



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE
INGENIERÍA TÉCNICA CIVIL**

**INGENIERÍA TÉCNICA DE OBRAS PÚBLICAS
ESPECIALIDAD HIDROLOGÍA**

Proyecto Fin de Carrera

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE
DISTRIBUCIONES DE VELOCIDAD E ÍNDICES
TURBULENTOS EN EL CUENCO DE AMORTIGUACIÓN
DE UN ALIVIADERO DE VERTIDO LIBRE POR
CORONACIÓN**

CARLOS VERA MORALES

Dirigido por:

D. LUIS G. CASTILLO ELSITDIÉ

Dr. Ingeniero de Caminos, C y P.

Cartagena, septiembre 2011

A todos los que lo han hecho posible.

CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	1
1.1.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	1
1.1.1.	Descripción de los elementos del canal.....	2
1.1.2.	Descripción de los elementos para la adquisición de datos con ADV	2
1.2.	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS (VECTRINO PLUS).....	3
1.3.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE POSTPROCESADO (EXPLOREV PRO).....	3
1.4.	CAMPAÑA DE MUESTREO.....	4
1.5.	FILTRADO DE DATOS.....	5
1.5.1.	Resultados del filtrado.....	5
1.6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	10
2.	OBJETIVOS.....	14
3.	BASES TEÓRICAS DEL FLUJO EN ALIVIADEROS DE VERTIDO LIBRE POR CORONACIÓN	15
3.1.	INTRODUCCIÓN	15
3.2.	ANÁLISIS DE LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN EL VERTIDO LIBRE.....	18
3.2.1.	Características del flujo en el cuenco.....	18
3.2.2.	Condiciones del flujo en el cuenco en función del calado aguas abajo.....	22
3.3.	FLUJO DEL CHORRO EN EL INTERIOR DEL CUENCO	24
3.4.	BASES TEÓRICAS DEL RESALTO HIDRÁULICO.....	25
3.4.1.	Introducción	25
3.4.2.	Resalto hidráulico sumergido	26
3.4.2.1.	Descripción de condiciones de flujo medio	26
4.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	29
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODELO FÍSICO	29
4.2.	RANGO DE CAUDALES DE TRABAJO.....	33
4.2.1.	AFORO MEDIANTE VERTEDERO TRIANGULAR.....	33
4.2.2.	Aforo mediante vertedero triangular del laboratorio	36
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LA SONDA ADV	38
4.3.1.	Introducción	38
4.3.2.	Método habitual biestático y transformación Doppler.....	38
4.3.3.	Geometría de los brazos y medida de velocidad 3D.....	41
4.3.4.	Definición del volumen de muestreo	42
4.3.5.	Procesamiento de pulso-coherente	43
4.3.6.	Datos de ADV	44
4.3.7.	Velocidad	45
4.3.7.1.	Rango de velocidad.....	45
4.3.7.2.	Muestreo	46

4.3.7.3.	Incertidumbre a corto plazo (ruido)	47
4.3.7.4.	Exactitud	48
4.3.8.	Intensidad de señal	48
4.3.9.	Coeficiente de correlación	49
4.3.10.	Novedades de la sonda ADV	50
4.4.	PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL (VECTRINO PLUS)	51
4.4.1.	Opciones del programa	51
4.4.2.	Pantallas de salida de datos	55
4.5.	PROGRAMA DE POSTPROCESADO (EXPLOREV PRO 1.58).....	56
4.5.1.	Opciones del programa	57
4.5.2.	Pantallas de salida gráfica del programa	58
4.5.2.1.	Gráficas de la serie cronológica	58
4.5.2.2.	Tabla resumen de datos	58
4.6.	CAMPAÑA DE MUESTREO.....	60
5.	FILTRADO DE DATOS.....	62
5.1.	PROBLEMÁTICA DE LA SONDA (Doppler ADV)	62
5.2.	PASOS DEL FILTRADO DE DATOS	64
5.3.	MÉTODOS DE FILTRADO DE DATOS.....	65
5.3.1.	Método del umbral de aceleración y velocidad, ATM (Goring y Nikora, 2000).....	65
5.3.2.	Método del umbral de correlación	67
5.4.	METODOLOGÍA DEL FILTRADO DE DATOS, programa ExploreV Pro.....	68
5.4.1.	Pantalla del filtrado de datos.....	68
5.4.2.	Resultados del filtrado.....	69
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
6.1.	CAUDAL DE 15.57 l/s.....	83
6.2.	CAUDAL 24 .45 l/s.....	106
6.3.	CAUDAL 49 l/s	130
7.	CONCLUSIONES	153
7.1.	FILTRADO DE DATOS.....	153
7.2.	VELOCIDADES MEDIAS	154
7.3.	VELOCIDADES TURBULENTAS	154
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	156
	ANEXO 1: TABLAS DE DATOS.....	159
	ANEXO FOTOGRÁFICO.....	199

1. RESUMEN

En este Proyecto Fin de Carrera se realiza el análisis de velocidades medidas en el seno de resaltos hidráulicos sumergidos, obtenidos en el cuenco de amortiguación de un aliviadero de labio fijo. El fenómeno hidráulico se desarrolla en flujo permanente rápidamente variado, caracterizado por la elevada turbulencia y el arrastre de altas tasas de aireación.

La medida de velocidades instantáneas se ha realizado con sondas por efecto Doppler, denominadas *Acustic Doppler Velocimeter (ADV)*.

En este proyecto se distinguen dos etapas principalmente:

- Campaña de mediciones. Ha consistido en la medición de velocidades instantáneas en distintas secciones del cuenco de amortiguación, registrándose mediciones de 5000 muestras a 10 Hz con equipos *ADV*.

Esta etapa implica, la adquisición de los conocimientos teóricos necesarios para la realizar la caracterización de los resaltos hidráulicos.

- El análisis de los datos. Se analizan los datos recogidos para su evaluación y validación. Para ello, se usan diferentes criterios y metodologías de filtrado de datos.

Esta fase surge de la especial importancia que requiere la correcta interpretación de los datos medidos, y su posterior caracterización de los diferentes parámetros hidráulicos.

1.1. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para la ejecución de este proyecto se han empleado como elementos principales: un modelo físico de un aliviadero de vertido libre por coronación, un equipo de medición de velocidades en el seno del flujo (equipo *ADV*) y un equipo informático para el procesamiento de los datos.

1.1.1. Descripción de los elementos del canal

La figura 1 muestra los principales elementos que componen el modelo físico sobre el que se ha realizado el proyecto:

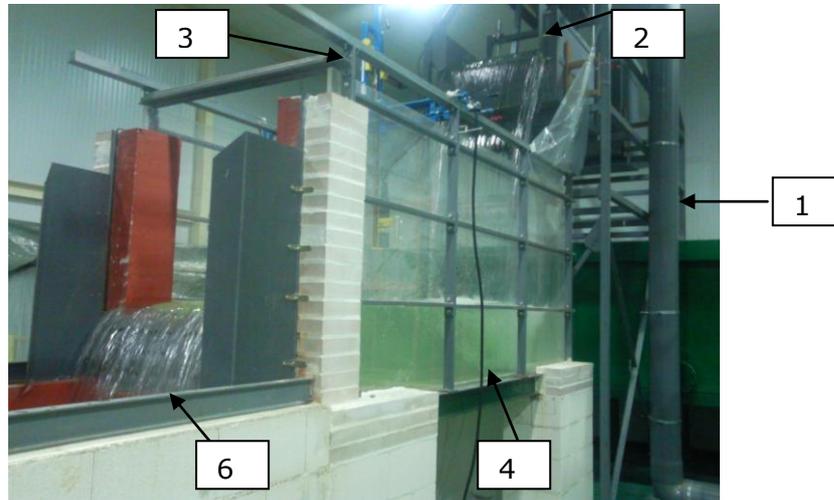


Figura 1: Elementos principales del modelo físico.

Donde:

- 1 Tubería de impulsión
- 2 Cajón superior con aliviadero de vertido libre por coronación
- 3 Mecanismo móvil de sujeción de las sondas Doppler
- 4 Cuenco de amortiguación y zona de ensayos
- 5 Canal de desagüe

1.1.2. Descripción de los elementos para la adquisición de datos con ADV

La figura 2 muestra las principales partes de la sonda:

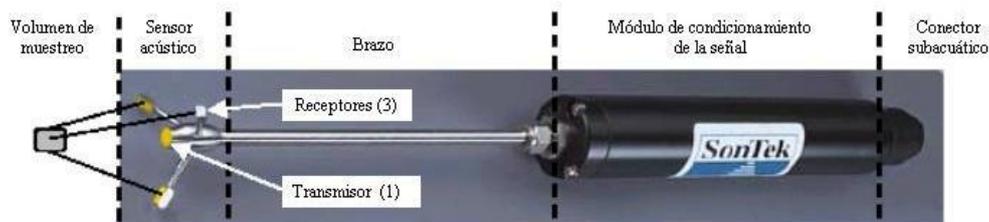


Figura 2: Elementos principales de la sonda (Carrillo, 2004).

1.2. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS (VECTRINO PLUS)

El software de adquisición de datos en tiempo real Vectrino Plus 1.16, de Nortek AS, es un programa de entorno Windows diseñado para la toma de datos de velocidades con equipos Vectrino, la figura 3 muestra la pantalla principal del software y las partes más importantes de esta.

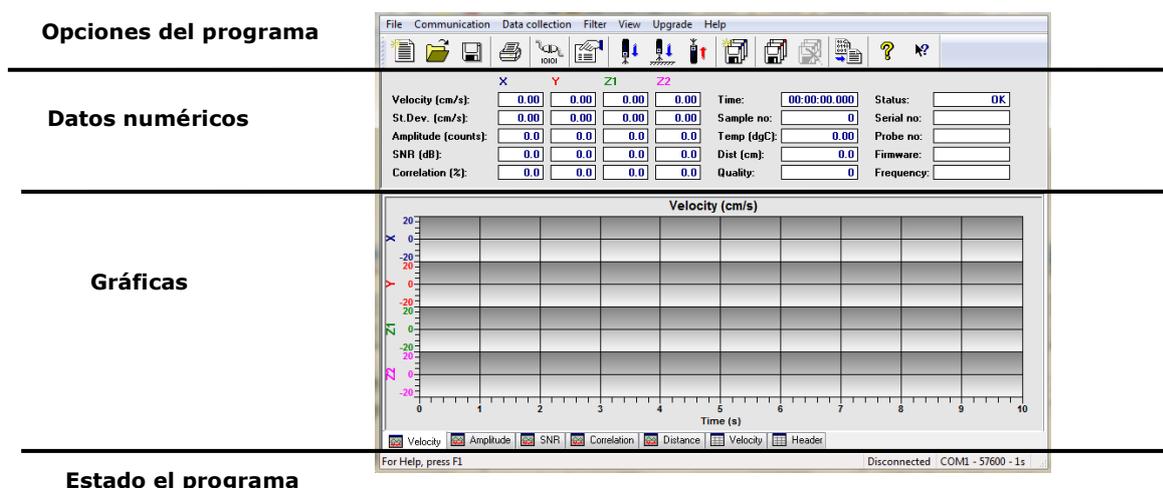


Figura 3: Pantalla principal del programa de adquisición de datos Vectrino Plus 1.16 y, localización de las partes principales.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE POSTPROCESADO (EXPLOREV PRO)

Este programa de post-procesamiento de datos proporciona un entorno que permite visualizar, revisar y analizar los datos registrados mediante un ADV. Además, sirve para ver de forma rápida series cronológicas o histogramas de los datos registrados.

Adicionalmente, ExploreV Pro sirve para comprobar e imprimir la configuración empleada en el registro de los datos. La información incluye los tipos de sondas empleados, números de serie, configuraciones de los rangos de velocidad, y medida de las distancias al volumen de muestreo y a los límites cercanos. La figura 4 muestra la pantalla principal del programa.

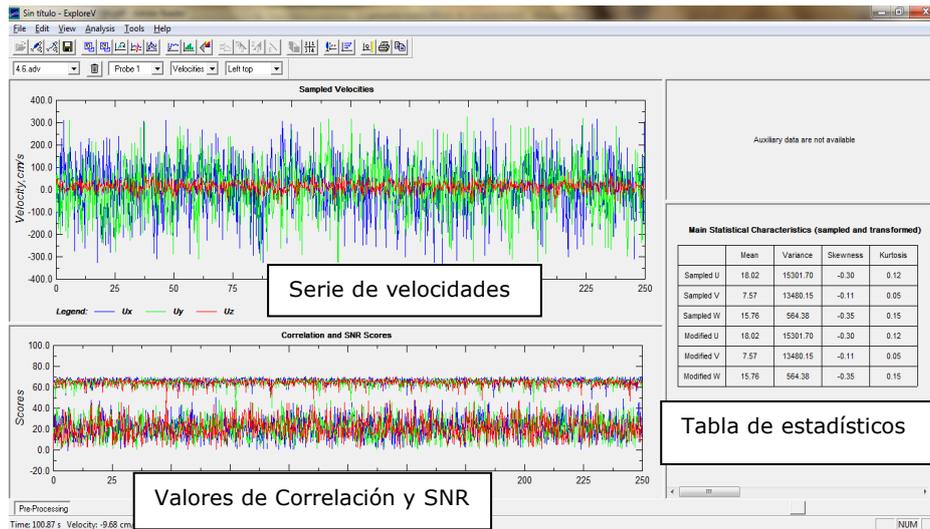


Figura 4: Pantalla de inicio del programa ExploreV Pro 1.58.

1.4. CAMPAÑA DE MUESTREO

La campaña de muestreo consistió en la toma de 5000 datos de velocidades instantáneas con 10 Hz por frecuencia de muestreo con equipo ADV, en distintas secciones, calados y caudales (tabla 1) del cuenco de amortiguación de un modelo de aliviadero de vertido libre por coronación situado a $H=235\text{cm}$ sobre el cuenco de amortiguación.

Tabla 1: Altura del aforador para cada caudal de trabajo.

Caudal (l/s)	Altura aforador (cm)
15.57	16.6
31.03	21.9
49.3	26.4

Para la correcta caracterización de la velocidad del flujo en el cuenco de disipación, se dividió éste en secciones transversales espaciadas cada 10cm, tomando como sección de referencia la zona de impacto directo del chorro sin ninguna barrera (línea azul claro en la figura 5). Para cada colchón se midieron secciones hasta notar la influencia de la contrapresa en el flujo.

Impacto del chorro X=0 X=10 X=20 X=30 X=40 X=50

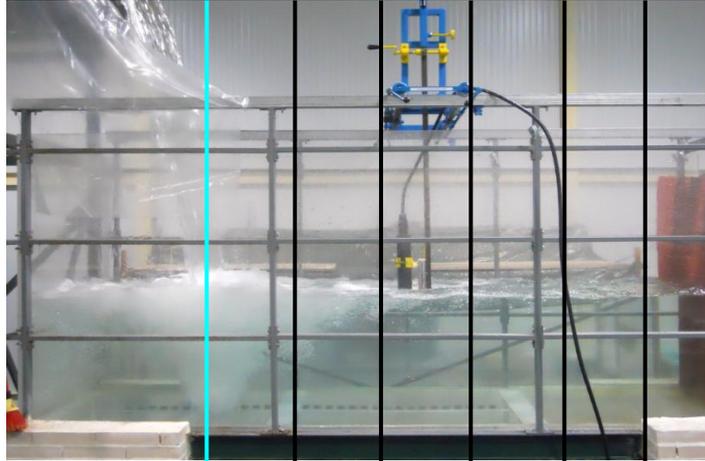


Figura 5: Distribución de las secciones estudiadas (negro) a partir del punto de impacto del chorro (azul).

