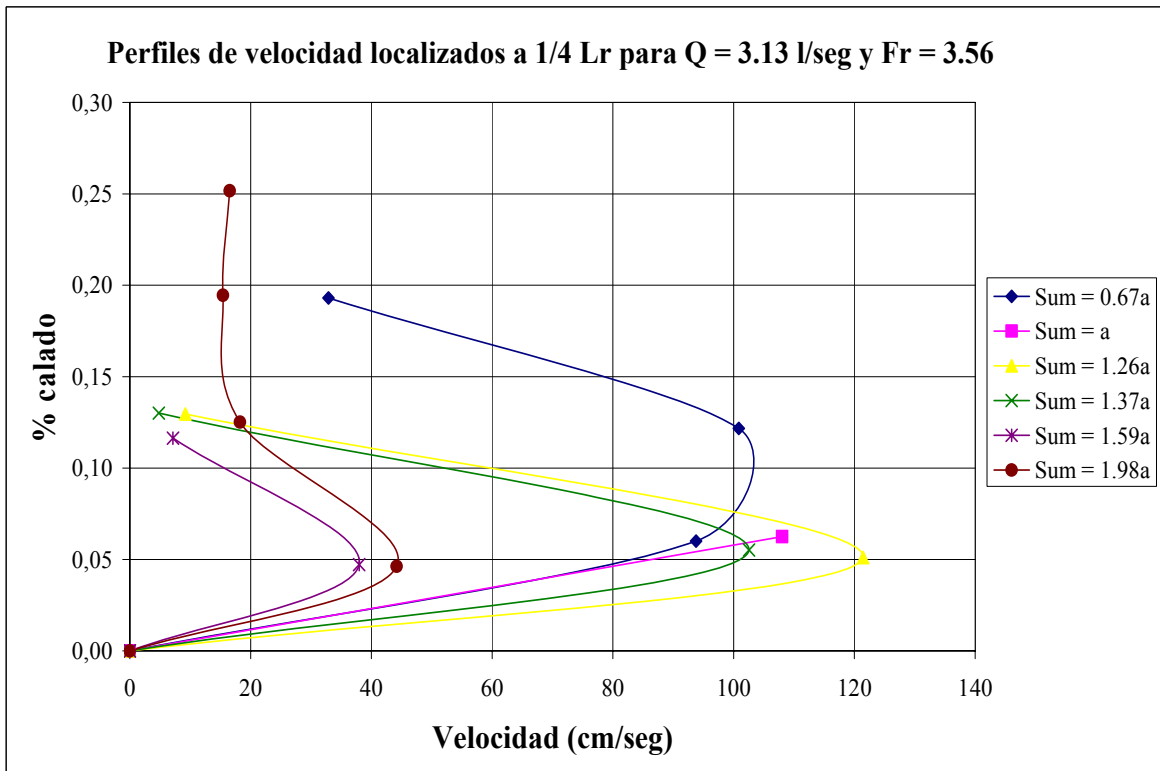


Figura 8

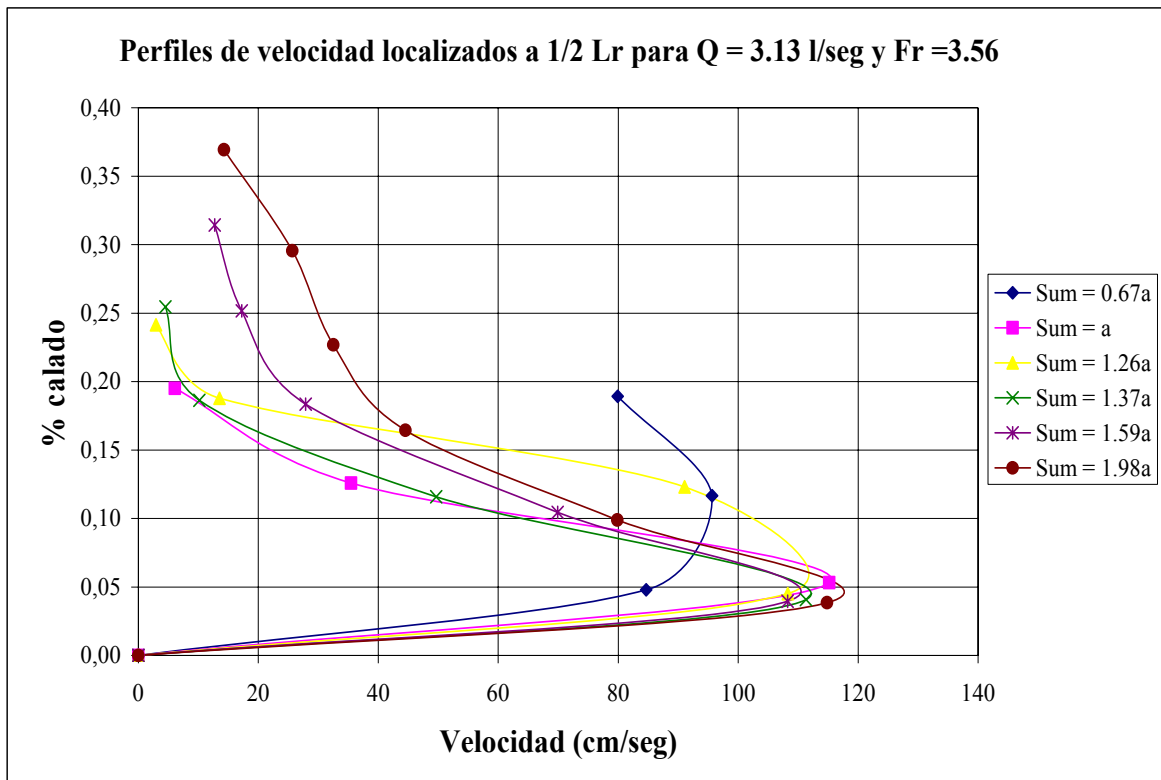


Figura 9

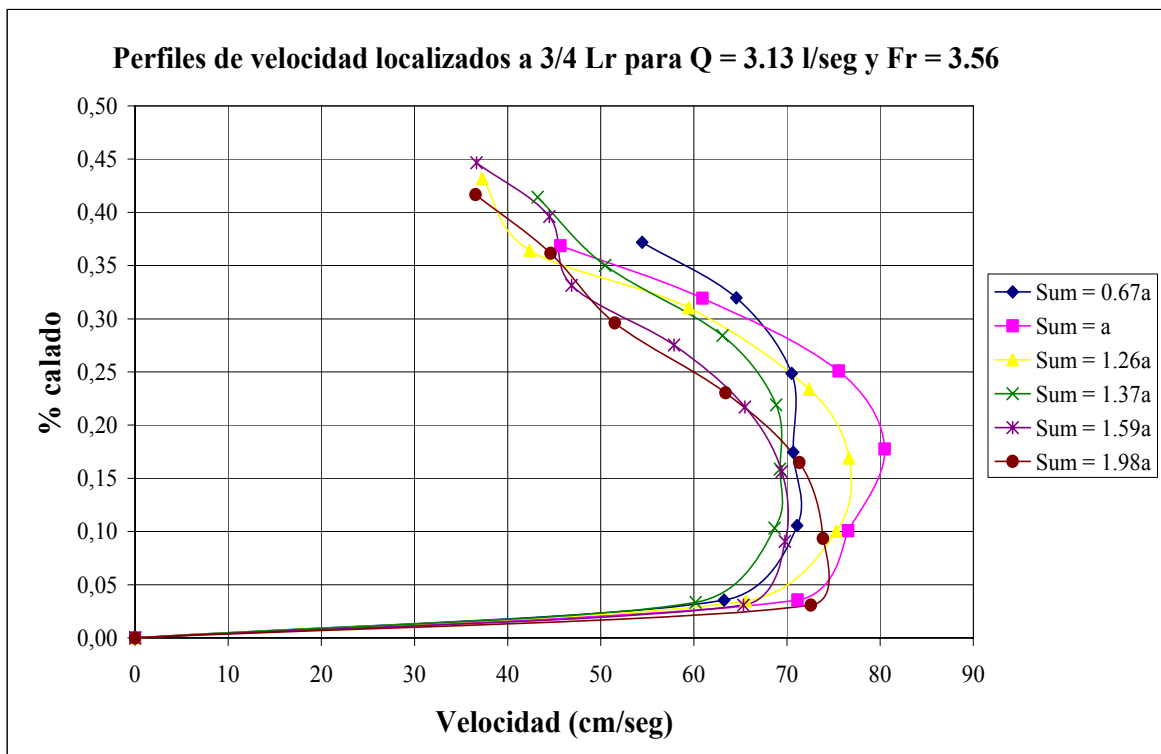


Figura 10

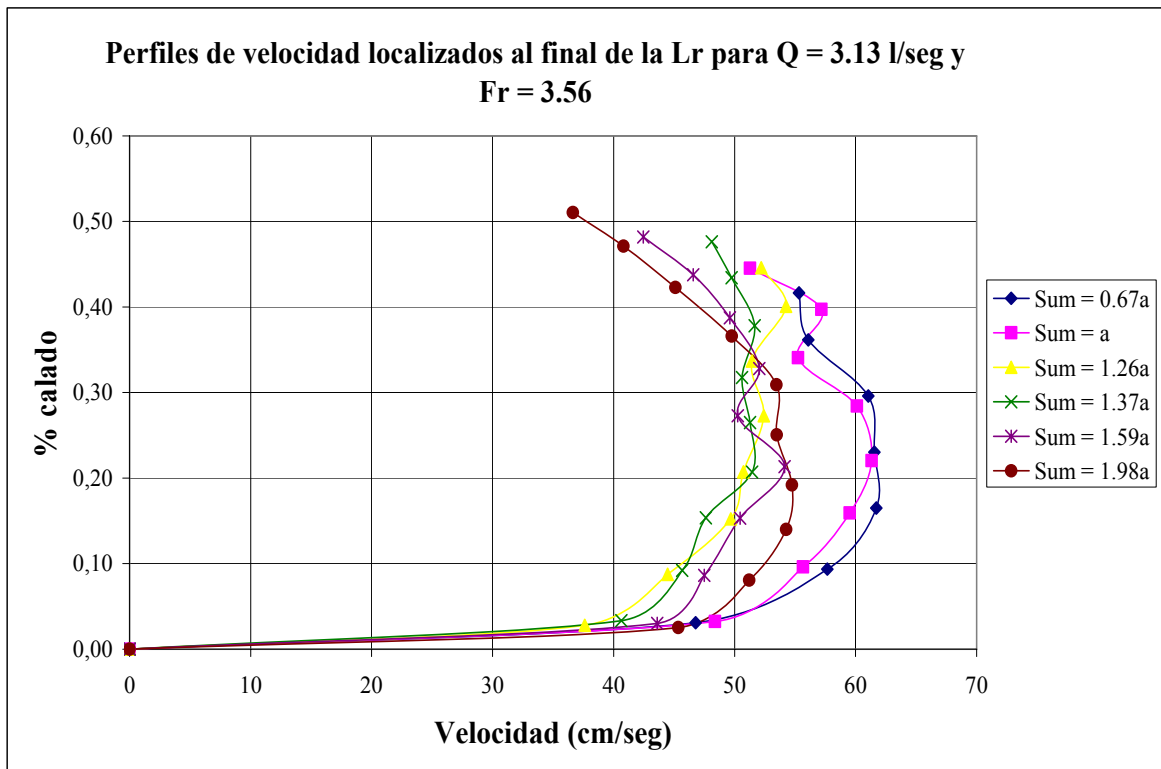


Figura 11