1.5. FILTRADO DE DATOS

La medición de velocidades instantáneas mediante instrumentación Doppler ADV, es de gran ayuda en hidráulica a la hora de caracterizar el flujo, ya sea en laboratorio o en el campo (ríos, canales, estructuras hidráulicas, etc.).

Es muy fiable en flujos unifásicos sin presencia de aire, puesto que el agua constituye el elemento fundamental de transmisión de la señal.

Sin embargo, para el caso de flujos bifásicos (agua-aire), las señales suelen estar afectadas, en mayor o menor grado, por la presencia de burbujas de aire que se interponen en la recepción de datos, y que provocan la aparición de datos erróneos denominados "*spikes*".

De ahí la necesidad de elaborar métodos de filtrado de datos que permitan depurar las patologías presentes en este tipo de flujos.

1.5.1. Resultados del filtrado

En este apartado se hace un estudio comparativo de los valores establecidos por *Gorin y Nikora (2002)* y por *Molina Miñano (2010)*, con el que se pretende establecer un valor idóneo para los parámetros de correlación, umbral de velocidad y umbral de aceleración para mediciones realizadas en el seno de un cuenco de disipación.

En objeto del estudio fue comparar la forma de las gráficas, los resultados de desviación estándar y el número de spikes que obtienen las distintas configuraciones de filtrado en series de velocidades horizontales, afectadas en distinto grado por la turbulencia.

En la tabla 2 se exponen los resultados obtenidos para la serie de mayor turbulencia.

Tabla 2: Resultados del filtrado de la serie con turbulencia alta.

	Umbral de velocidad k	Umbral de aceleración λ	Coef. Cor %	Velocidad (cm/s)	Desv. Típica	Nº Spikes	% datos originales
Serie Original	-	-	-	30.3	107	0	100
Goring y Nikora	1.5	1.25	-	53.8	60.3	4154	16.9
	-	2	-	52.3	59.5	4461	10.7
	-	-	40	30.3	65.2	5000	0
	2	-	-	45.5	91	702	85.9
	2.5	-	-	35.9	102	229	95.4

En la tabla anterior se observa que para series con elevada turbulencia, los parámetros de Gorin y Nikkora obtienen valores bajos de desviación, pero tan solo mantienen un 16.9% de datos originales.

El filtrado con el valor de umbral de aceleración, obtiene los menores valores de desviación pero, elimina prácticamente toda la serie, al encontrar más de 4000 spikes

Para series con turbulencia elevada, el filtrado por el coeficiente de correlación considera que todos los datos son spikes, por lo que este método de filtrado es inviable, puesto que reduce drásticamente la serie.

Se observa que el filtrado con umbral de velocidad es el que mejor resultado obtiene, puesto que aunque presenta un valor de desviación típica elevado para esta serie, es el que menor número de spikes encuentra.

A continuación se exponen los resultados gráficos de los filtrados de datos con los diferentes parámetros de la serie con turbulencia alta (figura 6a, 6b).

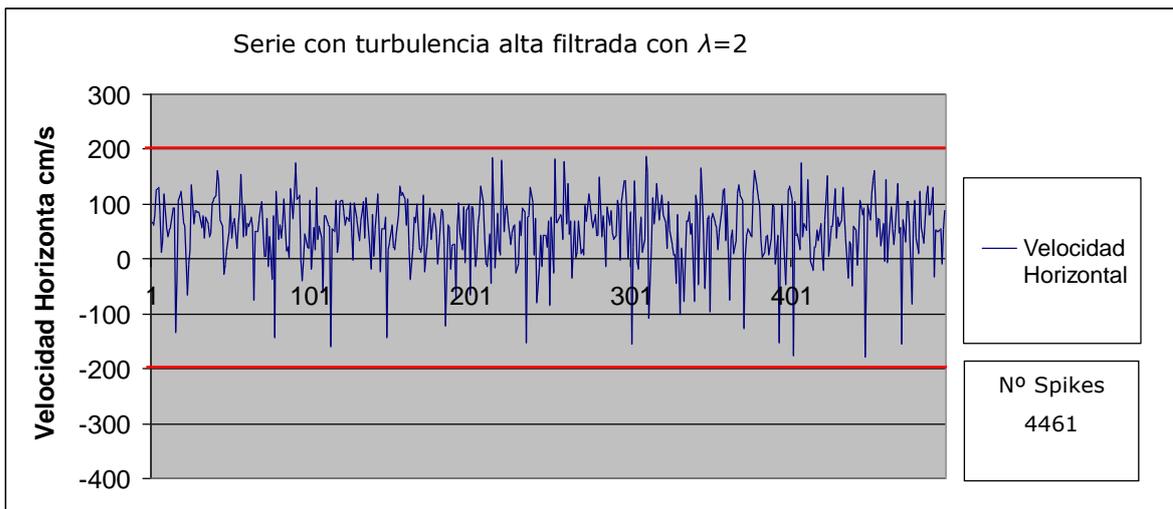
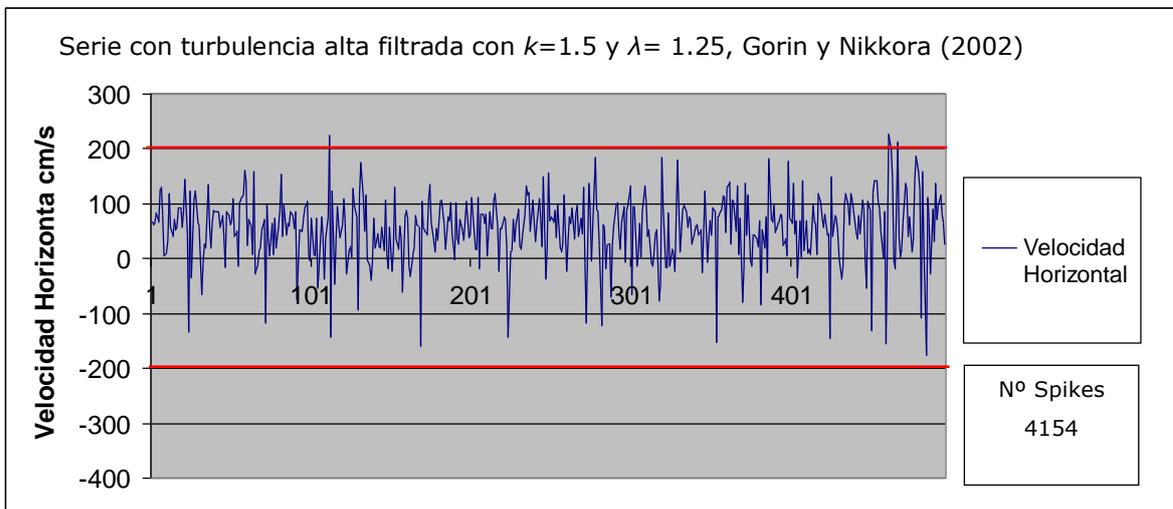
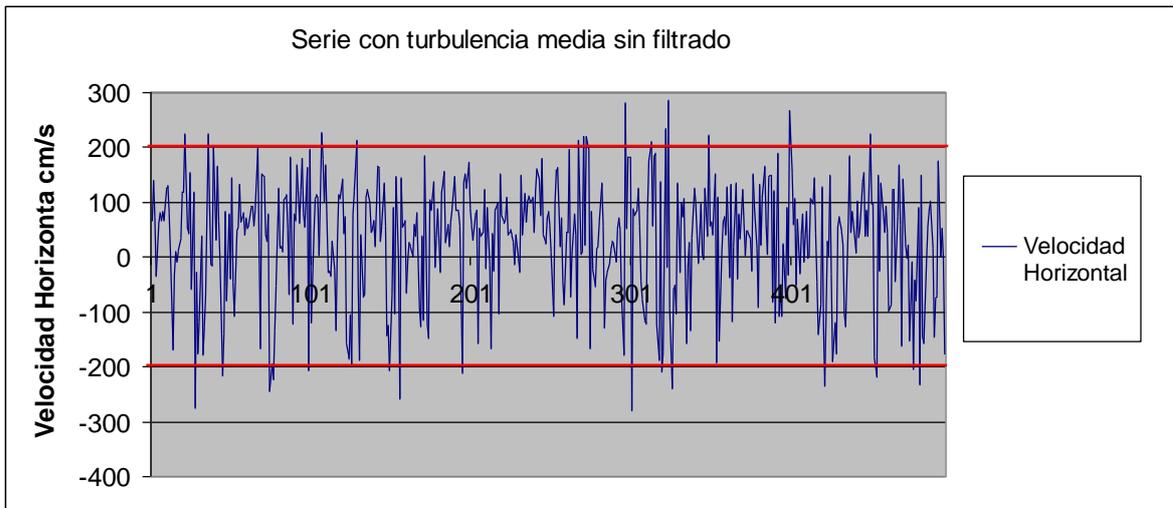


Figura 6a: Resultados gráficos del filtrado según cada autor de la serie con turbulencia alta.

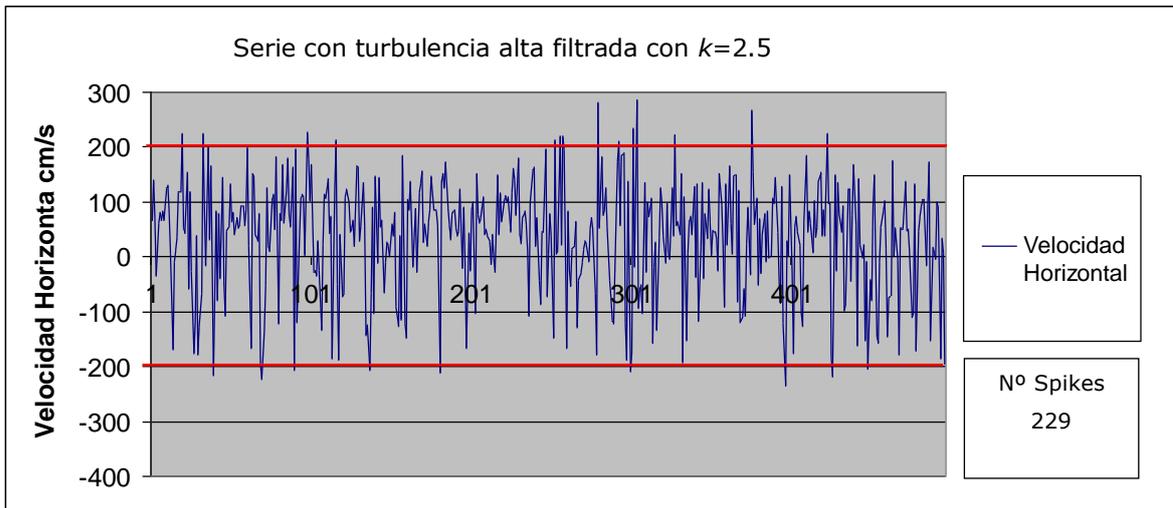
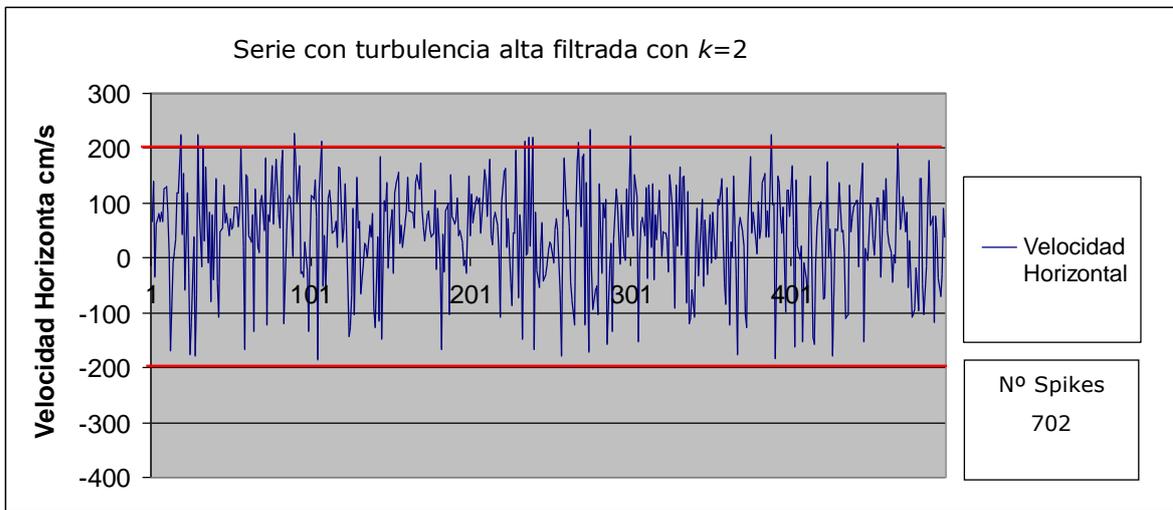
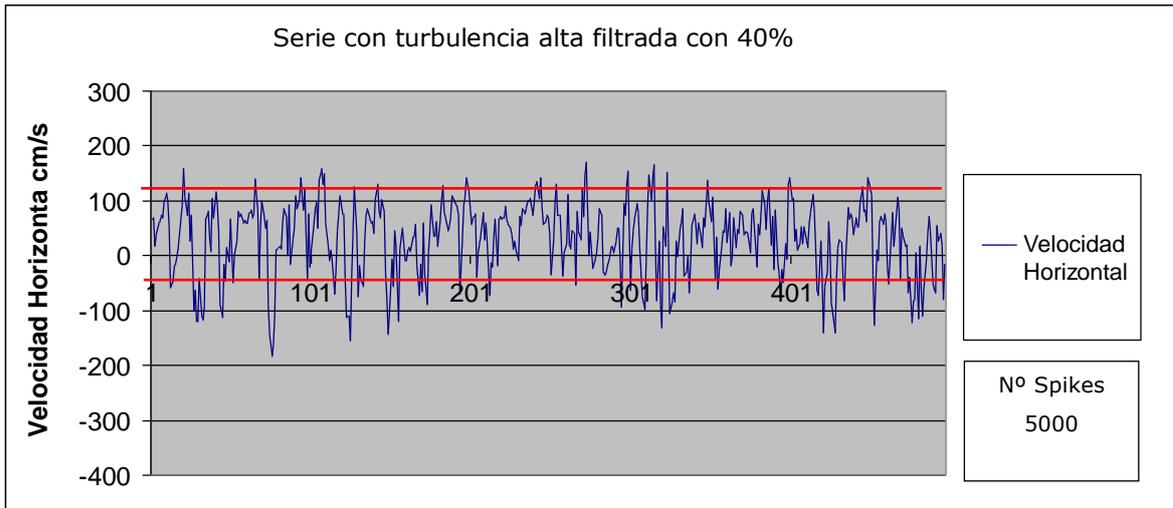


Figura 6b: Resultados gráficos del filtrado según cada autor de la serie con turbulencia alta.

Una vez completado el estudio del filtrado de datos para los distintos grados de turbulencia, se pueden establecer las siguientes conclusiones.

- El método de Gorin y Nikkora, desvirtúa las series, al eliminar siempre más del 10% de los datos de la serie original.
- El parámetro de umbral de aceleración λ , produce buenos resultados para series con poca turbulencia, pero funciona mal con series cuya desviación típica inicial es muy grande.
- Los filtros con Coef. Cor son los que menor desviación típica desvirtúan drásticamente la serie original.

El parámetro que mejores resultados presenta en todas las series es el umbral de velocidad k . Se ha escogido como método de filtrado un valor de $k=2.5$ para series cuya desviación inicial sea inferior a 80 y, $k=2$ para series con elevada turbulencia.