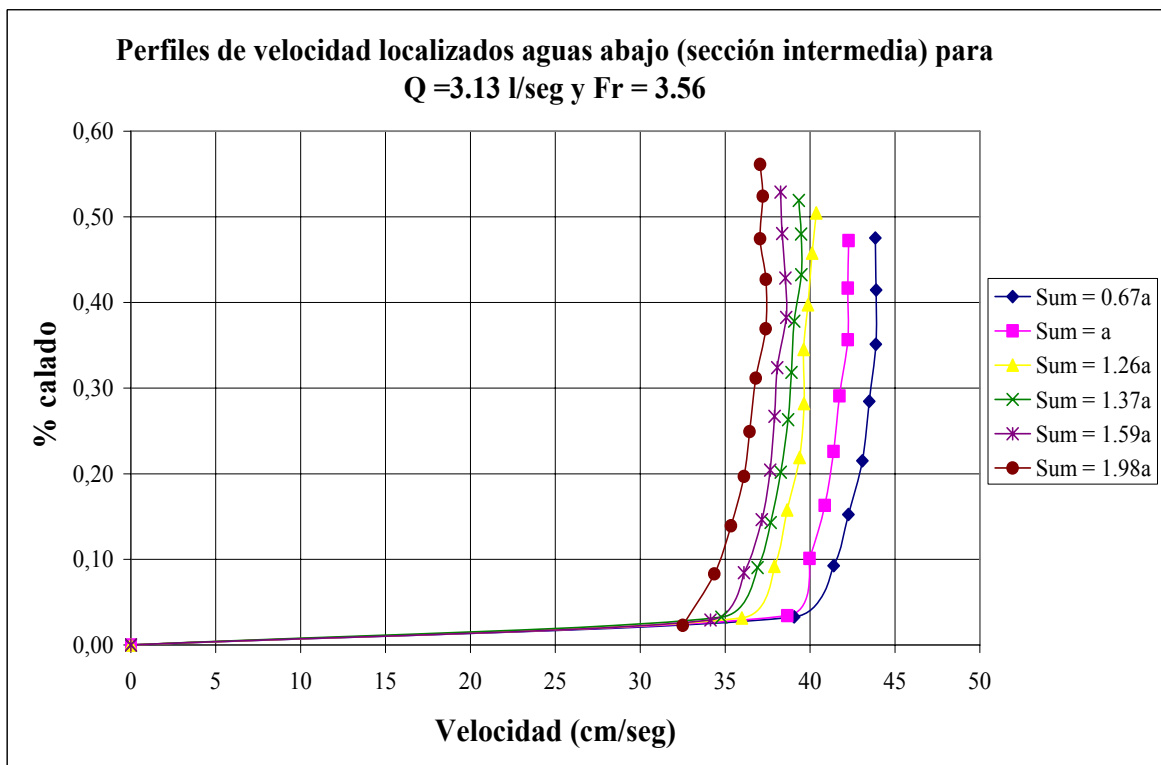


Figura 12

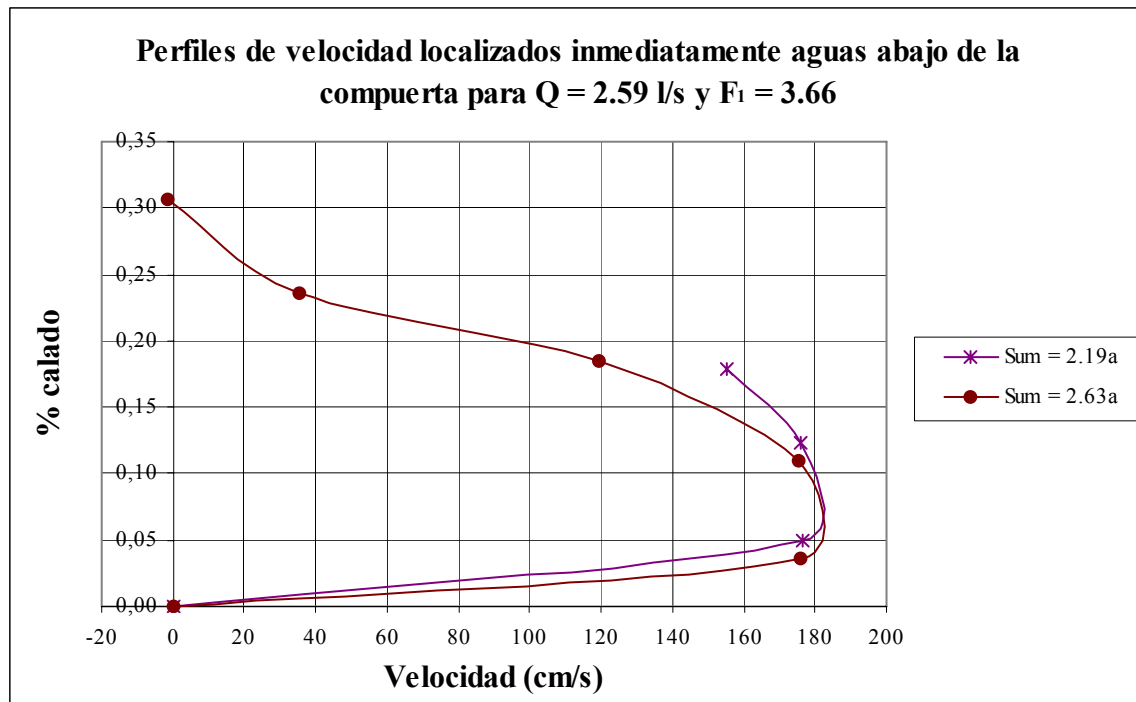


Figura 13

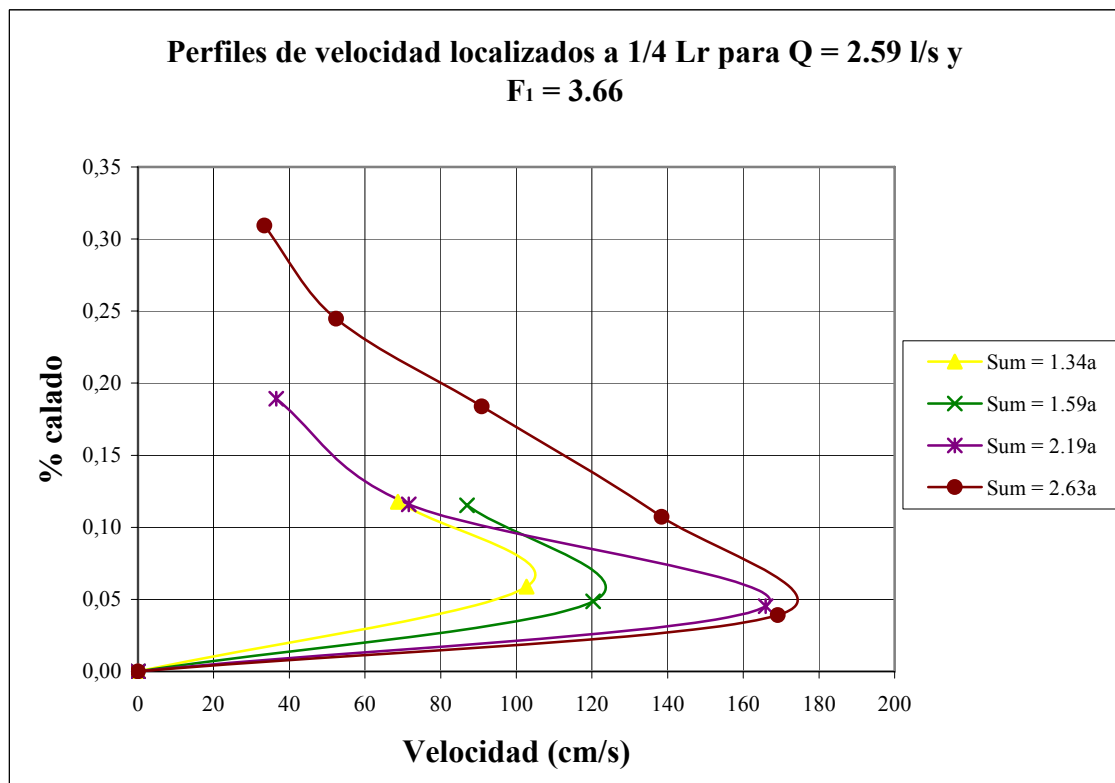


Figura 14

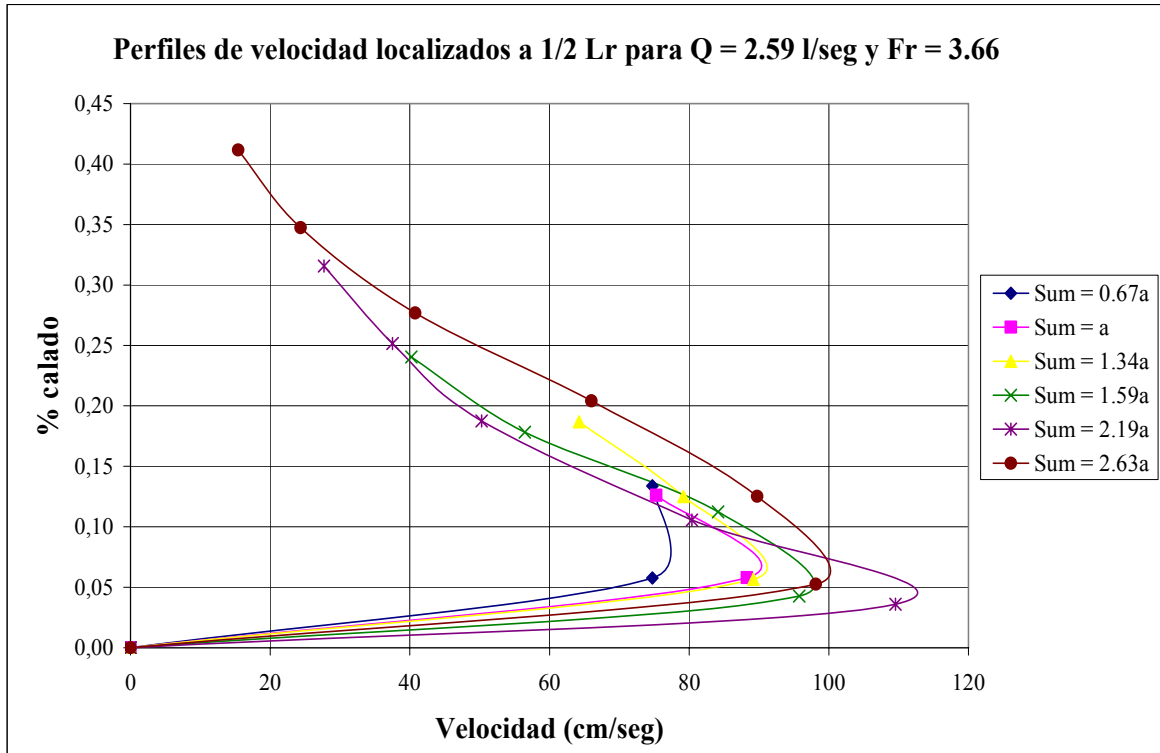


Figura 15

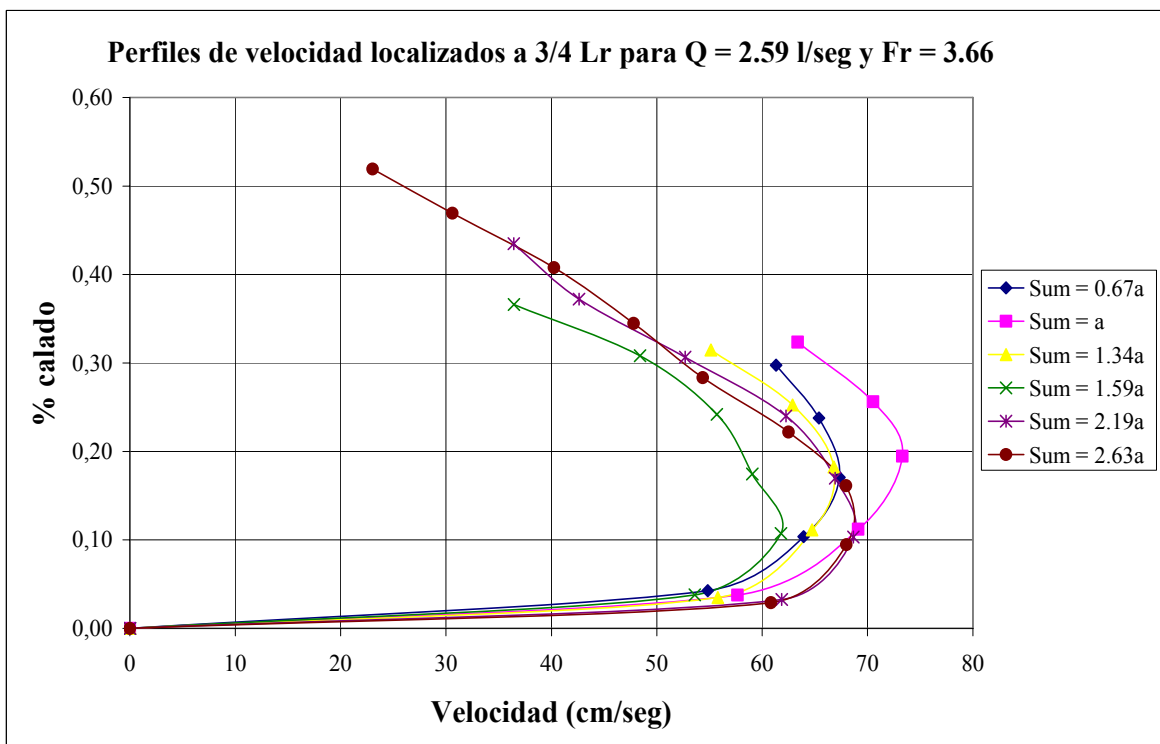


Figura 16

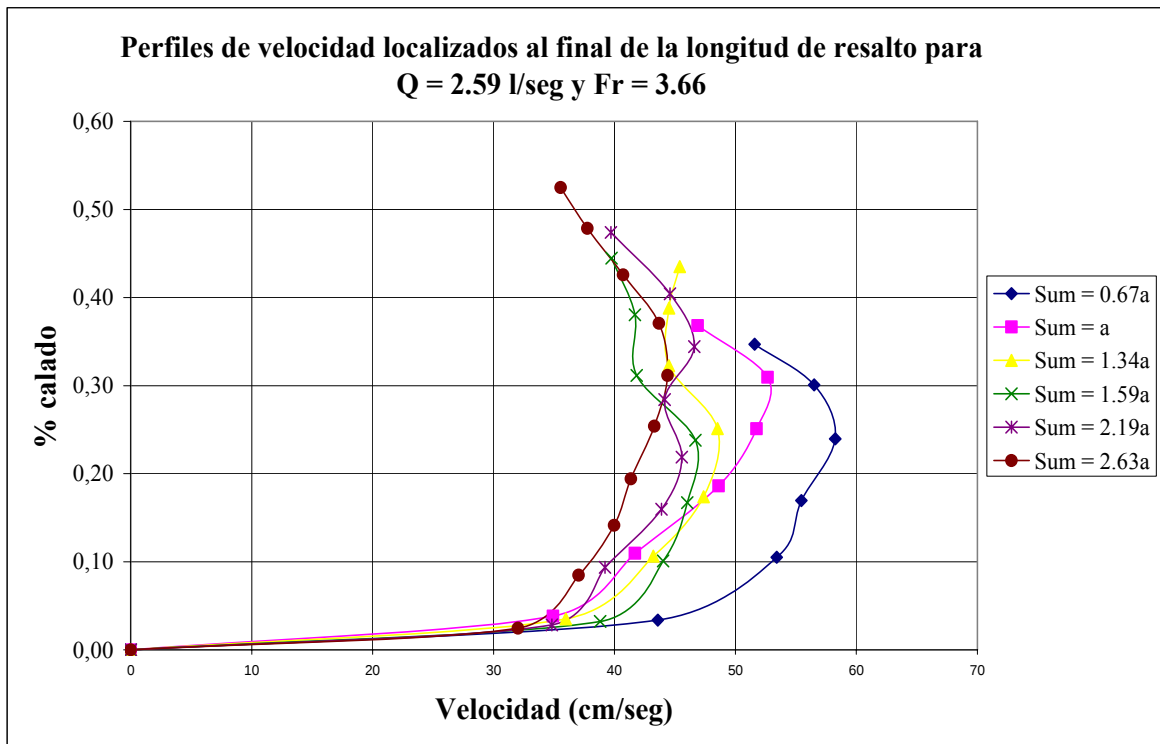


Figura 17

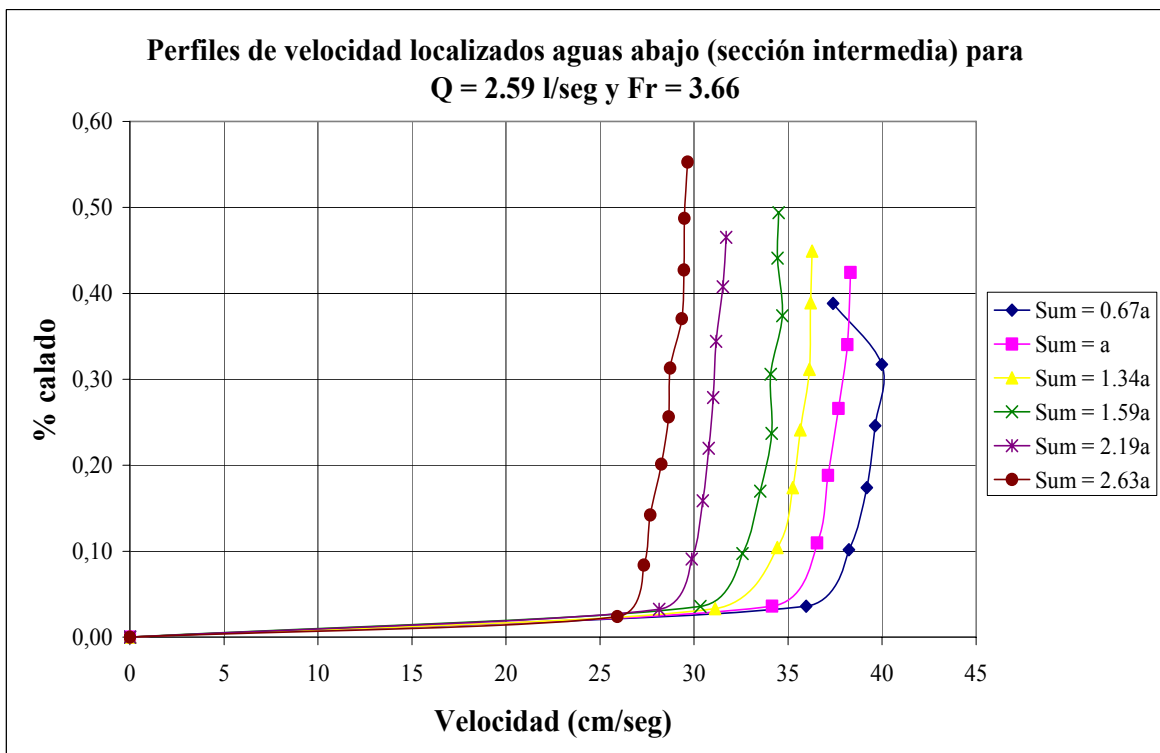


Figura 18

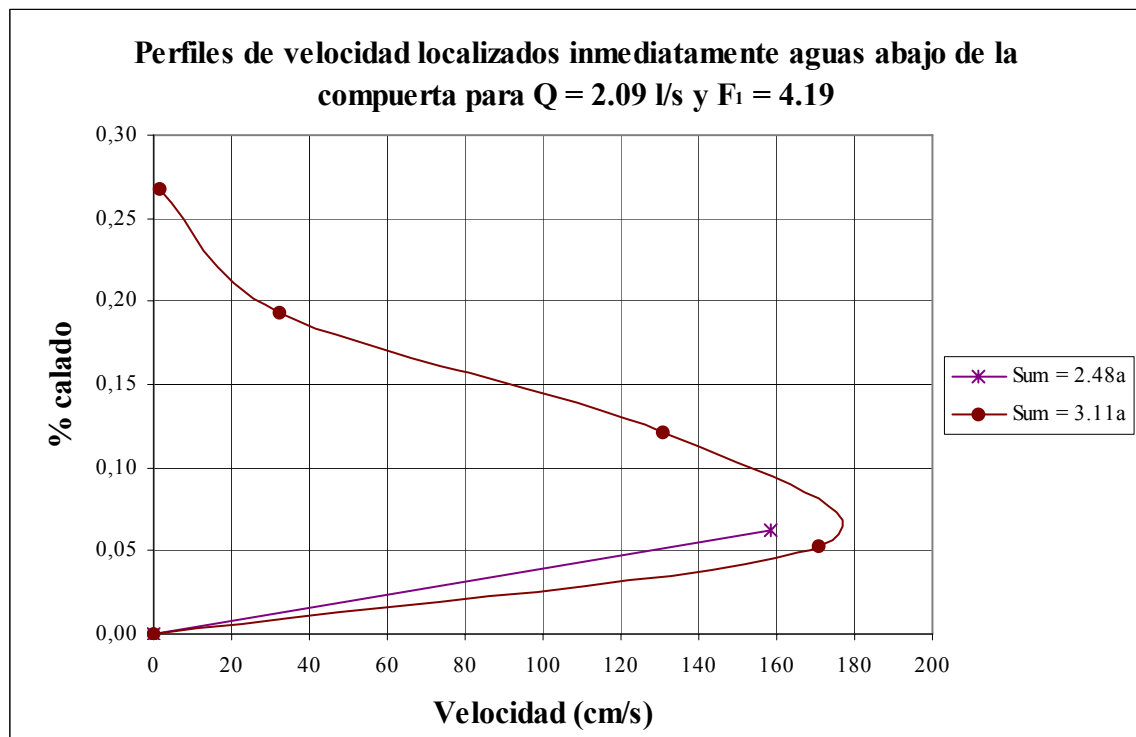


Figura 19