1.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se estudian las distribuciones de velocidades medias y turbulentas en las direcciones horizontal (en el sentido del flujo) y vertical.

Para cada caudal, Q , y cada colchón, Y , se muestra un análisis global de la distribución de velocidades en todo el cuenco, en el que se grafican conjuntamente los perfiles de velocidades verticales y horizontales. Además se indica esquemáticamente la localización del chorro incidente, el calado medio en el colchón que constituye la superficie libre del agua, el perfil del contorno del cuenco de amortiguación y la altura de la contrapresa referida al calado total del colchón.

Posteriormente se analizan comparativamente, las velocidades horizontales y sus desviaciones y, finalmente, se hace lo propio con las velocidades verticales.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con el caudal de 49l/s para un colchón de 64cm.

La figura 7 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

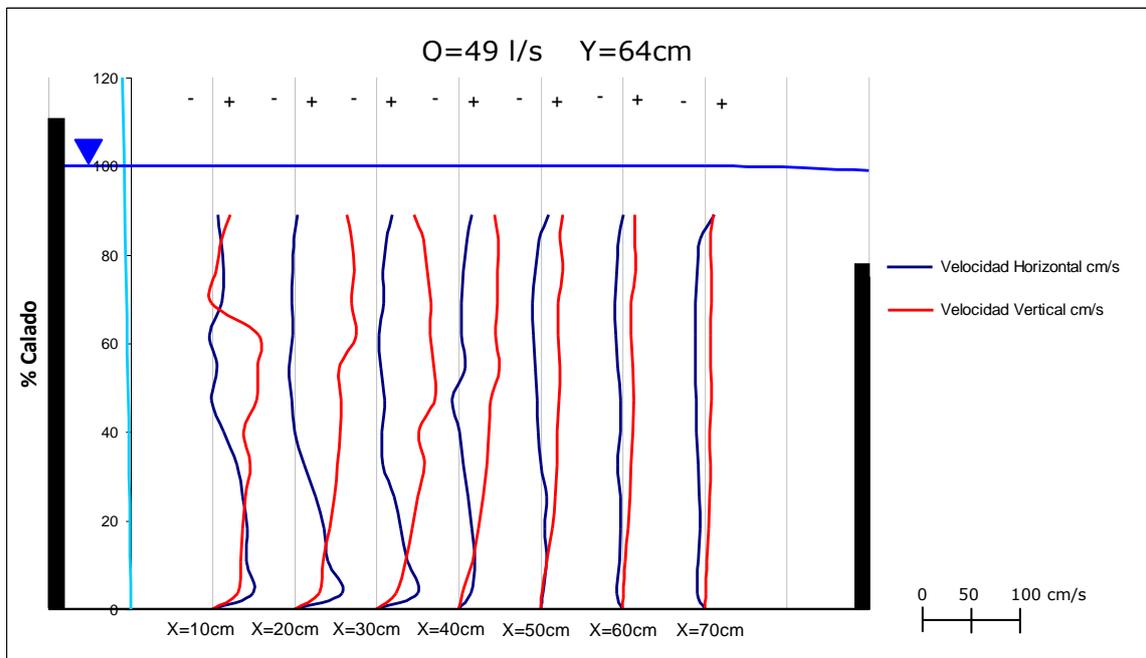


Figura 7: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 63cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

El colchón de 64 cm es el más grande medido con el caudal de 49 l/s. Se corresponde con una altura de barreras de 48 cm, más una sobreelevación de 16cm.

Las figuras 8 y 9, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

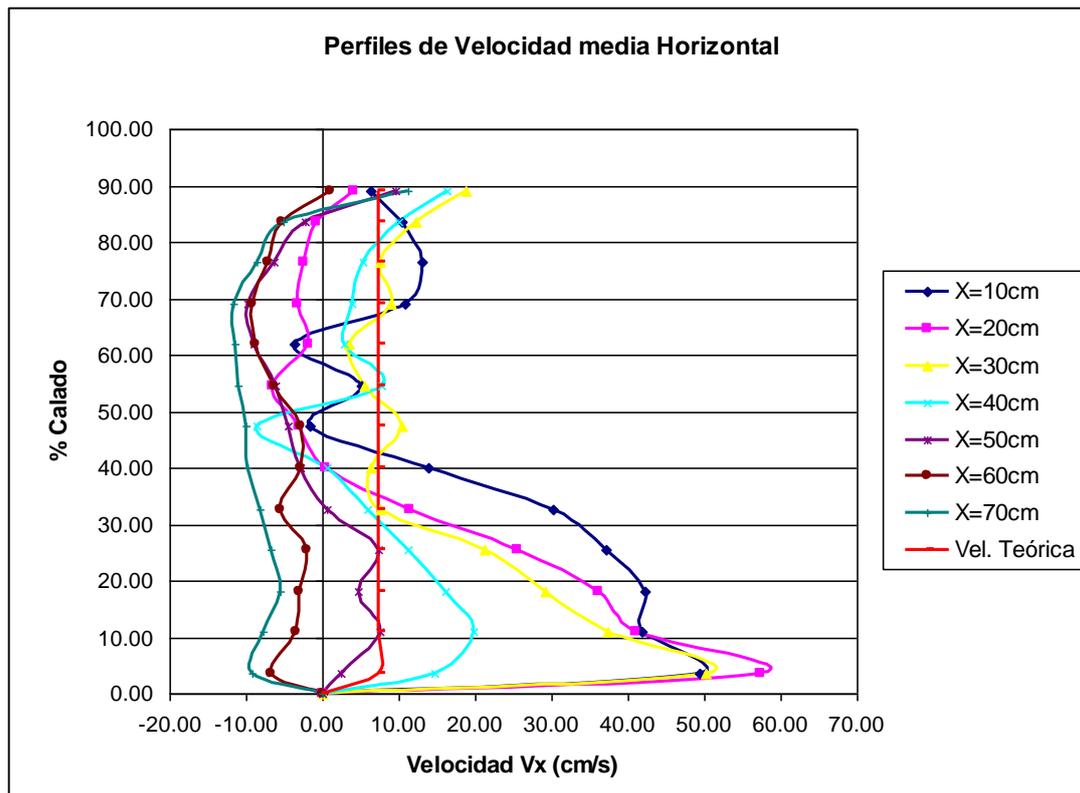


Figura 8: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para Q=49 l/s Y=64cm.

En este colchón los efectos del resalto se mantienen hasta la sección X=40cm, observándose perfectamente su evolución dentro del cuenco. En estas secciones se produce un máximo de velocidad horizontal positiva en las proximidades de la solera, entorno al 5% del calado y posteriormente la velocidad disminuye progresivamente hasta el 70% del calado, llegando a alcanzar valores negativos en todas las secciones y, finalmente aumenta hasta ser positiva cerca de la superficie. Los efectos de las barreras se perciben en este colchón a partir de los 60 cm del punto de impacto del chorro.

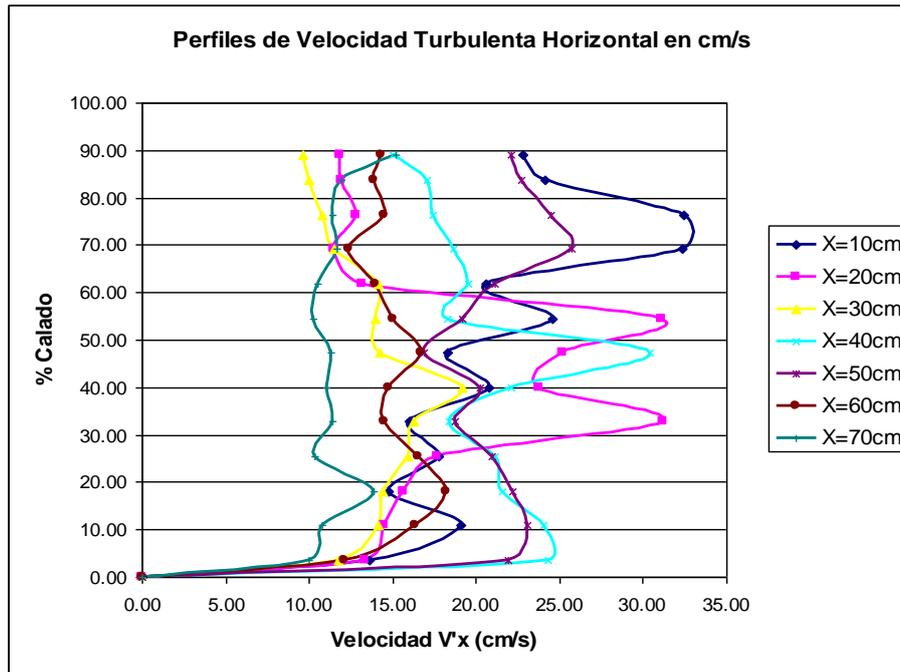


Figura 9: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para Q=49 l/s Y=64cm.

En la primera sección, las velocidad turbulenta horizontal sufre variaciones que se van haciendo cada vez más pronunciadas hasta alcanzar la turbulencia máxima de 33cm/s entorno al 70% del calado. Estas variaciones de velocidad turbulenta van disminuyendo en las sucesivas secciones, hasta que a los 70cm la turbulencia horizontal es uniforme en el perfil.

Las figuras 10 y 11 muestras respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

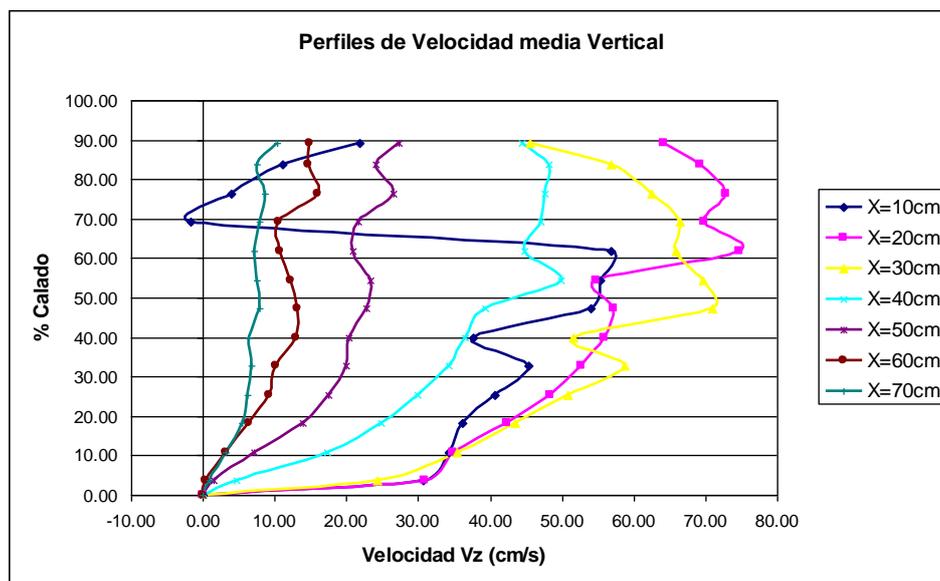


Figura 10: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=49 l/s Y=64cm.

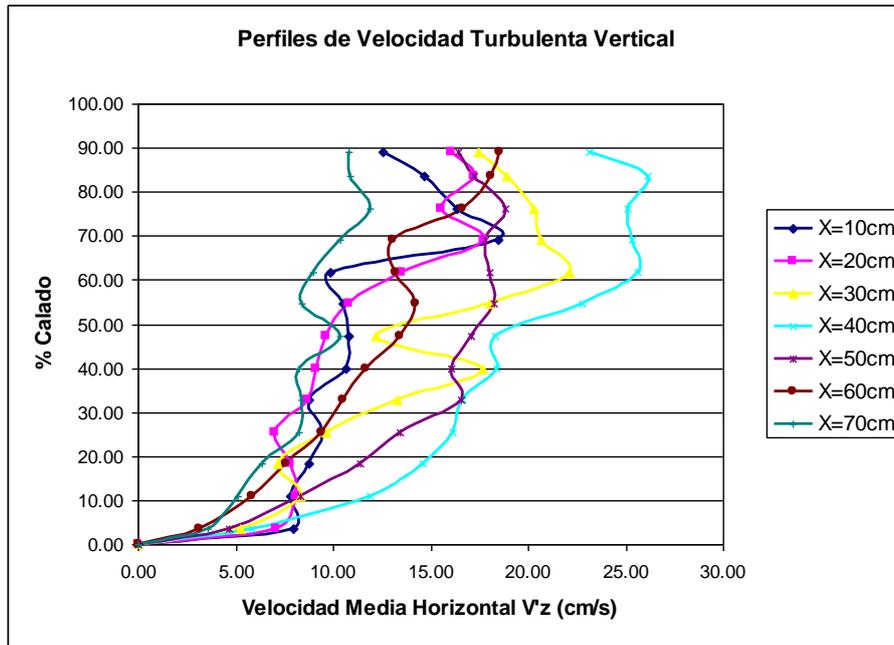


Figura 11: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para Q=49 l/s Y=64cm.

Las velocidades verticales presentan una evolución contraria a las velocidades horizontales en todas las secciones afectadas por el resalto. A partir de los 60 cm el flujo vertical se reduce de forma progresiva.

Analizando las velocidades turbulentas verticales, se observa que la tendencia en todas las secciones es a aumentar hacia la superficie. La sección de máxima turbulencia es la situada a 40cm del punto de impacto del chorro.

2.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 flujos en lámina libre.
- Un segundo objetivo es la adquisición de datos por medio del equipo Doppler, la validación de datos y filtrado numérico y la comprobación, contrastación teórico-experimental de las distribuciones de velocidad e índice turbulentos.
- Un tercer objetivo es el estudio paramétrico de la distribución de velocidades instantáneas, medias y fluctuantes en distintas posiciones del resalto hidráulico sumergido en distintas secciones de un cuenco amortiguador de un aliviadero de vertido libre.

3. BASES TEÓRICAS DEL FLUJO EN ALIVIADEROS DE VERTIDO LIBRE POR CORONACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

Un aspecto muy importante en el diseño de una presa lo constituyen los órganos de seguridad (vertederos y disipadores de energía), que restituyen el agua excedente del embalse al cauce natural.

El objetivo de los cuencos disipadores de energía es eliminar gran parte de la energía de los flujos de alta velocidad; ya sea por fricción del agua con el aire, con las estructuras disipadoras o por fricción interna. De este modo, limitan la erosión en el punto de restitución al cauce y proporcionan un régimen de circulación lo más estable posible, aguas abajo de la presa.

En la figura 12, se presentan las principales tipologías de los disipadores de energía en presas.

De las tipologías existentes, el vertido libre por coronación (figura 12f) constituye una forma de disipación de energía simple, cómoda y económica. La descarga de los caudales excedentes se realiza a pie de presa en un colchón de agua, pudiendo ser su fondo el cauce natural del río (sólo en casos de roca sana de buena calidad), o una solera de hormigón armado.

Su misión consiste en retornar los caudales excedentes al cauce del río, pero de una forma racional. Para esto, el flujo cae libremente por la atmósfera a partir de la coronación de la presa hasta alcanzar el cuenco disipador, que se encuentra ubicado a pie de presa, donde la vena líquida se difunde. A continuación se forma un resalto hidráulico sumergido, para posteriormente retomar el cauce del río a través del perfil hidrodinámico de la contrapresa, (figura 13).