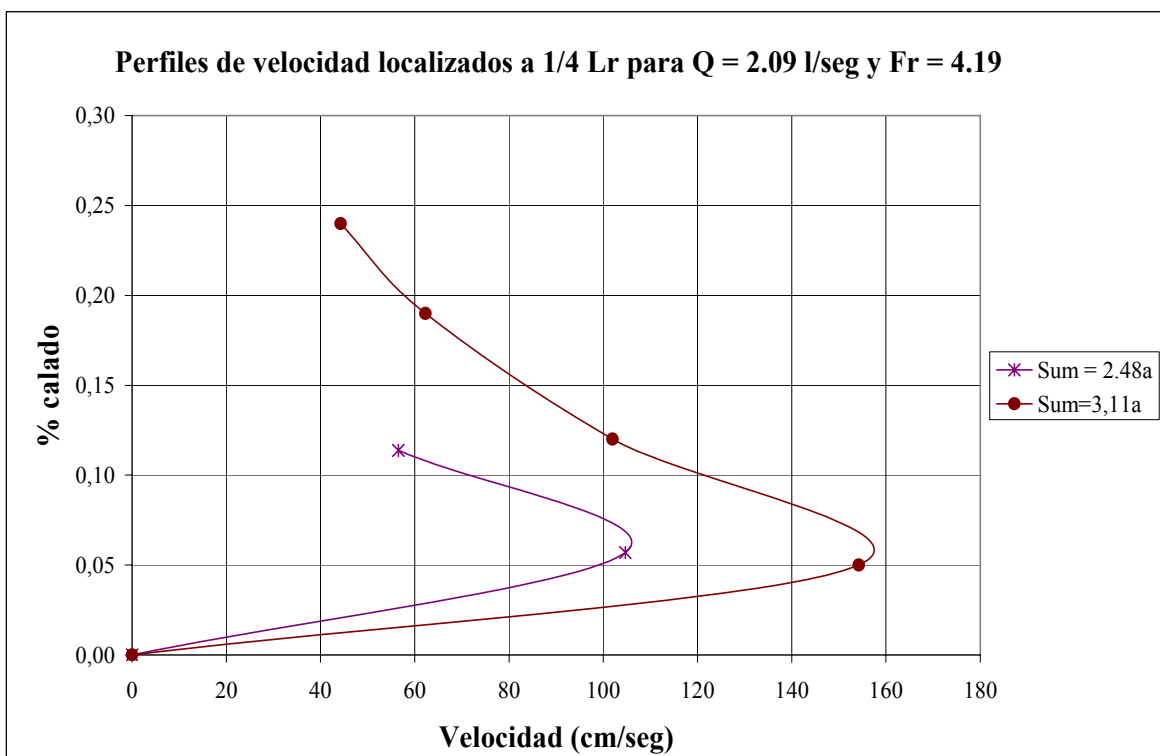


Figura 20

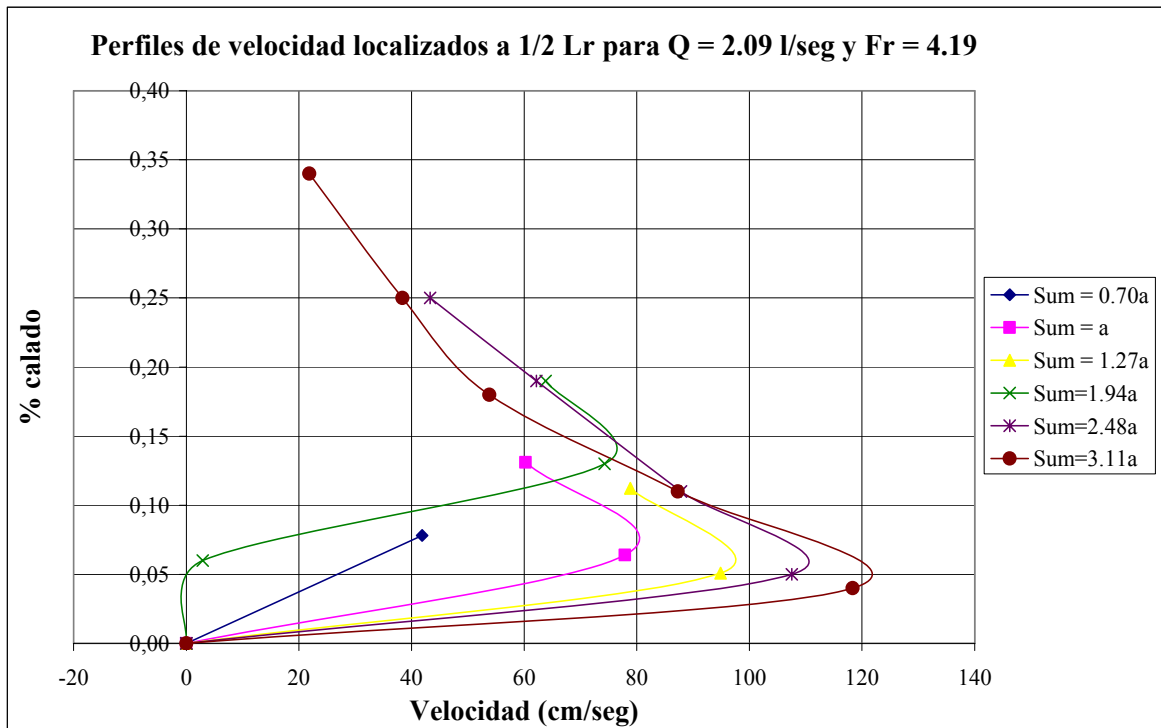


Figura 21

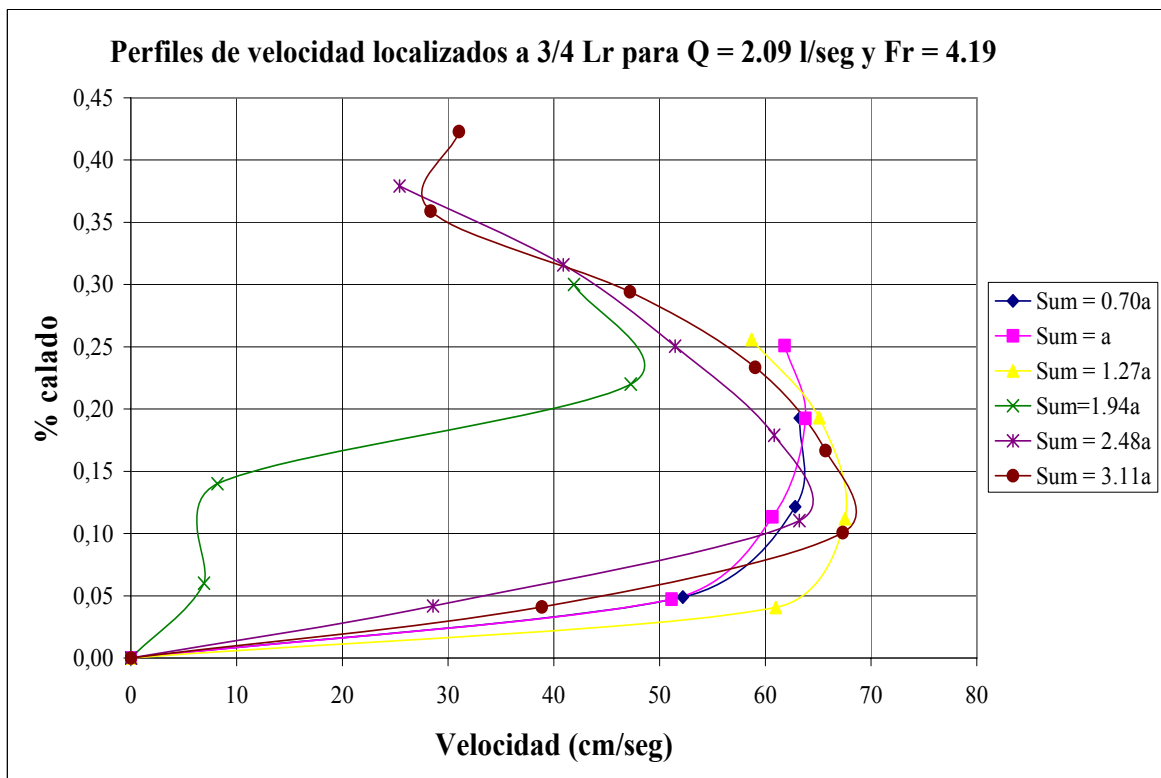


Figura 22

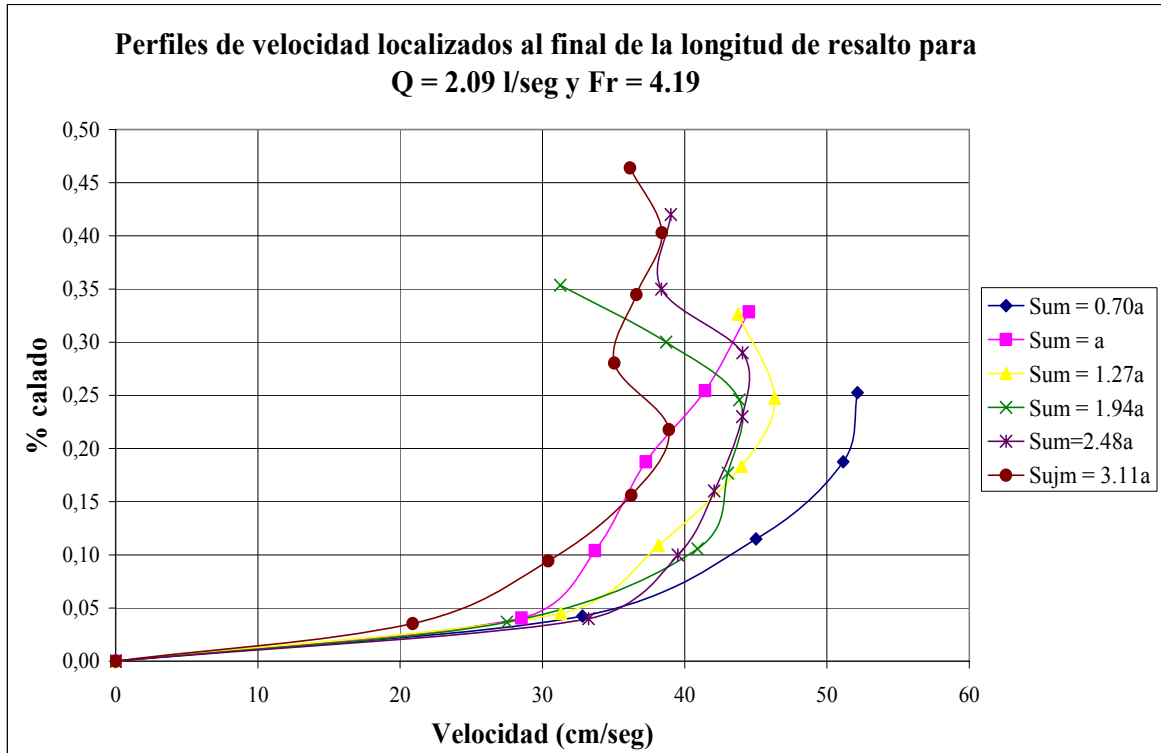


Figura 23

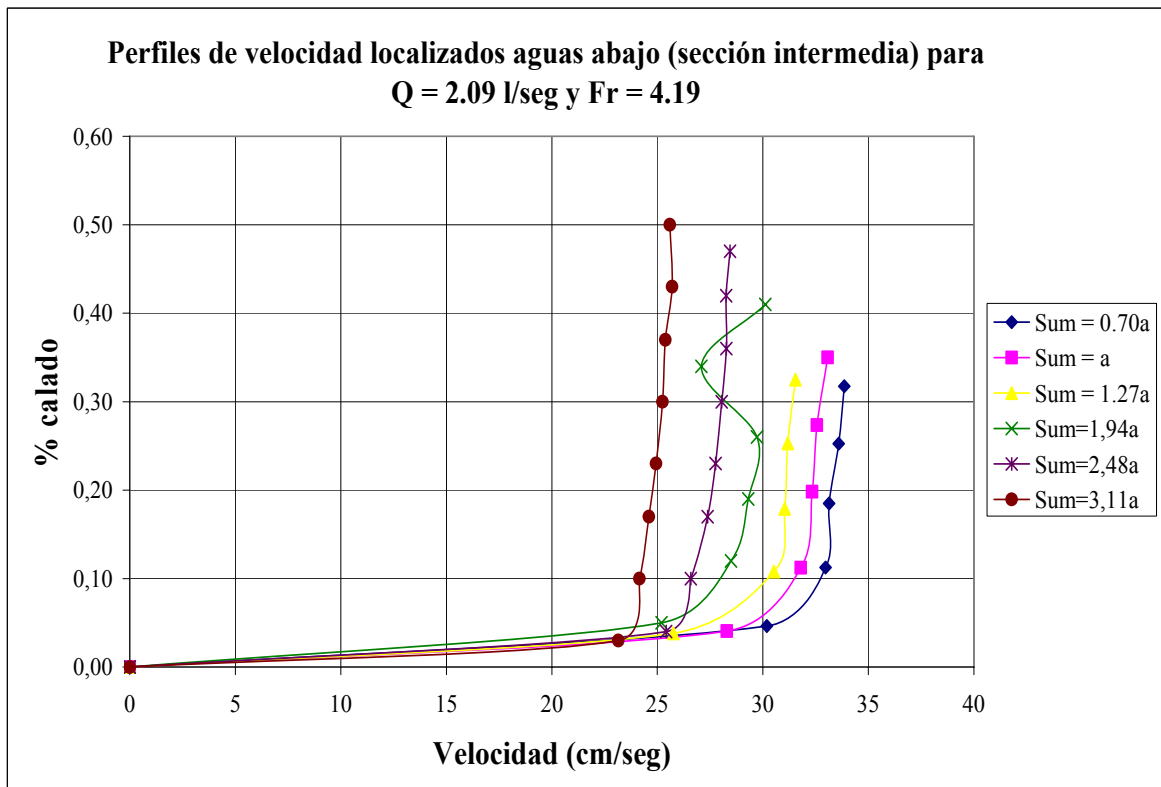


Figura 24

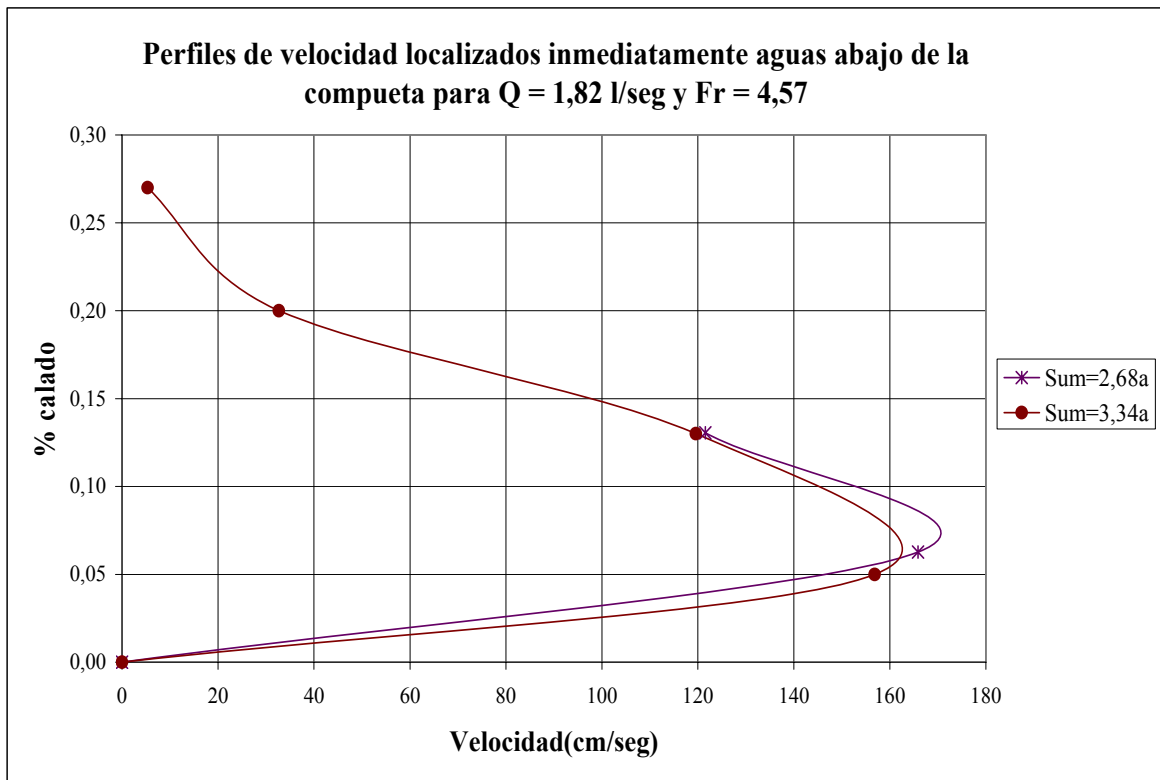


Figura 25

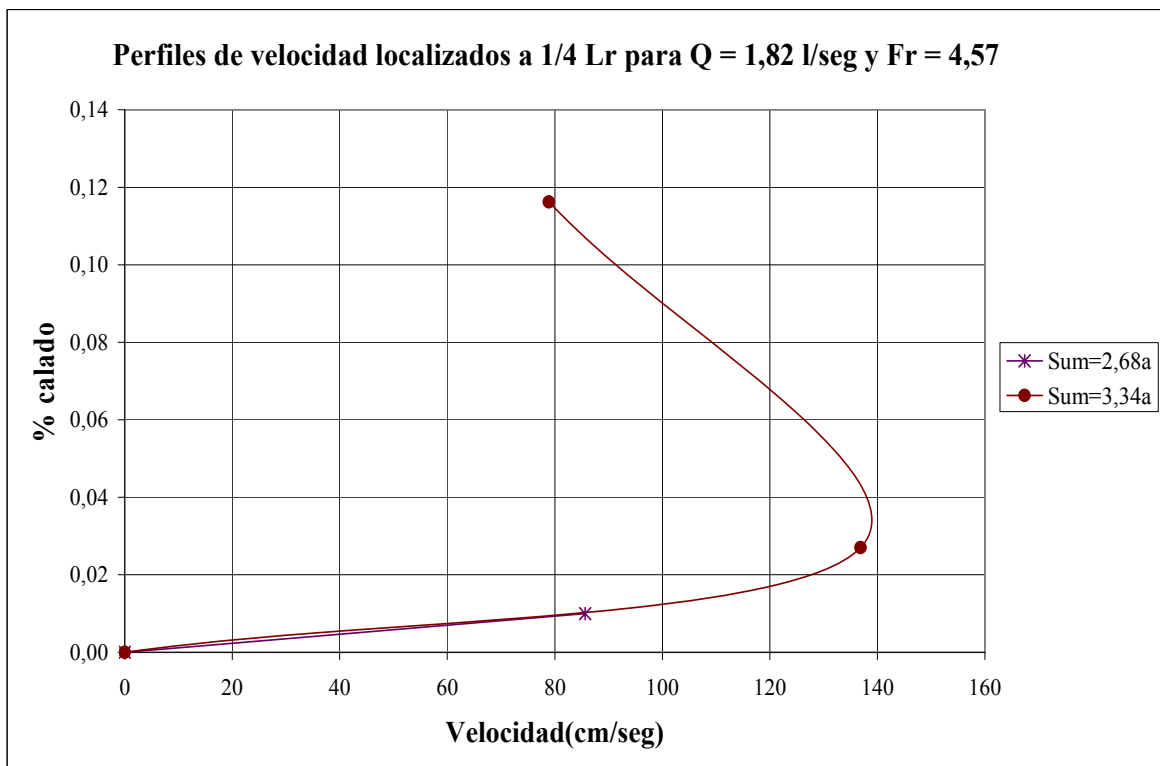


Figura 26

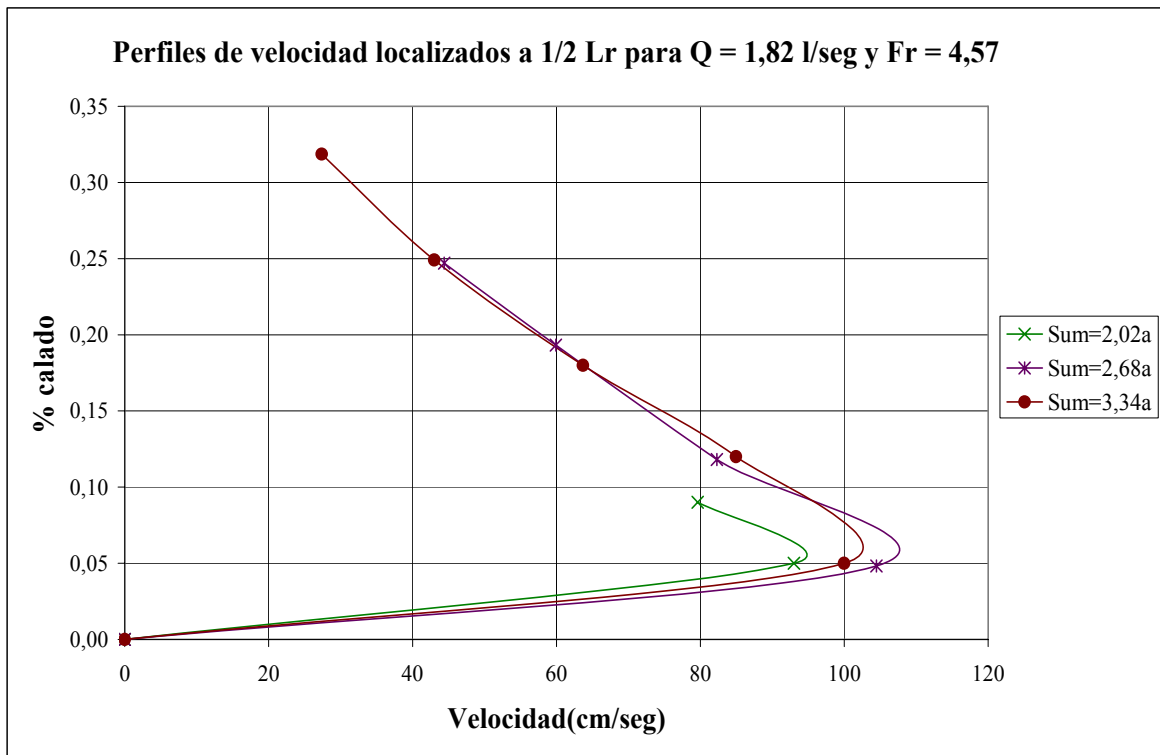


Figura 27