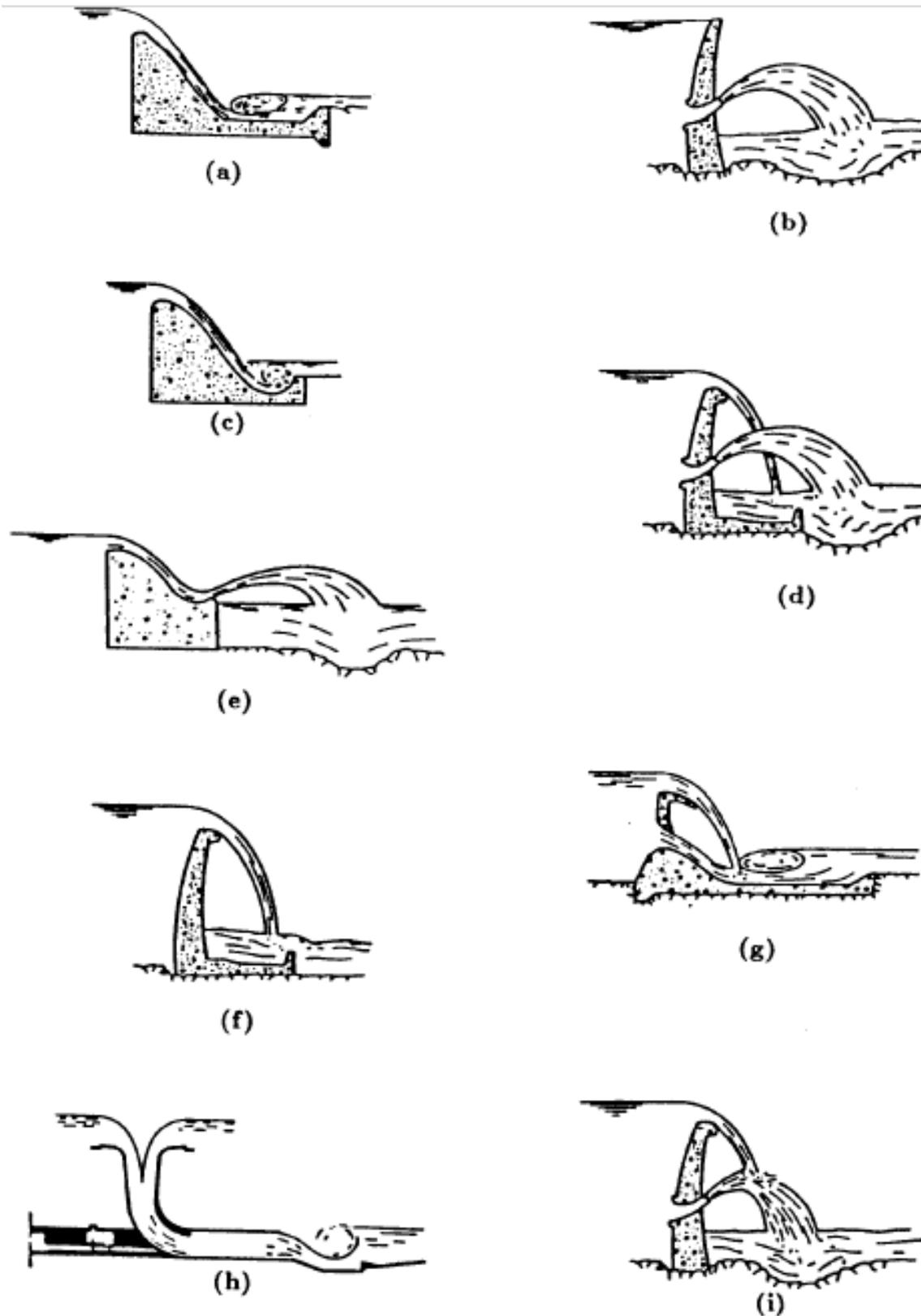


Figura 12: Tipología de los Disipadores de Energía Hidráulica de las Presas: (a) Por Resalto; (b) Salto de Ski de Medio Fondo; (c) Trampolín Sumergido; (d) Lámina libre y Medio Fondo; (e) Salto de Ski; (f) Lámina Libre; (g) Lámina libre y Compuerta de Fondo; (h) En Pozo con terminal en resalto; (i) Chorros Cruzados entre Lámina Libre y Medio Fondo De Lencastre (Castillo, 1989).

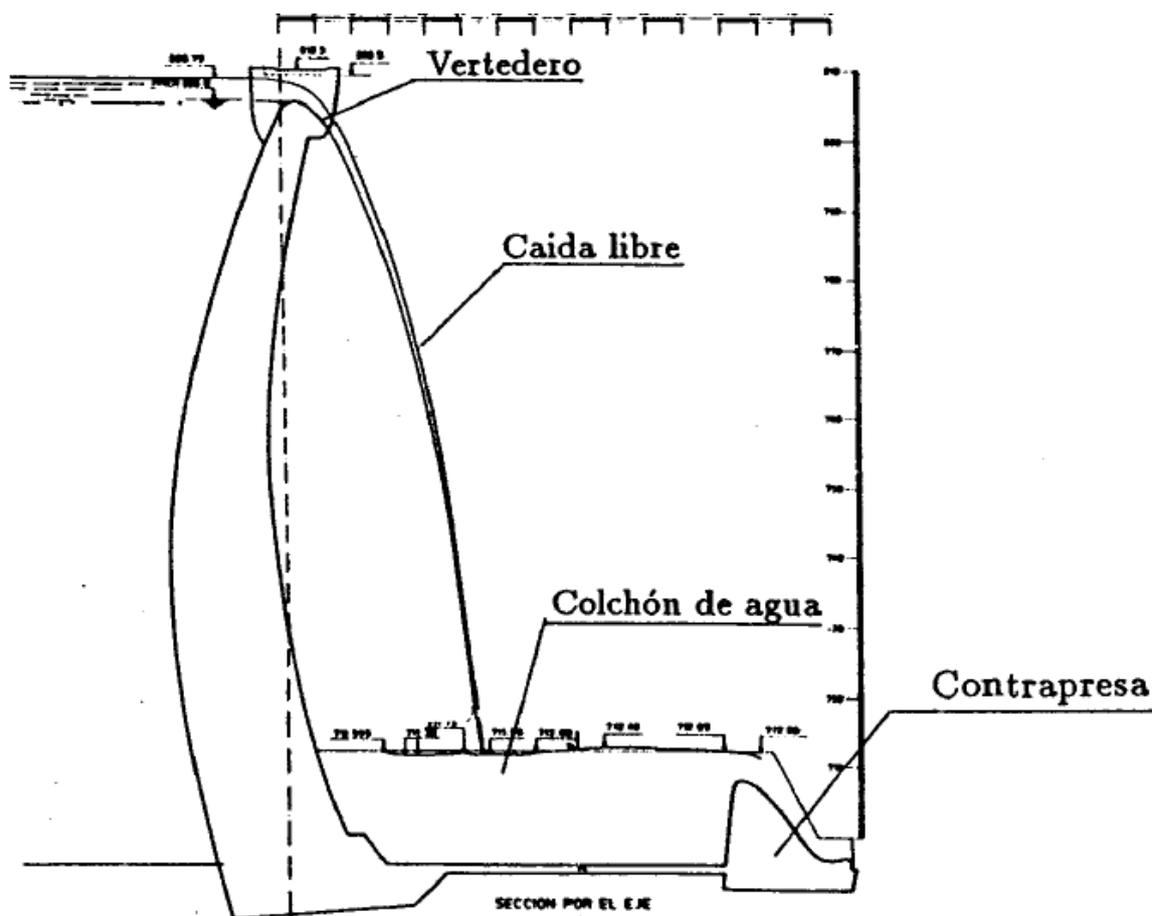


Figura 13: Perfil del vertedero de la presa bóveda LLosa del Cavall, con su dissipador de energía al pie de la presa (Castillo, 1989).

Todos los cuencos dissipadores de energía, se encuentran sometidos a una fuerte acción erosiva, como consecuencia de las altas velocidades que se obtienen de la transformación de la energía potencial creada por el embalse. Además de estas acciones, se producen altas presiones hidrodinámicas debido al efecto del impacto y deflexión del chorro turbulento sobre la solera.

El estudio realizado en este proyecto se limita a caracterizar las velocidades de flujo, tanto horizontal como vertical, en un modelo de este tipo de dissipadores de energía.

A continuación se realiza un breve análisis de la disipación de energía hidráulica en la base de las estructuras de caída, donde se definen las características generales de la disipación y la geometría del flujo. Seguidamente, se determinan de una forma más detallada, las condiciones del flujo en el cuenco dissipador a pie de presa en función del calado aguas abajo. Por último, se termina con un análisis de las principales características hidrodinámicas de los resaltos hidráulicos sumergidos.

3.2. ANÁLISIS DE LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN EL VERTIDO LIBRE

La disipación de energía se produce por el frenado del aire y la emulsión en la caída, y la posterior difusión del chorro en el colchón de agua e impacto con el fondo. El impacto contra la solera y la contrapresa crea un flujo altamente turbulento con elevada disipación de energía. La energía de impacto contra la contrapresa puede llegar a ser importante si la longitud del cuenco disipador no es suficiente para albergar el resalto hidráulico, pudiendo el chorro de pared incidir en la contrapresa con una velocidad elevada.

3.2.1. Características del flujo en el cuenco

Moore (1943), realiza un estudio teórico-experimental de la disipación de energía bidimensional en el caso de estructuras de caída vertical.

Considera la energía H_1 en la base de la caída, como la suma de la carga de velocidad media v_1 , más el calado promedio del flujo en dicha sección y_1 , (figura 14).

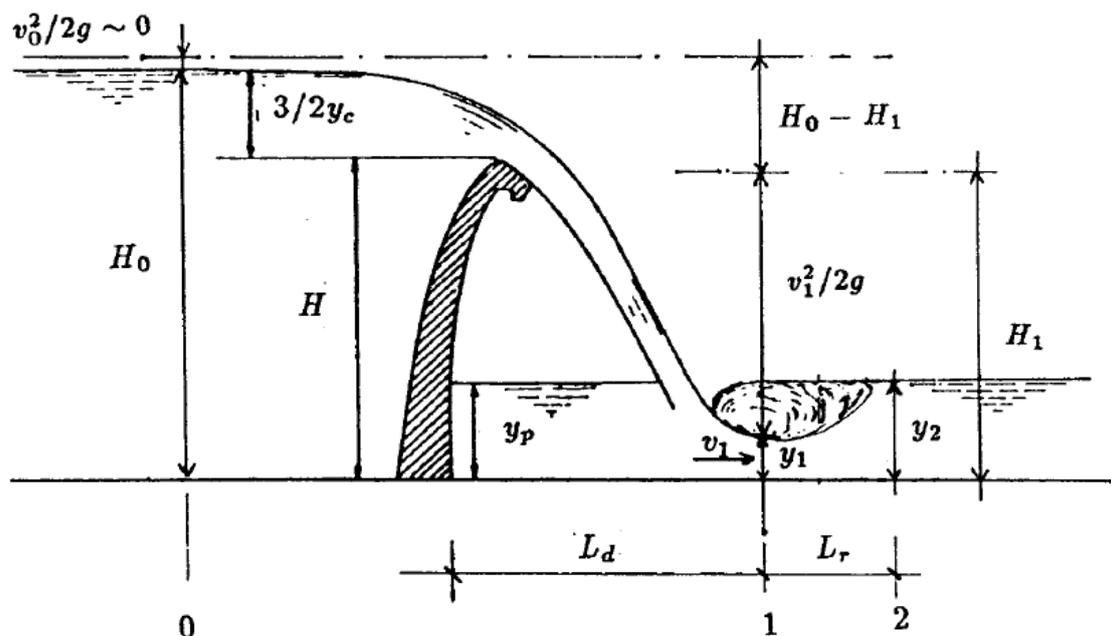


Figura 14: Principales magnitudes de los disipadores de energía hidráulica a pie de presa (Castillo, 1989).

En la figura 15a, se presentan los valores experimentales de H_1/y_c en función de H/y_c , confrontándose con los obtenidos por la aplicación de la ecuación de la energía sin considerar las pérdidas de carga, es decir:

$$H_1 = H + \frac{3}{2} y_c \quad (3.1)$$

$$H_1 = \frac{H_0}{y_c} = \frac{H}{y_c} + \frac{3}{2} \quad (3.2)$$

Donde:

$y_c = \sqrt[3]{q^2/g}$; Calado crítico en una sección rectangular

H ; Altura de caída

H_1 ; energía total en la base de la caída

q ; Caudal unitario

g ; Aceleración de la gravedad

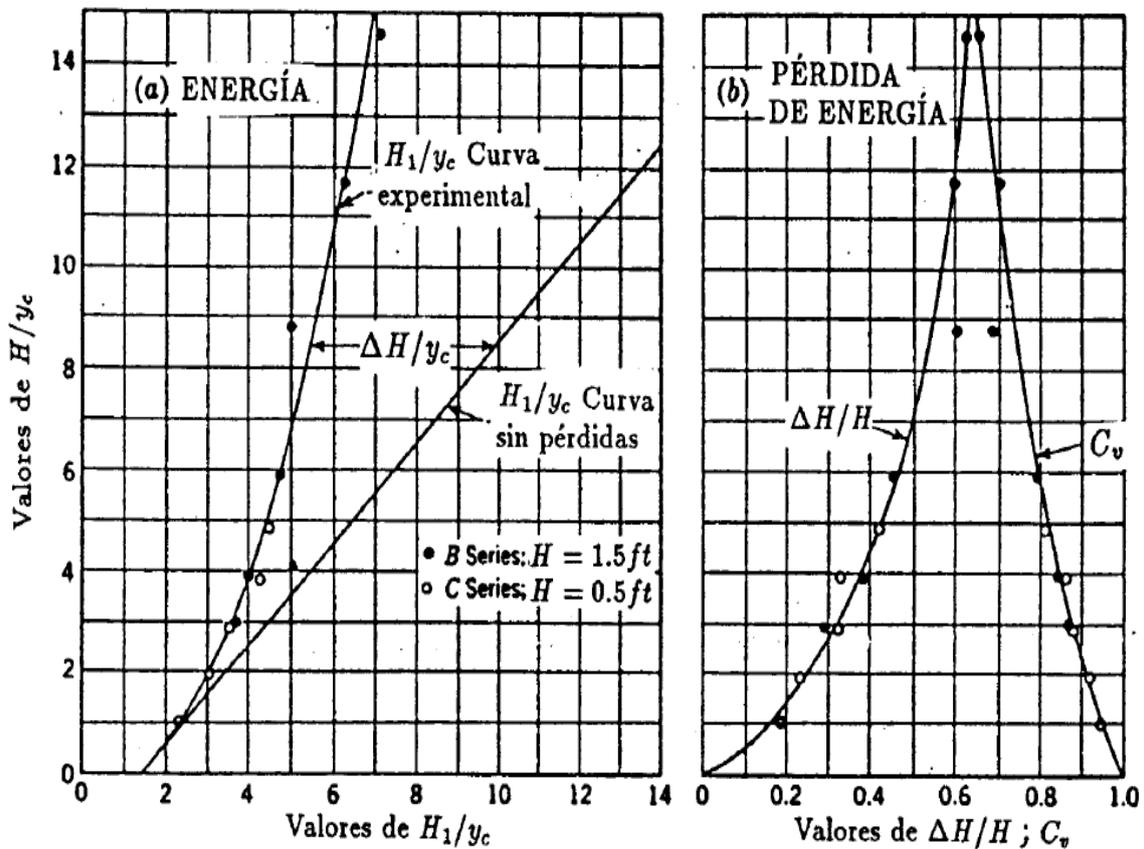


Figura 15: Energía en la base de una caída vertical

(a) Energía teórica y experimental; (b) Pérdida de energía y coeficiente de velocidad (Moore, 1943, adaptado por Castillo, 1989).