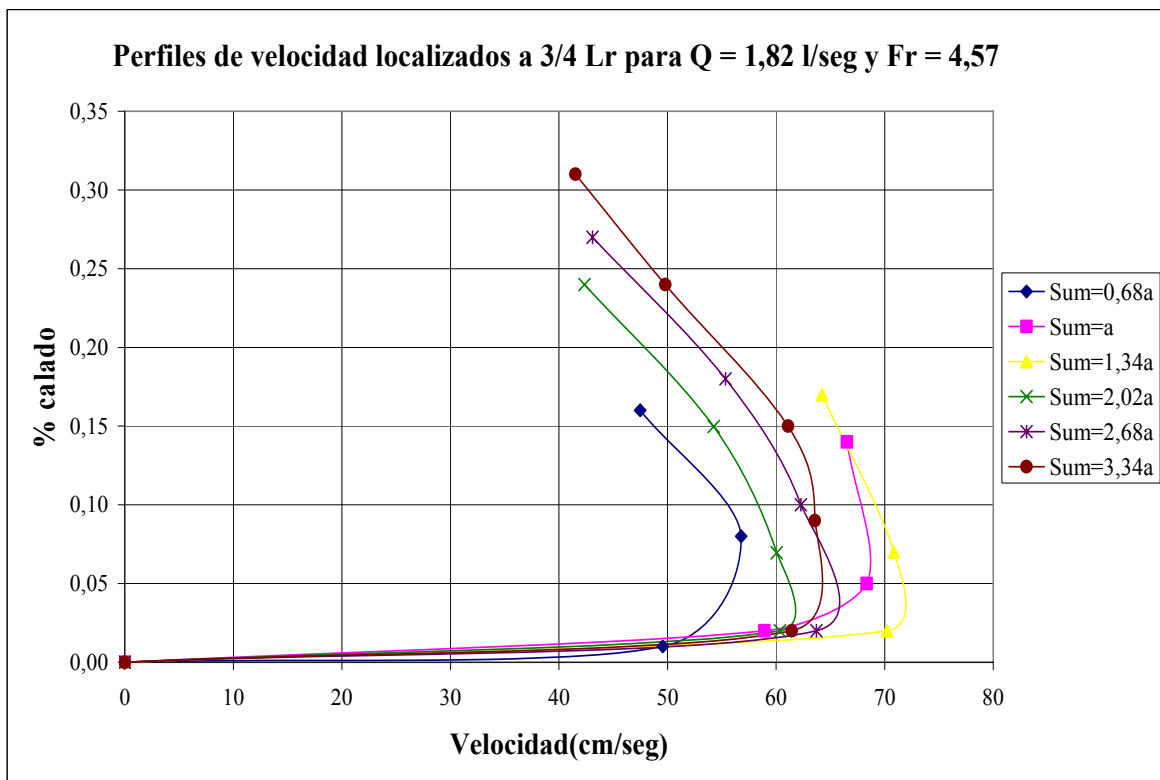


Figura 28

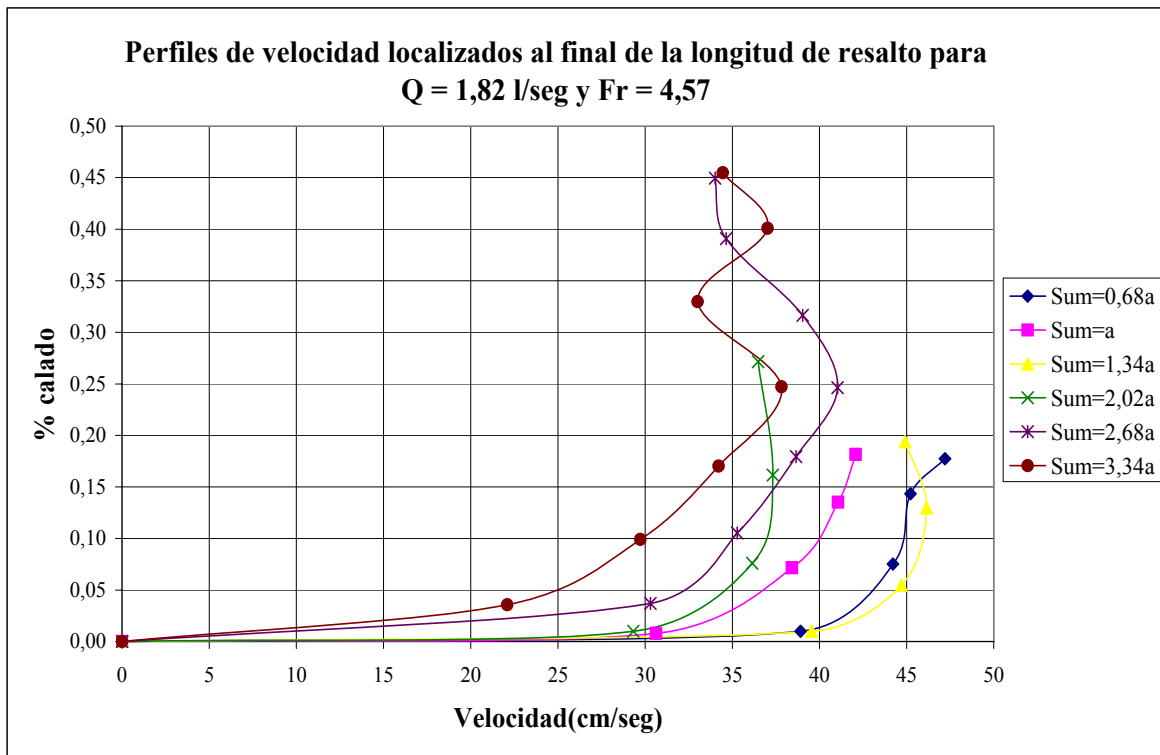


Figura 29

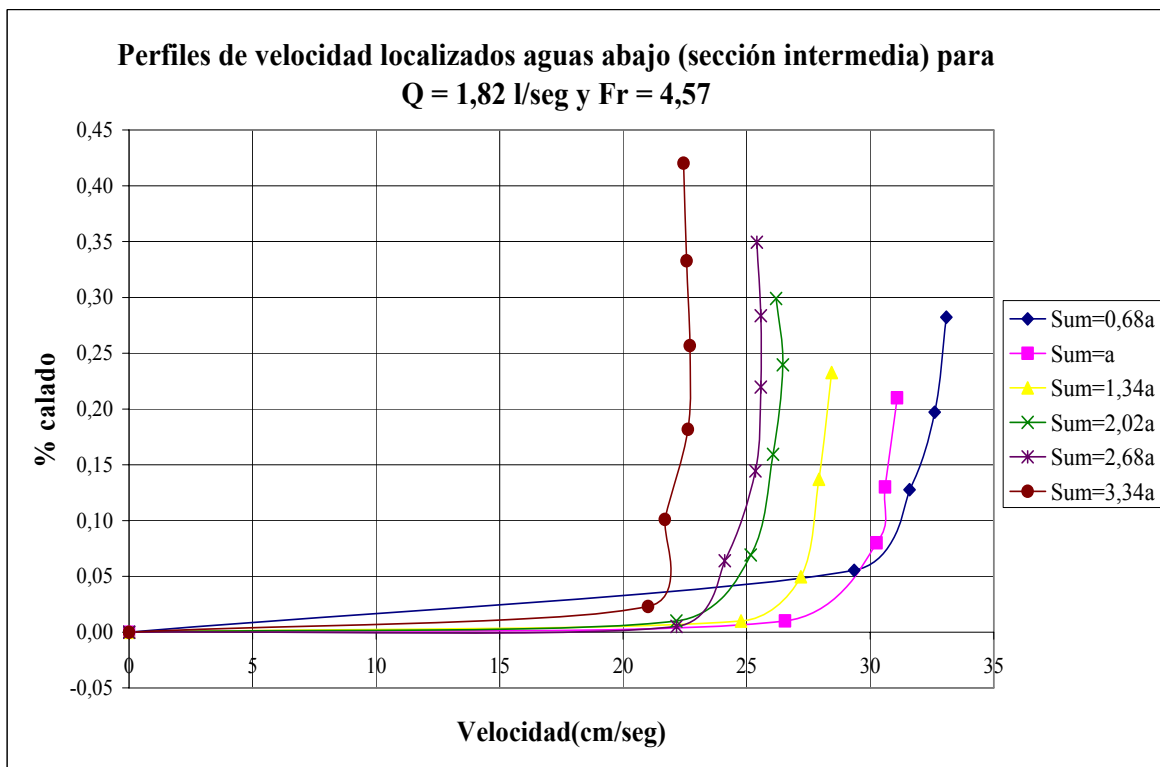


Figura 30

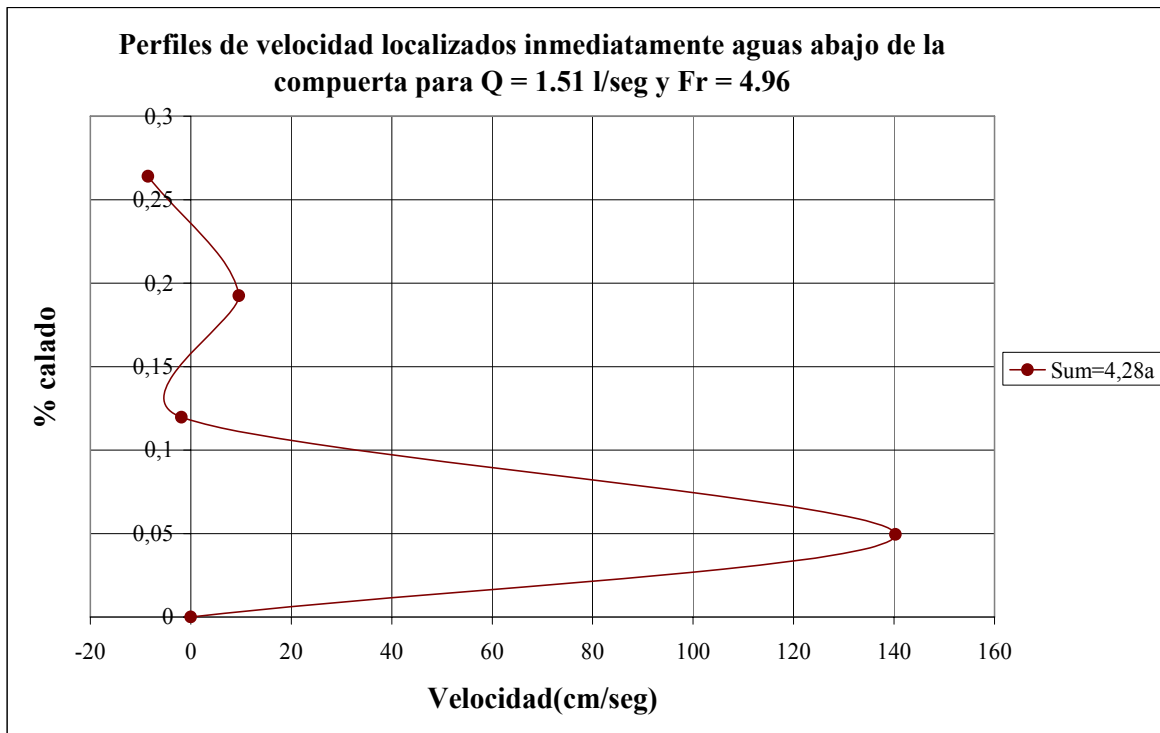


Figura 31

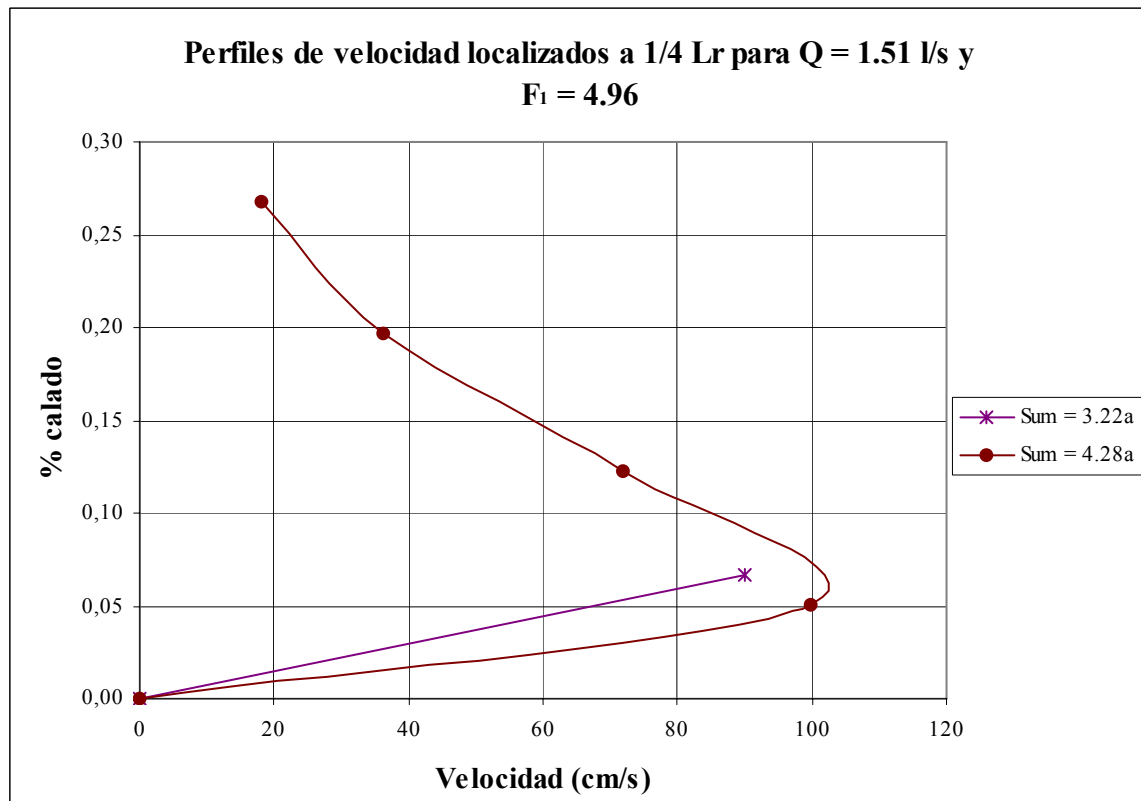


Figura 32

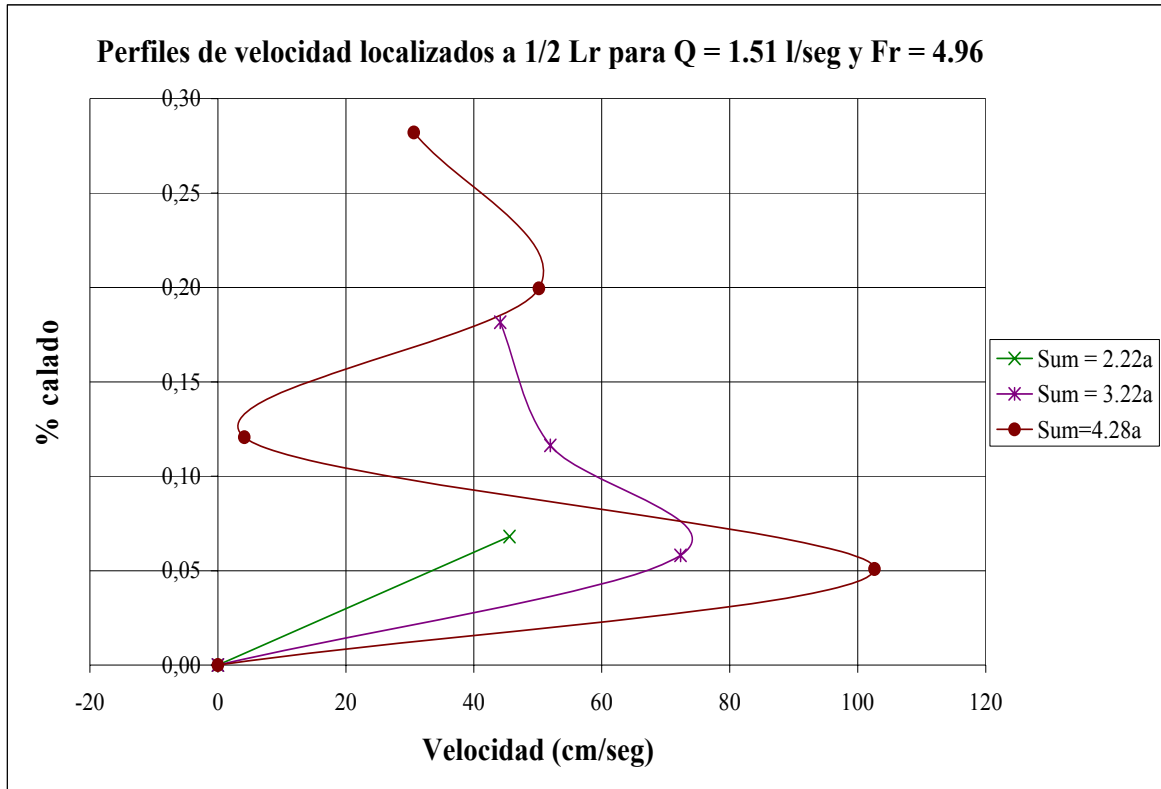


Figura 33

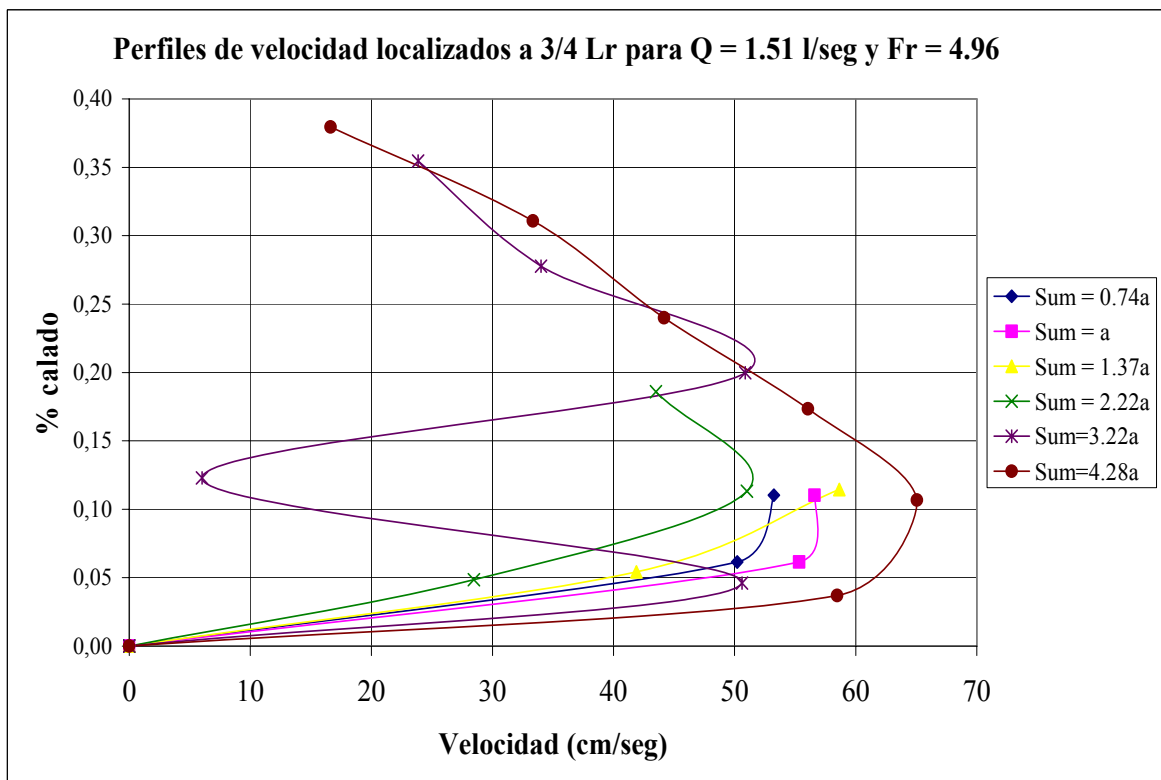
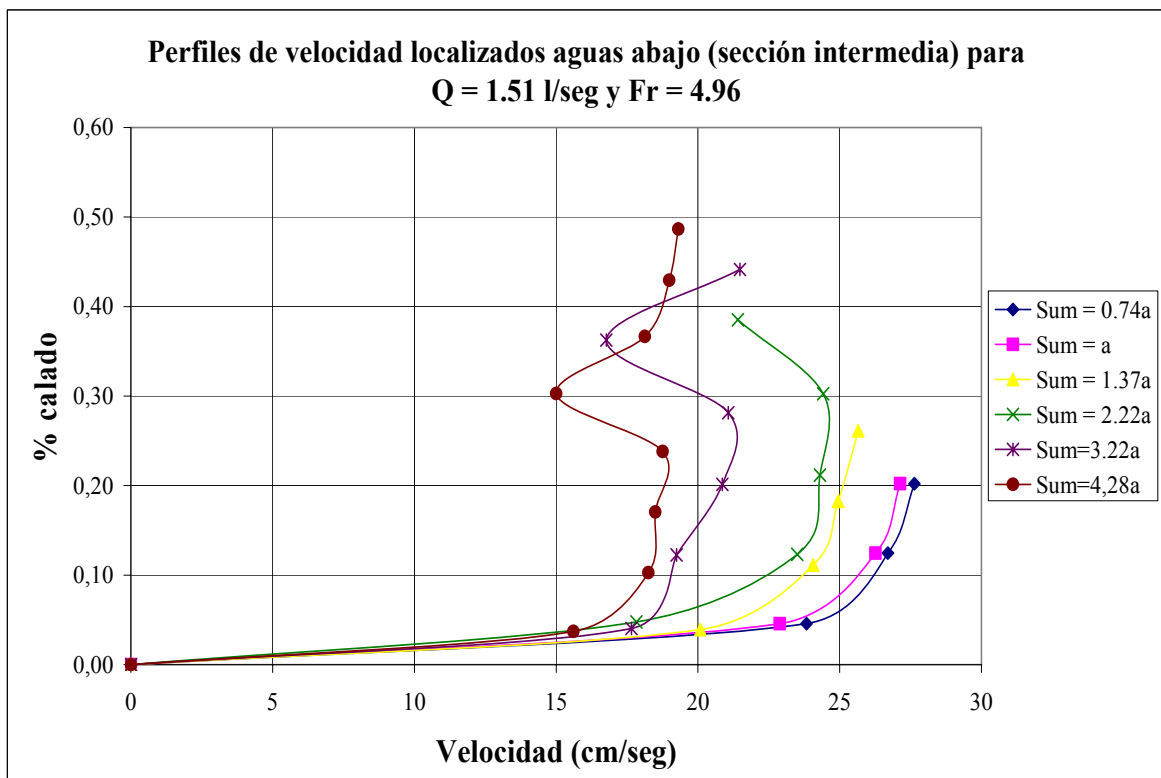
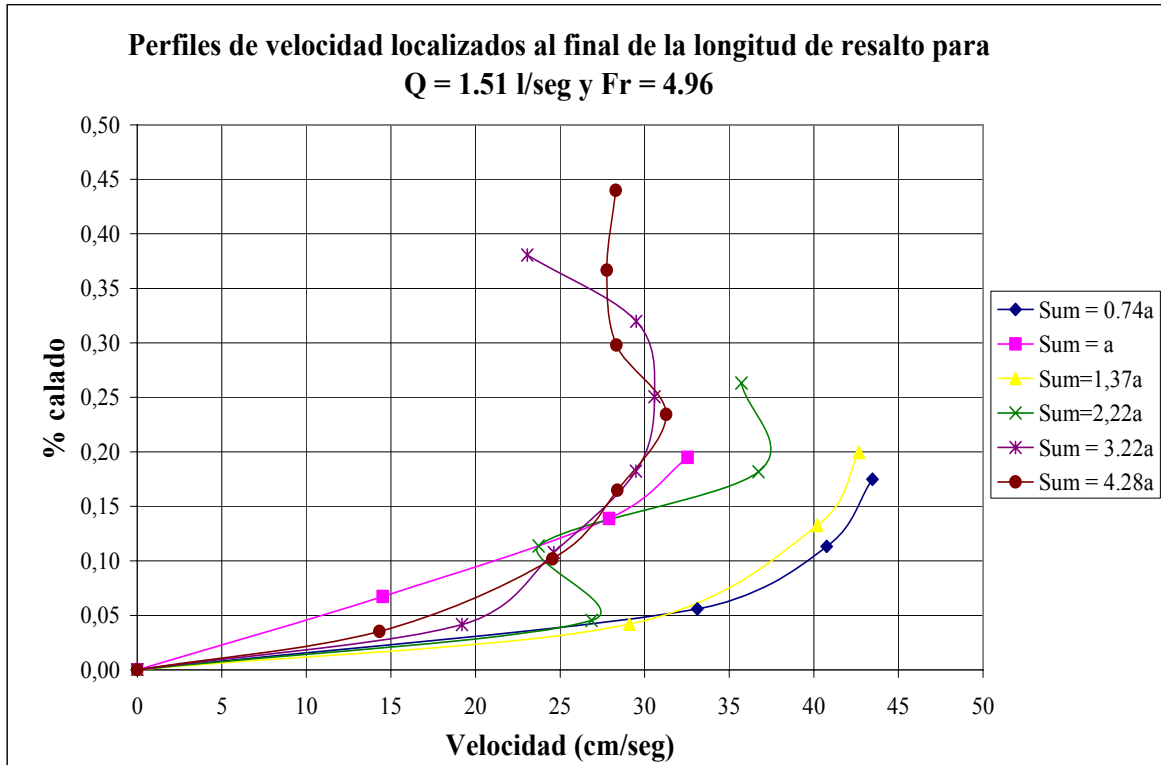