La diferencia entre las curvas teórica y experimental representa la pérdida de energía dividida entre el calado crítico, $\Delta H/y_c$.

En la figura 15b, se presenta el efecto de H/y_c sobre la pérdida de energía. Podemos observar que se puede disipar hasta las dos terceras partes de la altura de caída ($66\%H$).

En el gráfico se concluye que para un caudal y una altura de caída determinada, se consigue incrementar la disipación de energía, aumentando el ancho del vertedero, lo que implica una reducción del calado y_c .

También en la figura 15b, se presentan los valores del coeficiente de velocidad C_v en función de H/y_c

La velocidad media real en la base de la caída se expresa como:

$$v_1 = C_v \sqrt{2g(H_0 - y_c)} \quad (3.3)$$

En donde la energía total en el embalse es $H_0 = H + \frac{3}{2} y_c$.

Si en la ecuación (3.3) se reemplaza el valor de H_0 , y además se introduce la ecuación de continuidad $v_1 y_1 = \sqrt{g y_c} y_c$, reordenando los términos, se obtiene la siguiente ecuación cúbica:

$$\left(\frac{y_c}{y_1}\right)^3 - C_v^2 \frac{y_c}{y_1} \left(\frac{2H}{y_c} + 3\right) + 2C_v^2 = 0 \quad (3.4)$$

A partir de esta ecuación, y dependiendo del valor de C_v , se puede calcular y_1 . La energía, $y_1 + v_1^2 / 2g$, puede calcularse teniendo en cuenta la ecuación (3.1). Este procedimiento es menos práctico que el uso de la figura 6, la cual da directamente el contenido de la energía en la base de la caída.

El calado de agua correspondiente al pozo de acumulación, y_p , se determina a partir de la aplicación del teorema de la cantidad de movimiento, cuya ecuación resultante es:

$$\left(\frac{y_p}{y_c}\right)^2 = \left(\frac{y_c}{y_1}\right)^2 + 2\left(\frac{y_c}{y_1}\right) - 3 \quad (3.5)$$

Esta expresión concuerda con los resultados experimentales realizados por Moore (1943), tal como puede observarse en la figura 16a.

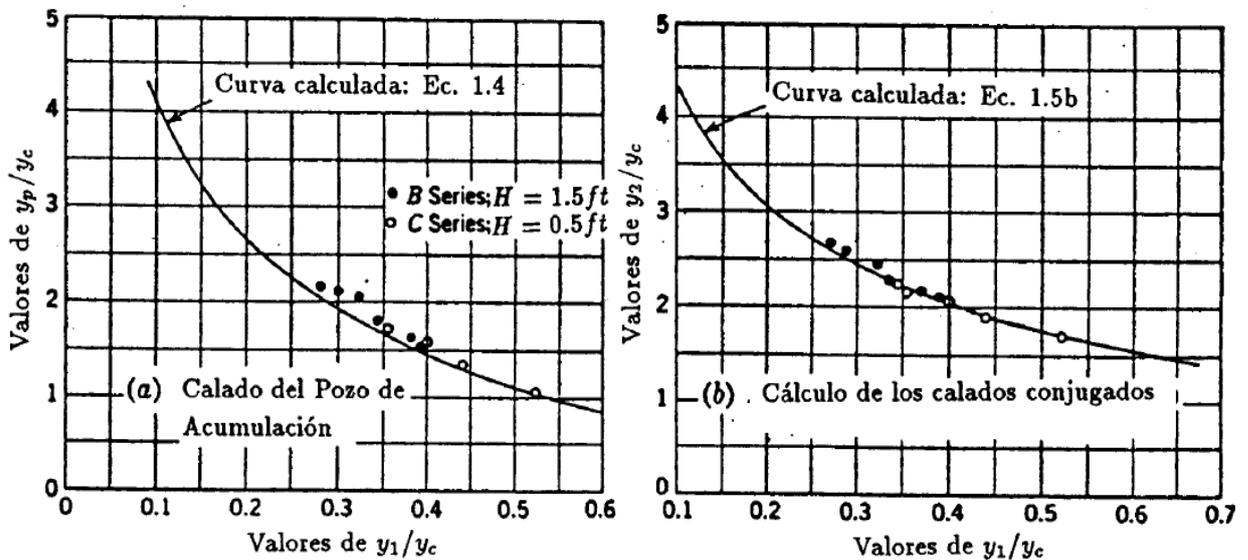


Figura 16: Curvas de las ecuaciones del momentum: (a) Calado del pozo de acumulación y_p (ec.3.4); (b) Calados conjugados y_1 e y_2 (ec.3.5) (Moore, 1943, adaptado por Castillo, 1989).

El calado conjugado, y_2 , se puede calcular a partir de y_1 , por medio de la ecuación de Belanguer, que para una sección rectangular es:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right] = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{y_c}{y_1}\right)^3} - 1 \right] \quad (3.6)$$

Donde:

y_1 e y_2 ; Calado y calado conjugado del resalto hidráulico

$F_1 = v_1 / \sqrt{gy_1}$; Número de Froude en la sección contraída

Esta expresión se puede poner de la forma:

$$\frac{y_2}{y_c} = \frac{y_1}{2y_c} \left[-1 + \sqrt{1 + 8\left(\frac{y_c}{y_1}\right)^3} \right] \quad (3.7)$$

Moore (1943) realiza la comprobación experimental de estas ecuaciones. Se puede observar el buen ajuste de esta comprobación experimental en la figura 16b.

El perfil longitudinal del resalto hidráulico producido en la base de una caída es semejante al producido por un chorro horizontal, aunque un poco más inclinado en la zona inicial.

Para valores del calado aguas abajo superiores al calado y_2 , se produce una sumergencia del resalto hidráulico, lo que implica mayores velocidades junto al fondo.

3.2.2. Condiciones del flujo en el cuenco en función del calado aguas abajo

Según Cui (1985) las condiciones de flujo en la solera del cuenco, pueden clasificarse de acuerdo al calado aguas abajo, y_b , en tres tipos diferentes, figura 17:

- Tipo I: $y_b < y_2$

El calado de aguas abajo es inferior al calado preciso para crear un resalto. En estas condiciones no se forma un verdadero colchón aguas abajo del punto de caída. Sin embargo, aguas arriba de este punto se forma un colchón de agua de espesor y_p , creando en la zona de caída del chorro un calado y_{c0} , el cual constituye un colchón eficaz.

- Tipo II: $y_b > y_2$

Se forma un resalto hidráulico sumergido de modo que, tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de caída, se obtienen colchones de agua verdaderos. Para obtener este tipo de flujo, se debe verificar que $y_{c0}/B < 20$, donde B es el espesor del chorro a la entrada del cuenco, figura 17.

- Tipo III: $y_{c0}/B > 20$

La inclinación de la superficie libre, aguas arriba y aguas abajo del punto de caída, disminuye rápidamente; la diferencia entre y_{c0} y y_b tiende a cero.

En las obras reales, en donde exista o no una solera artificial, se busca garantizar las condiciones de flujo Tipos II o III.

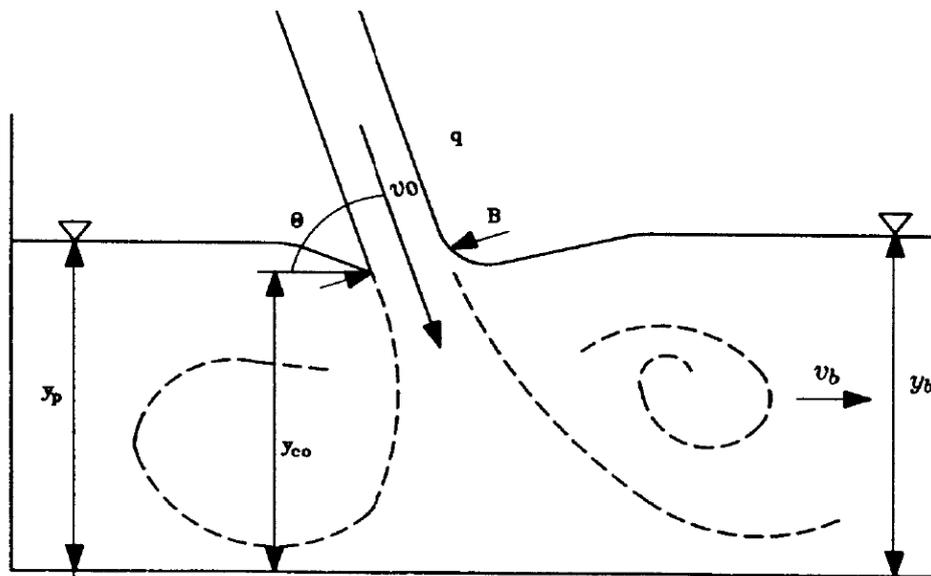


Figura 17: Condiciones del flujo en la solera, de acuerdo al calado aguas abajo y_b (Gui Guang Tao, 1985, adaptado por Castillo, 1989).

3.3. FLUJO DEL CHORRO EN EL INTERIOR DEL CUENCO

De forma general, el flujo del chorro en el interior del cuenco se puede clasificar en tres zonas de naturales muy diferentes (figura 18):

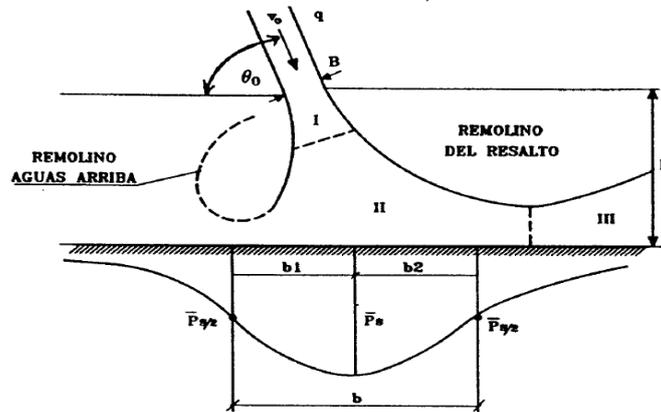


Figura 18: Zonas del flujo del chorro dentro del colchón de agua (De Xu Duo-Ming, 1983, adaptado por Castillo, 1989).

- Zona I: Zona de lámina libre

En la que el escurrimiento tiene características análogas a la caída libre. Presenta un ensanchamiento aproximadamente lineal, con un ángulo mayor que en el aire. En esta zona, debido a la acción de succión de los vórtices se forman ondulaciones a cada lado del chorro.

- Zona II: Zona de choque

En la que las líneas de corriente se deflecan debido a la influencia del fondo, la velocidad disminuye y aparecen presiones y gradientes de presión relativamente elevados junto al fondo. La dispersión del chorro al chocar con el lecho, junto con la mezcla de aire arrastrada al atravesar la atmósfera, produce turbulencia muy acentuada, dando origen a grandes fluctuaciones de presión junto al fondo.

- Zona III: Zona de chorro de pared

En esta zona se produce un resalto hidráulico sumergido y el escurrimiento en la parte principal de la lámina tiene características de un chorro de pared. A medida que aumenta el calado aguas abajo, la alteración superficial creada en la zona de incidencia del chorro es menor.

3.4. BASES TEÓRICAS DEL RESALTO HIDRÁULICO

3.4.1. Introducción

Un salto hidráulico (figura 19) es un fenómeno de variación rápida de la superficie libre del flujo. Se produce una transición discontinua de flujo supercrítico a subcrítico en canales abiertos donde no se han provisto accesorios. La condición de flujo se define por el número de Froude. Para el caso de un canal rectangular:

$$F = V / \sqrt{gy} \quad (3.8)$$

En la cual $V = Q/A$ es la velocidad media de la sección transversal y \sqrt{gy} es la celeridad de la onda superficial del agua. Para $F < 1$, se produce un flujo subcrítico, mientras que el flujo es supercrítico si $F > 1$. Cuando $F = 1$, la velocidad del flujo es igual a la celeridad de la onda y el flujo se denomina crítico.

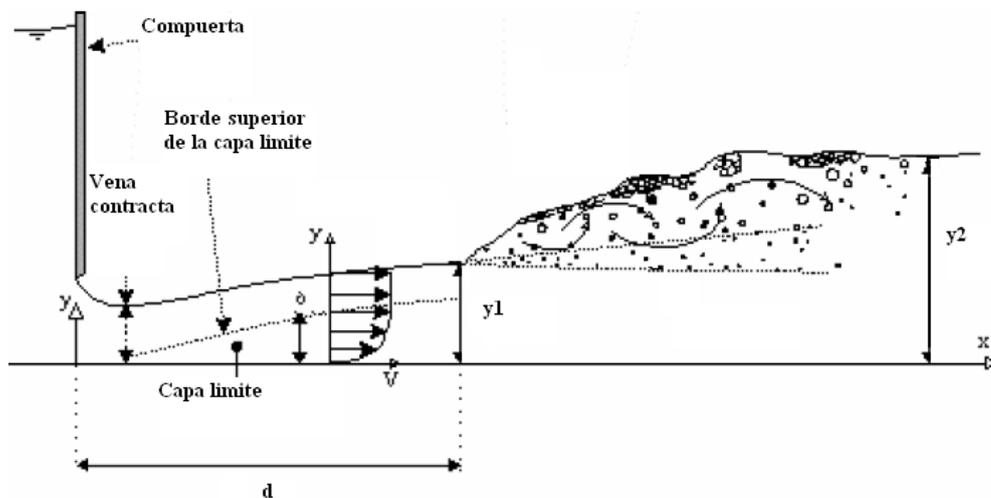


Figura 19: Esquema de un salto hidráulico aguas abajo de una compuerta plana (García García, 2009).

Las siguientes características están asociadas con la transición de flujo supercrítico a subcrítico:

- Flujo altamente turbulento con componentes de velocidad dinámica y de presión significativas.

- Pulsaciones de presión y de velocidad y el desarrollo de la onda aguas abajo del resalto.
- Dos fases de flujo debido a la entrada de aire.
- Patrón erosivo debido al aumento del desarrollo a gran escala del remolino.
- Generación de sonido y disipación de energía como resultado de la producción de turbulencia.

3.4.2. Resalto hidráulico sumergido

Podemos definir un resalto sumergido como el resalto cuyo inicio está cubierto de agua sin permitir acceso directo de la atmósfera al cuerpo del resalto. Como resultado, en un resalto sumergido entra mucho menos aire que en un resalto libre.

Para niveles bajos de calado después del impacto, se genera un flujo de alta velocidad formándose aguas abajo un resalto hidráulico. Cuando se incrementa el nivel del calado aguas abajo, el inicio del resalto se mueve hacia aguas arriba y se adhiere al chorro como flujo de transición. Cuanto más se incrementa el nivel del calado aguas abajo, más turbulento se vuelve el resalto. El aire solamente entra en el resalto en períodos limitados de tiempo y el cuerpo del resalto se mueve contra el chorro para separarse después en un corto período de tiempo. La conversión de un resalto libre a uno sumergido es muy dinámica y fluctuante, debiendo este tipo de funcionamiento evitarse, por los efectos nocivos que producen el desarrollo de presiones dinámicas.

3.4.2.1. Descripción de condiciones de flujo medio

La figura 20 define el campo de flujo medio de un resalto hidráulico sumergido en un canal prismático rectangular. h_1 y h_2 son las profundidades al inicio al final del resalto, h_3 es la profundidad aguas abajo de la compuerta y h_4 la mínima profundidad de flujo. L_r y L_j son la longitud del remolino y del resalto respectivamente.

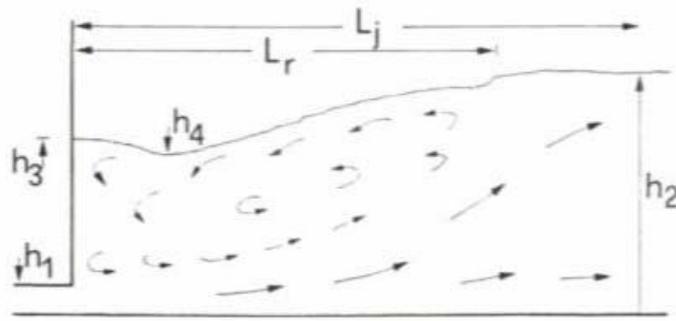


Figura 20: Definición de Sketch para resalto sumergido (Márquez, 2005).

Considerando flujo bidimensional Rajarantnam (1965) introduce el factor de sumergencia

$$S_j = \frac{h_2}{h_2^*} - 1 \quad (3.9)$$

Donde $S_j = 0$ para un resalto clásico. Aplicando la ecuación tradicional del momentum tenemos:

$$\frac{h_3^2}{2} - \frac{h_2^2}{2} = \frac{q^2}{gh_2} - \frac{q^2}{gh_1} \quad (3.10)$$

o, con $\psi = \frac{h_3}{h_2^*}$ y $F = \frac{q}{(gh_2)^{1/2}}$

$$\psi Y^* = \frac{h_3}{h_1} = \left[(1 + S_j)^2 Y^{*2} - 2F_1^2 + \frac{2F_1^2}{Y^*(1 + S_j)} \right]^{(1/2)} \quad (3.11)$$

Para $F_1 > 2$ y $S_j > 0$, una aproximación para la relación de profundidades secuentes es:

$$\frac{h_3}{h_1} = \sqrt{2} F_1 [S_j (S_j + 2)]^{(1/2)} \quad (3.12)$$

La ecuación 3.4 expresa una correlación correcta de los ensayos. La mínima relación de profundidad de flujo $Y_4 = h_4 / h_1$ varía linealmente con S_j y aumenta con F_1 de la siguiente forma:

$$Y_4 = \frac{h_4}{h_1} = 1 + (S_j + 0.2) F_1^{1.28} \quad (3.13)$$

La longitud del remolino L_r aumenta con S_j y F_1-1 , y se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{L_r}{L_r^*} = 1 + \left[\frac{5}{0.05 + S_j^{-0.75}} \right] \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{3} F_1 \right) \right]^{-1} \quad (3.14)$$

Para conocer la longitud del resalto L_j , Rajaratnam propone la siguiente fórmula:

$$\frac{L_j}{h_2^*} = 6.1 + 4.9 S_j \quad (3.15)$$

De cualquier forma, los resaltos sumergidos son mucho más largos que su correspondiente resalto clásico.

La eficiencia de un resalto sumergido η puede ser mayor o menor que la del respectivo resalto clásico η^* , y dependiendo de S_j y de F_1 . De cualquier forma, como el volumen de un resalto sumergido es mucho mayor que el de un resalto clásico, éste último debería servir como base de diseño. **Para $F_1 > 5$, la eficiencia η^* del resalto clásico es siempre mayor que la del resalto sumergido.**

Rajaratnam (1965) estudió la distribución de la velocidad de un resalto sumergido, el cual asemejó como un chorro de pared debajo de un gradiente de presiones adversas.

El crecimiento de la capa límite δ_1 es independiente de S_j y se altera con F_1 , tal y como explicaban Narasimhan y Bhargava (1976) $\delta_1 = \delta_1(x/L_r)$. La descomposición

de la velocidad transversal máxima varía exclusivamente con S_j . Hasta $\frac{z}{\delta_1} = 1$, que

se encuentra fuera de la capa límite, la distribución de la velocidad puede ser representada por el chorro de pared clásico (Schwarz y Cosart, 1961).

El flujo que va hacia atrás en la superficie del remolino recibe una atención particular. Basado en los experimentos de Liu y Henry, se demostró que la similitud y la velocidad relativa de la superficie V_s/V_1 , así como la altura o la separación por zonas, solo depende de las coordenadas longitudinales $X=x/L_r$, normalizada por la longitud del remolino.

4. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Este Proyecto Fin de Carrera ha sido realizado en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena.

4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODELO FÍSICO

En la figura 21 se observa una vista general del modelo utilizado en este proyecto:



Figura 21: Imagen general del modelo utilizado.

A continuación se procede a la descripción detallada de las partes más importantes que componen el modelo físico del laboratorio.

- *Cántara de bombeo*: contiene el agua recirculada por el modelo, así como las bombas sumergidas necesarias para impulsar el agua (figura 22).

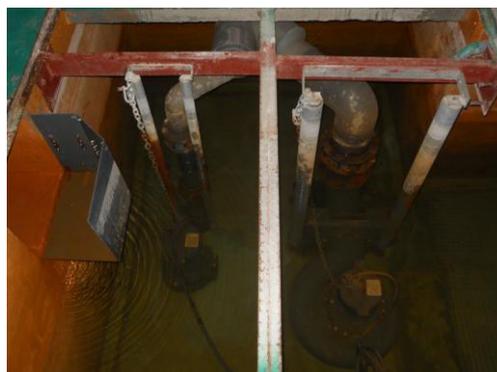


Figura 22: Detalle de la cántara de bombeo.

- *Conducciones en presión:* tuberías de PVC que conectan la cántara de bombeo con el cajón superior que hace de aliviadero. Cuentan con una válvula de mariposa que permite obtener los diferentes caudales mediante su accionamiento, (figura 23).



Figura 23: Izquierda, conducciones en presión; Derecha, detalle de la válvula de mariposa.

- *Cajón superior:* constituye el aliviadero de labio fijo y está construido en madera y acero. Dispone de elementos tranquilizadores del flujo mediante paneles verticales y un muro de grava aluvial, los cuales sirven para tranquilizar el flujo aguas arriba del aliviadero (figura 24).



Figura 24: Cajón superior que constituye el vertedero de labio fijo.

- *Cajón inferior*: constituye el cuenco de amortiguación del aliviadero. Está construido en metacrilato permitiendo observar los fenómenos producidos, (figura 25).

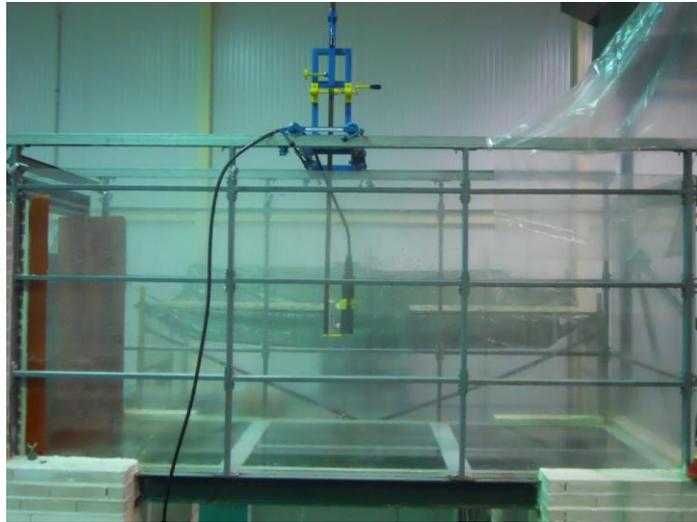


Figura 25: Cajón inferior.

El cajón está diseñado de modo que permite modificar el calado del colchón de agua mediante la colocación de diversas barreras metálicas en la zona de salida, de modo que actúan como una contrapresa en el modelo (figura 26).



Figura 26: Izquierda, detalle de una barrera; Derecha, contrapresa en la salida del cuenco de 5 barreras.

- *Soporte mecánico*: soporte de acero que permite la colocación del equipo de medición en él así como, el movimiento del equipo de medición en el interior del cajón inferior, ya sea horizontal, transversal o vertical (figura 27).



Figura 27: Soporte mecánico empleado en la toma de datos.

- *Aforo mediante vertedero triangular*: permite la medición de los caudales trasegados. El caudal se obtiene a través de la lectura del calado en un limnómetro dispuesto para tal fin. Previamente se sitúan elementos tranquilizadores del flujo para la correcta lectura del calado (figura 28).



Figura 28: Izquierda, Aforo mediante vertedero triangular; Derecha, detalle del limnómetro.

4.2. RANGO DE CAUDALES DE TRABAJO

4.2.1. AFORO MEDIANTE VERTEDERO TRIANGULAR

El vertedero triangular de pared delgada (figura 29) es uno de las estructuras más precisas para la medición de un amplio rango de caudales. Se caracterizan porque la forma de la ventana creada para el vertido del flujo es triangular. Este tipo de vertedero también es conocido como vertedero Thomson.

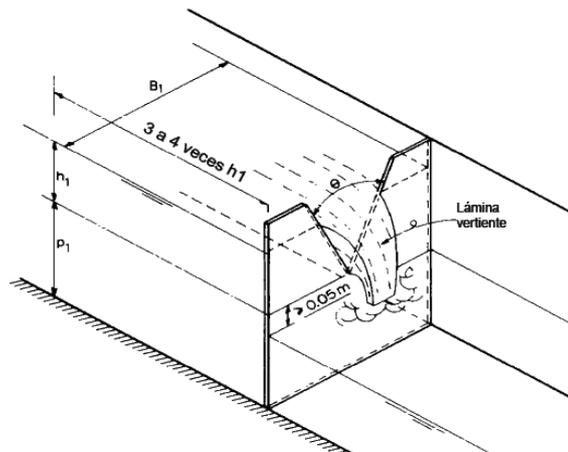


Figura 29: Vertedero triangular de pared delgada.

Los vertederos triangulares, por las características de su descarga, pueden ser de dos tipos:

- Vertedero con contracción parcial: se presenta cuando no existe una contracción completa a lo largo de los lados de la ventana del vertedero, debido a su proximidad a las paredes o al fondo del canal de aproximación.
- Vertedero con contracción completa: se presenta cuando las paredes y el fondo del canal de aproximación se hallan lo suficientemente alejadas de la ventana del vertedero, de forma tal que se produce una contracción completa del flujo al atravesar la misma.

Para cada uno de los casos indicados existen límites característicos y rangos recomendables de aplicación, (tabla 3):

Tabla 3: Límites de aplicación de vertederos triangulares (Bos, 1989).

Vertedero con contracción parcial	Vertedero con contracción completa
$h_1/p_1 \leq 1.2$	$h_1/p_1 \leq 0.4$
$h_1/B_1 \leq 0.4$	$h_1/B_1 \leq 0.2$
$p_1 \geq 10 \text{ cm}$	$p_1 \geq 45 \text{ cm}$
$B_1 \geq 60 \text{ cm}$	$B_1 \geq 90 \text{ cm}$
$5 \text{ cm} < h_1 \leq 60 \text{ cm}$	$5 \text{ cm} < h_1 \leq 38 \text{ cm}$
$\theta = 90^\circ$	$25^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$

La ecuación de descarga para vertederos triangulares de pared delgada, tanto con contracción completa como con contracción parcial, es la siguiente:

$$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot h_1^{2.5} \quad (2.1)$$

El coeficiente efectivo de descarga (C_e) depende de los parámetros h_1/p_1 , h_1/B_1 , θ .

La estimación del valor de C_e para un ángulo de escotadura $\theta = 90^\circ$ se determina mediante la Figura 30:

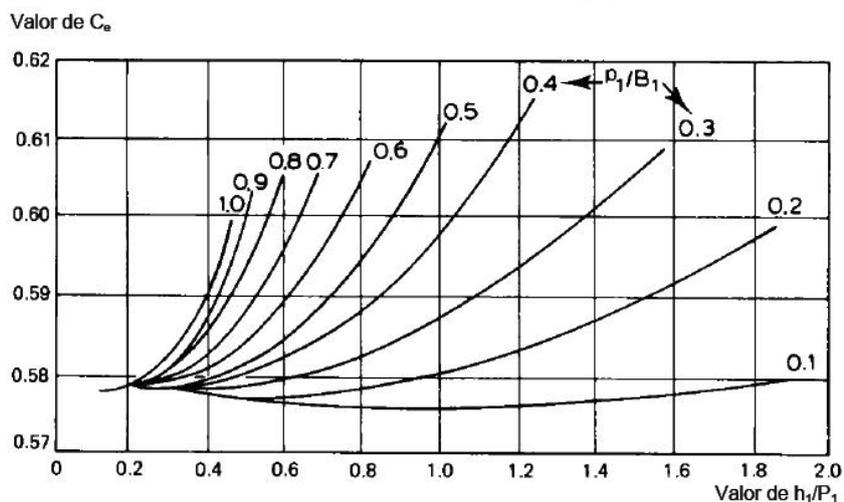


Figura 30: Valores de C_e para vertedero triangular de 90° con contracción parcial (Bos, 1989).

Kindsvater y Carter (1957) recomiendan ajustar la lectura de la altura de carga medida (h_1) de la siguiente manera:

$$h_e = h_1 + K_h \quad (2.2)$$

Donde K_h se obtiene de la gráfica de la figura 31:

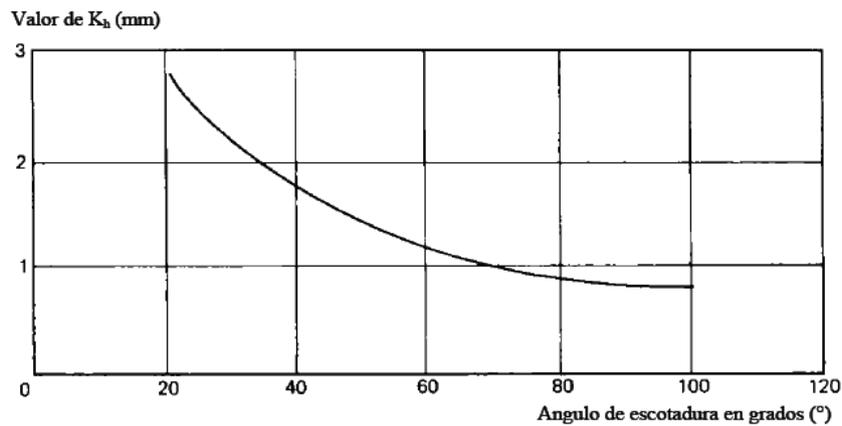


Figura 31: Valores de coeficiente de ajuste de la altura de carga (K_h).

De esta manera, la ecuación de descarga para vertederos triangulares de pared delgada, tanto con contracción completa como contracción parcial, queda de la siguiente forma:

$$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot h_e^{2.5} \quad (2.3)$$

4.2.2. Aforo mediante vertedero triangular del laboratorio

En nuestro caso, las dimensiones del aforador son las indicadas en la figura 32:

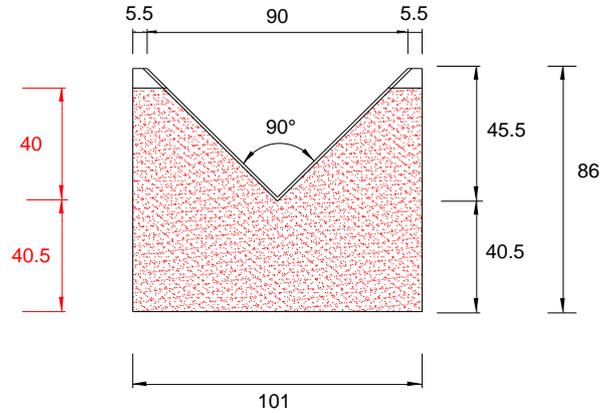


Figura 32: Esquema del aforador triangular del laboratorio.