Figura 34



ANEXO 3.

**CARACTERÍSTICAS
ASOCIADAS A LOS
RESALTOS HIDRÁULICOS
ANALIZADOS**

En este último anexo se recogen las características asociadas a cada uno de los resaltos hidráulicos analizados.

En el cuadro 1 se describen características asociadas a cada caudal de trabajo, como son la apertura de compuerta para cada caudal, el calado contraído medido y_0 y su correspondiente calado conjugado y_2 según la ecuación de Bélanger,

$y_2 = (y_0 \sqrt{8F_1^2 + 1} - 1) / 2$, la velocidad teórica al inicio del resalto, calculada como

$V_1 = \frac{Q}{y_0 b}$, donde b es el ancho del canal ($b=8,1$ cm), y el valor de Froude

correspondiente, $F = \frac{V_1}{\sqrt{g y_0}}$

Características asociadas a cada caudal de trabajo					
Q (l/s)	Apertura de compuerta (cm)	Calado contraído, y_0 (cm)	Calado conjugado, y_2 (cm) (Ec. Bélanger)	V_1 teórica (m/s)	Froude
3,78	4,5	3	10,77	1,56	2,87
3,13	3,5	2,29	10,44	1,69	2,56
2,59	3,1	2,98	9,31	1,61	2,66
2,09	2,4	1,57	8,55	1,64	4,19
1,82	2,2	1,35	8,08	1,66	4,57
1,51	1,7	1,13	7,38	1,65	4,96

Cuadro 1

A continuación se describen las características de cada resalto hidráulico estudiado.

Para cada valor de Froude se ha medido el calado al inicio del resalto ($x=0$) y el calado al final del resalto ($x=L_j c$), la longitud de resalto, la velocidad teórica al final del resalto,

$V_2 = \frac{Q}{b y_2}$ (para resaltos libres) y $V_4 = \frac{Q}{b y_4}$ (para resaltos sumergidos), la velocidad

media al final del resalto, teniendo en cuenta que este valor se ha considerado como el intermedio entre el valor de velocidad media en la sección 4 al final del resalto donde $x=L_j$ y el valor de velocidad máxima obtenido en la sección 5 localizada a una distancia intermedia entre el final del resalto y la mitad del canal. Por último, se ha obtenido el valor de velocidad máxima al final del resalto, de los perfiles de velocidad correspondientes, representados en el Anexo 2

Características del resalto libre estabilizado a 14 cm de la compuerta (R.L.0)						
Froude	y_I (cm)	y_{II} (cm)	L_{jc}	V₂ teórica (cm/s)	V₂ media (cm/s)	V₂ máxima (cm/s)
2,87	3,03	10,56	46	44	53	69
2,56	2,34	10,37	47	37	49	63
2,66	2,09	9,14	41	35	45	58
4,19	1,69	8,00	38	32	41	52
4,57	1,46	7,15	36	31	39	48
4,96	1,26	6,98	33	27	35	44

Cuadro 2. R.L.0

Características del resalto libre estabilizado al pie de la compuerta (R.L.1)						
Froude	y₁ (cm)	y₂ (cm)	L_{jc}	V₂ teórica (cm/s)	V₂ media (cm/s)	V₂ máxima (cm/s)
2,87	4,5	11,23	53	42	51	62
2,56	3,5	10,8	48	36	49	62
2,66	3,1	9,4	43	34	41	53
4,19	2,4	8,37	40	31	38	45
4,57	2,2	7,55	37	30	35	43
4,96	1,7	7,13	34	26	30	32

Cuadro 3. R.L.1

Características del resalto sumergido 2 (R.S.2)						
Froude	y₃ (cm)	y₄ (cm)	L_{sic}	V₄ teórica (cm/s)	V₄ media (cm/s)	V₄ máxima (cm/s)
2,87	5,67	11,81	55	40	48	56
2,56	4,4	11,1	47	35	44	55
2,66	4,15	9,95	44	32	40	48
4,19	3,05	8,89	40	29	36	46
4,57	2,95	8,25	39	27	35	46
4,96	2,33	7,62	36	24	33	43

Cuadro 4. R.S.2

Características del resalto sumergido ₃ (R.S.3)						
Froude	y₃ (cm)	y₄ (cm)	L_{sjc}	V₄ teórica (cm/s)	V₄ media (cm/s)	V₄ máxima (cm/s)
2,87	6,58	12,4	59	38	45	55
2,56	4,8	11,4	50	34	43	52
2,66	4,94	10,59	50	30	38	46
4,19	4,67	9,56	45	27	34	44
4,57	4,45	9,1	48	25	31	38
4,96	3,78	8,36	40	22	28	37

Cuadro 5. R.S.3

Características del resalto sumergido ₄ (R.S.4)						
Froude	y₃ (cm)	y₄ (cm)	L_{sjc}	V₄ teórica (cm/s)	V₄ media (cm/s)	V₄ máxima (cm/s)
2,87	7,11	13,13	62	36	44	55
2,56	5,55	11,95	53	32	42	54
2,66	6,79	11,65	56	27	36	47
4,19	5,8	10,38	52	25	34	44
4,57	5,9	9,7	51	23	31	41
4,96	5,47	9,38	47	20	25	31

Cuadro 6. R.S.4

Características del resalto sumergido ₅ (R.S.5)						
Froude	y₃ (cm)	y₄ (cm)	L_{sjc}	V₄ teórica (cm/s)	V₄ media (cm/s)	V₄ máxima (cm/s)
2,87	8,2	13,74	68	34	43	54
2,56	6,93	12,65	59	31	42	55
2,66	8,14	12,52	67	26	34	44
4,19	7,46	11,34	58	23	31	39
4,57	7,35	10,4	56	22	28	38
4,96	7,27	10,5	52	18	23	32

Cuadro 7. R.S.5

BIBLIOGRAFÍA

- **Castillo-E, L. G. (2002).** “Apuntes de Obras y Aprovechamientos Hidráulicos”. Universidad Politécnica de Cartagena.
- **Govinda, Rao, N. S. y Rajaratnam, N., (1963).** “The Submerged Hydraulic Jump”. Proc. ASCE, Hy., January.
- **Hager, W. H. (1992).** “Energy dissipators and hydraulic jump”. Water Science and Technology Library. Ed. Kluwer Academic Publishers.
- **Harleman, D. R. F. (1958).** “Discussion of Turbulence Characteristics of the Hydraulic Jump”. Proc. ASCE, Hy., 6, Nov.
- **Iwao Ohtsu, Youichi Yasuda y Seizo Awazu (1990).** “Free and Submerged Hydraulic Jumps in Rectangular Channels”. Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University, No. 35 (1990) pp. 1-50.
- **Leutheusser, H. J. y Kartha, V. C., (1972).** “Effects of Inflow Condition on Hydraulic Jump”. Proc. ASCE, Hy., Aug.
- **Márquez Mulero, A. (2005).** “Adaptación de un canal de laboratorio, medidas de velocidades instantáneas y filtrado de datos en algunos tipos de resaltos hidráulicos”. Proyecto Fin de Carrera. Ingeniero Técnico de Obras Públicas, especialidad en Hidrología. Universidad Politécnica de Cartagena.
- **Rajaratnam, N. (1965).** “The Hydraulic Jump as a Wall Jet”. Proc. ASCE, Hy., Sept.
- **Ranga Raju, K. G. (1998).** “Flow Through Open Channels” Ed. Tata McGraw-Hill.
- **Resch y Leutheusser (1972).** “Le ressaut hydraulique: mesures de turbulence dans la region diphasique”. La Houille Blanche.
- **Silvester, R. (1964).** “Hydraulic Jump in All Shapes on Horizontal Channels”. ASCE. Journal of the Hydraulic Division, vol. 90, no. Hy. 1, January, pp. 23-55.
- **Sontek ADV Field (2001).** “Acoustic Doppler Velocimeter”. Technical Documentation.

- **Wilson, E. H. y Turner, A. A., (1972).** “Boundary Layer Effects on Hydraulic Jump Location”. Proc. ASCE, Hy., July.