Para $\theta = 90^\circ$, a partir de la gráfica de la figura 12, se tiene un valor de $K_h = 0.8$. Siendo los parámetros a considerar en este caso:

- $h_1 = 40$ cm
- $p_1 = 40.5$ cm
- $B_1 = 101$ cm

Con estos datos, en la tabla 4 se observa que se cumplen las condiciones correspondientes al caso de vertedero con contracción parcial.

Tabla 4: Datos geométricos del aforador modificado.

Vertedero con contracción parcial	Vertedero con contracción completa	Datos laboratorio
$h_1/p_1 \leq 1.2$ $h_1/B_1 \leq 0.4$ $p_1 \geq 10$ cm $B_1 \geq 60$ cm 5 cm $< h_1 \leq 60$ cm $\theta = 90^\circ$	$h_1/p_1 \leq 0.4$ $h_1/B_1 \leq 0.2$ $p_1 \geq 45$ cm $B_1 \geq 90$ cm 5 cm $< h_1 \leq 38$ cm $25^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$	$h_1/p_1 \in (0, 0.98)$ $h_1/B_1 \in (0, 0.39)$ $p_1 = 40$ cm $B_1 = 101$ cm $h_1 \in (0, 40)$ cm $\theta = 90^\circ$

En la tabla 5 se reflejan los resultados de caudal en función de la carga sobre vertedero obtenidos:

Tabla 5: Caudales del aforador en función de la altura de la lámina de agua.

h_1 (m)	B_1 (m)	p_1 (m)	K_h (m)	h_e (m)	p_1/B_1	h_1/p_1	C_e	Q (m ³ /sg)
0.10	1.01	0.405	0.0008	0.101	0.401	0.25	0.578	0.0044
0.11	1.01	0.405	0.0008	0.111	0.401	0.27	0.578	0.0056
0.12	1.01	0.405	0.0008	0.121	0.401	0.30	0.578	0.0069
0.13	1.01	0.405	0.0008	0.131	0.401	0.32	0.579	0.0085
0.14	1.01	0.405	0.0008	0.141	0.401	0.35	0.579	0.0102
0.15	1.01	0.405	0.0008	0.151	0.401	0.37	0.580	0.0121
0.16	1.01	0.405	0.0008	0.161	0.401	0.40	0.580	0.0142
0.17	1.01	0.405	0.0008	0.171	0.401	0.42	0.581	0.0165
0.18	1.01	0.405	0.0008	0.181	0.401	0.44	0.581	0.0191
0.19	1.01	0.405	0.0008	0.191	0.401	0.47	0.582	0.0219
0.20	1.01	0.405	0.0008	0.201	0.401	0.49	0.582	0.0248
0.21	1.01	0.405	0.0008	0.211	0.401	0.52	0.583	0.0281
0.22	1.01	0.405	0.0008	0.221	0.401	0.54	0.583	0.0315
0.23	1.01	0.405	0.0008	0.231	0.401	0.57	0.583	0.0352
0.24	1.01	0.405	0.0008	0.241	0.401	0.59	0.584	0.0392
0.25	1.01	0.405	0.0008	0.251	0.401	0.62	0.584	0.0434
0.26	1.01	0.405	0.0008	0.261	0.401	0.64	0.584	0.0479
0.27	1.01	0.405	0.0008	0.271	0.401	0.67	0.585	0.0527
0.28	1.01	0.405	0.0008	0.281	0.401	0.69	0.585	0.0577
0.29	1.01	0.405	0.0008	0.291	0.401	0.72	0.586	0.0631
0.30	1.01	0.405	0.0008	0.301	0.401	0.74	0.586	0.0687
0.31	1.01	0.405	0.0008	0.311	0.401	0.77	0.587	0.0746
0.32	1.01	0.405	0.0008	0.321	0.401	0.79	0.588	0.0809
0.33	1.01	0.405	0.0008	0.331	0.401	0.81	0.588	0.0874
0.34	1.01	0.405	0.0008	0.341	0.401	0.84	0.589	0.0943
0.35	1.01	0.405	0.0008	0.351	0.401	0.86	0.590	0.1015
0.36	1.01	0.405	0.0008	0.361	0.401	0.89	0.591	0.1091
0.37	1.01	0.405	0.0008	0.371	0.401	0.91	0.592	0.1170
0.38	1.01	0.405	0.0008	0.381	0.401	0.94	0.594	0.1255
0.39	1.01	0.405	0.0008	0.391	0.401	0.96	0.595	0.1341
0.40	1.01	0.405	0.0008	0.401	0.401	0.99	0.597	0.1434

En el presente proyecto se han considerado resaltos producidos por 6 caudales diferentes:

Tabla 6: Altura del aforador para cada caudal de trabajo.

Caudal (l/s)	Altura aforador (cm)
15.57	16.6
31.03	21.9
49.3	26.4

4.3. DESCRIPCIÓN DE LA SONDA ADV

4.3.1. Introducción

El Velocímetro Acústico Doppler (ADV) es un método de medición de velocidades instantáneas, que emplea la metodología Doppler en un único punto, obteniendo alta resolución. Las técnicas usadas por el ADV para la medición de velocidades proporcionan varias ventajas: exactitud, rapidez, medida de velocidad tridimensional en un volumen de muestreo alejado del equipo; calibración de fábrica invariable, no requiriendo ninguna calibración periódica; operación simple; cálculo directo de parámetros turbulentos tales como tensiones de Reynolds; y rendimiento excelente en flujos lentos.

De una forma general, los principios y especificaciones de funcionamiento básicas del equipo ADV son los siguientes (Sontek, 2001):

4.3.2. Método habitual biestático y transformación Doppler

El ADV mide la velocidad del agua usando un principio físico llamado efecto de Doppler- Fizeu. Si una fuente de sonido está en movimiento relativo respecto al receptor, la frecuencia del sonido en el receptor es transformada en función de la frecuencia de transmisión mediante:

$$F_{Doppler} = -F_{Fuente} (V / C) \quad (3)$$

Donde:

$F_{Doppler}$ = cambio en la frecuencia recibida (transformación Doppler)

F_{Fuente} = frecuencia de transmisión del sonido

V = velocidad de la fuente relativa al receptor

C = velocidad del sonido

La velocidad V representa la velocidad relativa entre fuente y receptor (por ejemplo, el movimiento que modifica la distancia entre los dos). El movimiento perpendicular a la línea que conecta la fuente y el receptor no introduce un cambio

de frecuencia. Si la distancia entre los dos objetos está disminuyendo, la frecuencia crece; si la distancia está aumentando, la frecuencia disminuye.

En la Figura 33 se muestra la operación del método habitual biestático Doppler, como el que emplean lo equipos ADV. El término biestático se refiere al hecho que el ADV usa transductores acústicos distintos para transmitir y para recibir. Tanto los transmisores como los receptores están contruidos para generar muestreadores de dimensiones muy reducidas. El transmisor genera sonido de modo que la mayor parte de la de energía concentrada en un cono estrecho, mientras que el receptor es muy sensible al sonido recibido desde un rango angular muy estrecho. Los transductores están montados de tal forma que la orientación de sus brazos intersecta en un volumen de agua localizado a una cierta distancia. Esta intersección de los brazos determina la ubicación del volumen de muestreo (el volumen de agua en el que se toman las medidas).

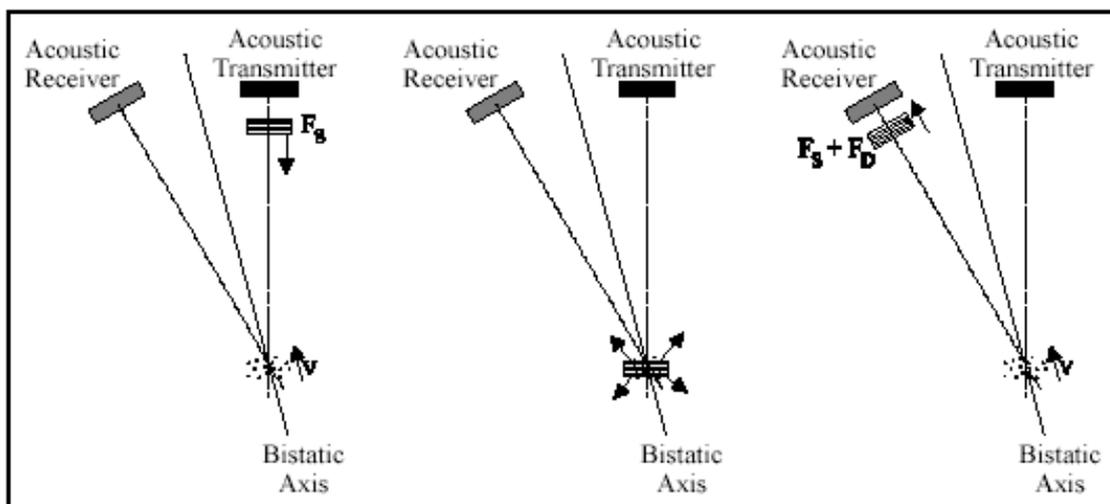


Figura 33: Operación básica de método habitual biestático Doppler (Carrillo, 2004).

El transmisor genera un pulso de sonido breve a una frecuencia conocida, que se propaga por el agua a lo largo del eje de su brazo. Cuando el pulso pasa por el volumen de muestreo, la energía acústica se refleja en todas direcciones por las partículas de materia (sedimentos, organismos pequeños, burbujas, etc.). Cierta fracción de la energía reflejada viaja a lo largo del eje del receptor, donde es recogida por el ADV, midiendo el cambio de frecuencia. La variación Doppler medida por un receptor es proporcional a la velocidad de las partículas a lo largo del eje biestático del receptor y del transmisor. El eje biestático está localizado en la bisectriz entre los eje correspondientes a los brazos del receptor y del transmisor.

La Figura 34 muestra un perfil típico de intensidad de señal frente al tiempo, para un receptor ADV. El eje horizontal muestra el tiempo después del pulso de transmisión, mientras que el eje vertical muestra la intensidad de señal rebotada medida por el receptor. Como el pulso de transmisión viaja por el agua, cierta fracción de la energía es reflejada en todas las direcciones. Inmediatamente después de lanzar el pulso de transmisión, las reflexiones que golpean el transductor receptor vienen de un ángulo fuera de su rango de sensibilidad por lo que el receptor mide sólo el nivel de ruido ambiente. Como el pulso se mueve hacia el volumen de muestreo, la señal rebotada empieza a venir de una dirección cercana a la zona sensibilidad del receptor. Así, el receptor nota un aumento en la intensidad de señal. La intensidad de señal alcanza un máximo cuando el pulso cruza el centro del brazo receptor; después, las reflexiones se mueven hacia fuera del brazo receptor y la intensidad de señal decae. El pico de la curva en forma de campana ocurre cuando las reflexiones provienen de la intersección de los brazos del receptor y el transmisor. Muestreando la señal reflejada en este momento, el ADV realiza las medidas en el volumen de muestreo definido por la intersección de los brazos transmisores y receptores.

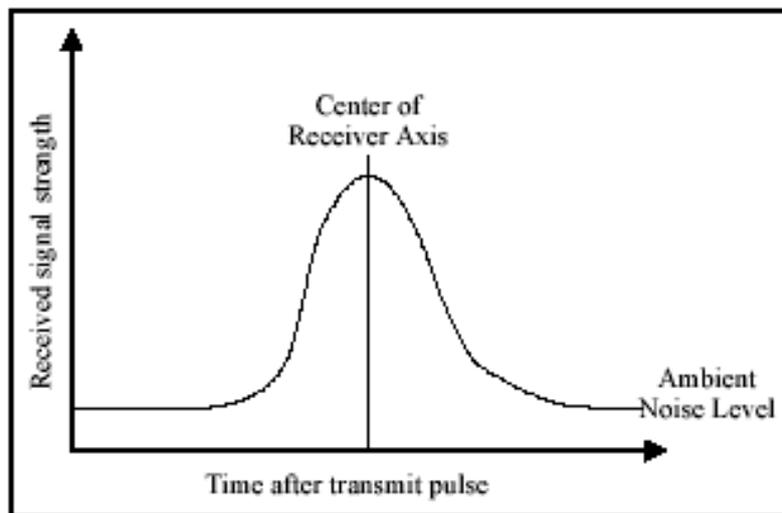


Figura 34: Perfil de intensidad de señal de ADV (Carrillo, 2004).

4.3.3. Geometría de los brazos y medida de velocidad 3D

Mediante relaciones sencillas de la relación transmisor/receptor, el equipo proyecta la velocidad del agua en su eje biestático. El ADV usa un transmisor y de dos a cuatro receptores acústicos (para sondas 2D, 3D ó Vectrino). Los receptores están alineados para intersectarse con el brazo transmisor en un mismo volumen de muestreo. El ADV, conociendo la orientación relativa de los tres ejes biestáticos, combina las medidas de velocidad de cada receptor para calcular las componentes de la velocidad del agua en el volumen de muestreo.

La figura 35 muestra la geometría de una sonda ADV 2D. Los ejes de cada receptor están inclinados 30° respecto al transmisor. El eje biestático de cada receptor está entre los ejes transmisor y receptor (inclinado 15° respecto al eje del transmisor). Los receptores están enfocados hacia un volumen localizado a 5 o 10 cm debajo del transmisor (la distancia varia con dependencia de la configuración de la sonda). Para sondas 3D, cada receptor está inclinado 30° respecto al transmisor y los receptores están girados 120° respecto al ángulo acimutal.

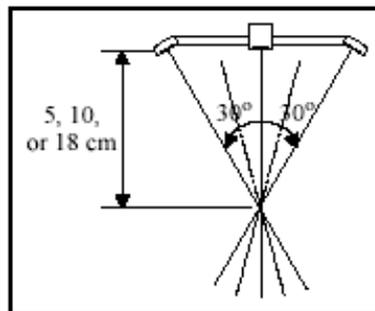


Figura 35: Geometría de la sonda de ADV 2D (Carrillo, 2004).

Para analizar los datos de velocidad de ADV, se debe comprender el efecto de la geometría de la sonda. Se define la dirección vertical como el eje del transmisor, y la dirección horizontal como perpendicular a este eje. El ADV mide las velocidades biestáticas, a lo largo de los ejes inclinados 15° respecto a los eje verticales, y las convierte a velocidades cartesianas usando la geometría de la sonda. Las velocidades biestáticas son más sensibles al movimiento vertical que al movimiento horizontal en un factor de cuatro aproximadamente ($\tan(15^\circ) = 0,27$). Así, el ruido en las medidas horizontales es 4 veces mayor que en medidas verticales, y la velocidad horizontal máxima que puede ser medida por el ADV es 4 veces mayor que la velocidad vertical máxima.

La velocidad medida por cada receptor está relacionada con la velocidad biestática, siendo la proyección del vector de velocidad de 3D en el eje biestático del receptor acústico. Las velocidades biestáticas normalmente se convierten a velocidades cartesianas (XYZ) usando la geometría de la sonda. Las velocidades cartesianas dan el campo de velocidad 3D relativo a la orientación de la sonda de ADV. Como no siempre es posible controlar la orientación del instrumento, el ADV puede equiparse con una brújula interna y un sensor de inclinación. Conocer la orientación del instrumento permite que el ADV comunique los datos de velocidad en un sistema de coordenadas de la Tierra (East-North-Up o ENU), independiente de la orientación de la sonda.

4.3.4. Definición del volumen de muestreo

El tamaño del volumen de muestreo del ADV está determinado por cuatro factores: muestreo del brazo transmisor, muestreo del brazo receptor, duración del pulso, y la ventana del receptor (período de tiempo sobre el que la señal reflejada es muestreada). La Figura 36 muestra una ilustración 2D del efecto de cada uno de estos factores.

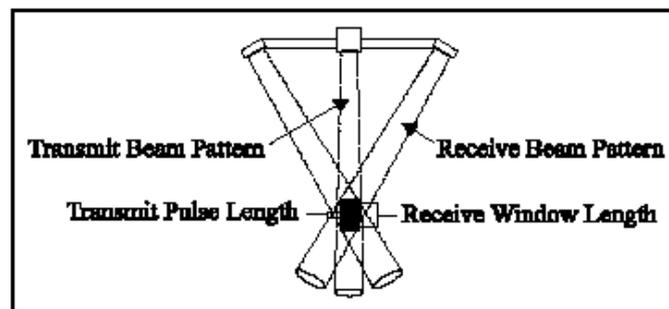


Figura 36: Definición del Volumen de muestreo ADV (Carrillo, 2004).

El volumen de muestreo del ADV no tiene límites horizontales bien definidos. Estos límites son determinados por la intersección del muestreo de los brazos transmisor y receptor. La definición precisa de la intersección de muestreo de los brazos no se obtiene fácilmente. A efectos prácticos se puede aproximar a un cilindro del tamaño del transmisor cerámico. Aunque esto es una simplificación, los resultados son bastante exactos especialmente en los límites verticales del volumen de muestreo que son normalmente los más importantes. Es importante recordar que los límites horizontales del volumen de muestreo no están definidos con precisión y que los objetos cercanos a esos límites pueden interferir potencialmente en las medidas de velocidad.

La extensión vertical del volumen de muestreo está definida por la circunvolución de la duración del pulso acústico con la ventana receptora sobre la que la señal reflejada es muestreada. Ambas están controladas por el software de ADV (dentro de los límites del ancho de banda del transductor). El volumen de muestreo para la sonda Vectrino de 10 MHz ADV tiene una altura entre 3 y 15mm, seleccionable por el usuario y, un diámetro de 6mm. Los bordes verticales del volumen de muestreo pueden ser considerado definidos para ± 0.5 mm en las sonda Vectrino de 10 MHz ADV. Como la duración del pulso y la ventana receptora son controladas por el software, la altura del volumen de muestreo puede reducirse en el software de adquisición de datos.

Es importante notar que para todas las medidas dadas por el ADV, la ubicación del volumen de muestreo está especificada como el centro vertical del volumen de muestreo.

4.3.5. Procesamiento de pulso-coherente

La descripción de la operación de ADV dada anteriormente es una simplificación del modo en que se mide la velocidad realmente. En realidad, el ADV usa una técnica llama procesamiento de pulso-coherente. En esta técnica, el instrumento envía dos pulsos de sonido separados por el tiempo final γ , se mide la fase de la señal de retorno de cada pulso. El cambio de fase dividido entre el tiempo entre pulsos es directamente proporcional a la velocidad de las partículas en el agua. El procesamiento de pulso-coherente que proporciona la mejor resolución espacio-temporal posible.

En este apartado, no se intenta proporcionar una descripción detallada de procesamiento de pulso-coherente, sino presentar una visión general enfocada en cómo afecta a la operación del ADV.

Existen varios aspectos del procesamiento de pulso-coherente que afectan a la operación del ADV. El primero es la limitación de la velocidad máxima que puede medirse. El procesamiento de pulso-coherente mide la fase de señal reflejada. La medición de fase está limitada a un rango de $[-\pi, \pi]$. Si la fase excede estos límites, se producirá un 'wrap around' (solape de frecuencias) (por ejemplo, si la fase aumenta justo por encima de π , el ADV mide una fase de $-\pi$). Esto se conoce

como un salto de ambigüedad, donde (por ejemplo) el ADV medirá una velocidad negativa antes que la verdadera, que es una mayor velocidad positiva.

La velocidad inequívoca máxima es una función del tiempo final entre los dos pulsos. El ADV ofrece al usuario la elección de varios rangos de velocidad prefijados, de los que cada uno corresponde a un tiempo final de pulso particular. Todos los cambios operacionales requeridos para los diferentes rangos de velocidad son configurados de forma automática por el ADV.

Tal como se discute en los apartados siguientes, el nivel de ruido del instrumento es directamente proporcional a la configuración del rango de velocidad (los rangos altos proporcionan un mayor ruido a la muestra). Así, siempre se debe escoger el rango de velocidad más bajo que obtenga los requisitos particulares del experimento.

El procesamiento de pulso-coherente afecta la operación de ADV en otras dos situaciones. Al realizar la medición del contorno cercano, existe un potencial en el que la reflexión de un pulso en el contorno puede interferir con el otro pulso; esto se discute más adelante. Adicionalmente, la posibilidad que tiene de ajustar el tiempo final entre los pulsos da al ADV rendimientos excelentes para aplicaciones con bajas velocidades de flujo.

4.3.6. Datos de ADV

El ADV registra con cada muestra: tres valores de velocidad (uno para cada componente), valores de intensidad de señal (uno para cada receptor), y valores de correlación (uno para cada receptor). Generalmente, los datos de velocidad son los que presentan mayor interés. La intensidad de señal y la correlación se usan para revisar la calidad de los datos y para detectar datos erróneos potenciales.

4.3.7. Velocidad

Los datos de velocidad del ADV pueden ser obtenidos en coordenadas cartesianas (XYZ) relativas a la orientación de la sonda o en las coordenadas de la Tierra (ENU) para sistemas con brújula incorporada. Por lo general, la salida de datos de velocidad del ADV puede ser usada directamente sin postprocesado. La calibración del ADV no cambia a menos que la sonda haya sido físicamente dañada.

Varios aspectos de la operación del ADV afectan a la calidad de los datos de velocidad. El más importante es la configuración del rango de velocidad. El rango de muestreo del ADV, la precisión de los datos de velocidad y el ruido generado por el instrumento se ven en los siguientes apartados.

4.3.7.1. Rango de velocidad

Uno de los parámetros más importantes del ADV es la configuración del rango de velocidad. Determina la velocidad máxima que puede ser medida por el instrumento. Las configuraciones del rango de velocidad estándares para la sonda Vectrino de 10 MHz ADV Vectrino son ± 3 , ± 10 , ± 30 , ± 100 , ± 250 y 400 cm/s. Por lo general, se debe escoger la configuración del rango de velocidad más baja que cubra la velocidad máxima esperada en un ensayo dado. El ruido generado por el instrumento en los datos de velocidad es proporcional a la configuración de rango de velocidad. De este modo, altos rangos de velocidad tienen niveles de ruido más elevados.

La configuración del rango de velocidad en un valor nominal. La máxima velocidad real depende de la dirección del flujo respecto la sonda. El ADV mide velocidades a lo largo del eje de biestático de cada receptor, por lo que las limitaciones de velocidad máximas se producen en las velocidades biestáticas. Puesto que los ejes biestáticos tiene una inclinación de 15° respecto al eje vertical de la sonda, el ADV es más sensible al flujo vertical, y tiene una velocidad máxima inferior para flujos verticales. La tabla siguiente muestra las velocidades máximas que pueden medirse en cada rango de velocidad del ADV para flujos meramente verticales o meramente horizontales.

Tabla 7: Rango de velocidades del Doppler Vectrino.

Rango de velocidad del ADV Vectrino	Máxima velocidad horizontal	Máxima velocidad vertical
±3 cm/s	±26 cm/s	±8 cm/s
±10 cm/s	±44 cm/s	±13 cm/s
±30 cm/s	±94 cm/s	±27 cm/s
±100 cm/s	±188 cm/s	±54 cm/s
±250 cm/s	±328 cm/s	±94 cm/s
±400 cm/s	±525 cm/s	±150 cm/s

Al operar en flujos altamente turbulentos, el ADV puede mostrar valores de correlación bajos que indican un aumento del ruido en las medidas de velocidad. En flujos turbulentos, el nivel de ruido puede reducirse aumentando el rango de velocidad. La magnitud de las fluctuaciones turbulentas puede aproximarse por la desviación estándar de los datos de velocidad mostrada por el software de ADV. Si éstos son 5% o más de la configuración de rango de velocidad (por ejemplo, mayor que 5 cm/s en el rango de velocidad ±100 cm/s), el rendimiento se debe mejorar cambiando al rango de velocidad mayor más próximo. Este cambio debe aumentar el coeficiente de correlación y reducir el ruido en los datos de velocidad.

4.3.7.2. Muestreo

El ADV está diseñado para medir la velocidad tan rápidamente como sea posible. Una estimación sencilla del campo de velocidad 3D se denomina *un sonido de impacto*. El ADV registra 150-250 veces por segundo el sonido de impacto (la proporción varía con la configuración del rango de velocidad). Como el ruido de impacto sencillo es demasiado alto para su uso práctico, el ADV promedia varios sonidos de impacto para reducir el nivel de ruido en cada muestra de velocidad de salida. El número de sonidos de impacto promediados es configurado al especificar el rango de muestreo. Por ejemplo, al muestrear a 25 Hz el ADV reunirá tantos sonidos de impacto como sea posible sobre un periodo de 40 ms, promediando estos valores en conjunto, y dando como salida el promedio como una muestra.

Un resultado importante del esquema de muestreo del ADV es que reduciendo el rango de muestreo disminuye el ruido en cada muestra (aumentando el número de sonidos de impacto promediados por muestra). El ruido generado por el instrumento, también denominado como ruido Doppler, es casual. Promediando

múltiples puntos convergirá hacia el valor real reduciendo este ruido. El nivel de ruido disminuye con la raíz cuadrada del número de muestras promediadas. Así, la salida de datos a 1 Hz tiene alrededor de un quinto del ruido de salida de datos a 25 Hz.

4.3.7.3. Incertidumbre a corto plazo (ruido)

Todos los sistemas Doppler tienen un ruido de medida inherente resultado del proceso físico, mediante el cual las ondas sonoras son dispersadas por las partículas del agua. El ruido Doppler es meramente casual y pueda asumirse que sigue una distribución de Gauss. Promediando puntos de datos múltiples converge al valor real.

Bajo condiciones de buen funcionamiento (por ejemplo, $SNR > 15\text{dB}$, correlación $> 70\%$), el ruido en los datos de velocidad horizontal del ADV se estima en torno al 1% del rango de velocidad cuando la salida de datos es a 25Hz. Por ejemplo, las muestras individuales a 25Hz tendrán un ruido de velocidad horizontal de cerca de $\pm 1\text{cm/s}$ usando el rango de velocidad $\pm 100\text{cm/s}$ (o alrededor de $\pm 0.3\text{cm/s}$ usando el rango de velocidad de 30cm/s). Como el ruido disminuye con la raíz cuadrada del número de sonidos de impacto promediados por muestra, las muestras individuales a 1Hz tendrán un ruido de cerca de $\pm 0.2\text{cm/s}$ usando el rango de velocidad de 100cm/s .

Las estimaciones de ruido anteriores son para velocidad horizontal. Como los ejes biestáticos de los receptores de ADV tienen una inclinación de 15° respecto al eje vertical, el ruido en las medidas de velocidad horizontal es mayor que en la componente vertical en un factor de cuatro a uno.

4.3.7.4.Exactitud

La exactitud para los datos de velocidad de ADV se refiere a la dispersión en las medidas de velocidad medias después de eliminar el ruido generado por el instrumento. Dos factores principales influyen en la exactitud de medidas de velocidad del ADV: la velocidad del sonido y la geometría de la sonda. La velocidad del sonido es un parámetro introducido por el usuario por lo que un error en la introducción de la velocidad del sonido causará errores en las medidas de velocidad pudiendo ser rectificadas en el postprocesado. La geometría de la sonda se calibra en fábrica para cada ADV, no necesitando ninguna recalibración a menos que la sonda haya sufrido daños físicos.

La exactitud de la geometría de la sonda, con la calibración de fábrica, está especificada en $\pm 1.0\%$ la velocidad medida (por ejemplo, una exactitud de ± 1.0 cm/s en una velocidad medida de 100 cm/s). Esto representa los límites del procedimiento de calibración para determinar la alineación angular del transmisor y de los receptores acústicos.

Las especificaciones de ADV manifiestan un cero máximo para la velocidad de ± 0.25 cm/s. Con metodología Doppler, no existe ningún método para configurar a cero las medidas de velocidad. Esta especificación se incluye debido a la dificultad de generar velocidades calibradas en flujos lentos.

4.3.8. Intensidad de señal

La intensidad de la señal, registrada para cada receptor ADV, es una medida de la intensidad de la señal acústica reflejada. Se registra como amplitud de la señal bruta en unidades logarítmicas internas de *cuentas*; una cuenta equivale a 0.43dB. Con el software de ADV, se puede acceder a la intensidad de señal como amplitud de la señal en cuentas o como relación de señal de ruido (SNR) en dB. La SNR se deriva de la amplitud de la señal substrayendo el nivel de ruido ambiente y convirtiendo a unidades de dB.

La función principal de los datos de intensidad de señal es verificar la existencia de partículas materiales suficientes en el agua. Si el agua está demasiado clara, la señal retornada puede no ser más fuerte que el nivel de ruido ambiente de la

electrónica. Sin intensidad de señal suficiente, el ADV no puede realizar medidas de velocidad exactas. Cuando la SNR disminuye, el ruido en las medidas de velocidad de ADV crece. Para medidas de alta resolución (por ejemplo, muestreos a 25Hz), se recomienda mantener el SNR al menos a 15 dB. Para medidas instantáneas medias (por ejemplo, muestreos a 0.5 Hz, o a una vez cada 2 segundos), el ADV puede operar con seguridad con una SNR de hasta 5 dB.

La intensidad de la señal reflejada es función de la cantidad y tipo de las sustancias materiales del agua. Los valores de intensidad de la señal pueden usarse como una medida de la concentración de sedimentos cuando el tipo de sedimento se conoce. Aunque los datos de intensidad de señal de ADV no se pueden convertir directamente a concentración de sedimentos, con la calibración apropiada pueden usarse para estimaciones de la concentración de sedimentos razonablemente exactas.

4.3.9. Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación de ADV es un parámetro de la calidad de los datos de salida, obteniendo directamente de los cálculos de velocidad Doppler. El ADV calcula tres valores de correlación, uno para cada receptor acústico, con la muestra de velocidad. La correlación se expresa como un porcentaje: la correlación perfecta indica una fiabilidad del 100%, en mediciones de velocidad con bajo ruido; la correlación 0% indica que el valor de la velocidad de salida está dominado por el ruido (no hay señal coherente). La correlación puede usarse para revisar la calidad de los datos durante la recopilación y para editar datos en la fase de postprocesado. Por ejemplo, si el ADV está siendo usado en sondas que periódicamente están fuera del agua, los valores de correlación pueden usarse para determinar que parte de los datos pueden ser usados y cuales desechos.

4.3.10. Novedades de la sonda ADV

En este Proyecto Fin de Carrera se ha utilizado una sonda de cuatro receptores acústicos denominada Vectrino (figura 37). Las principales novedades respecto a las sondas de tres receptores son:

- Sensor reducido, lo que minimiza la intrusión en la medida.
- Sensor de temperatura integrado, por lo que no es necesario medir la temperatura del agua.
- Un cuarto receptor que mejora las medidas de turbulencia, al proporcionar un valor Z redundante.
- Alta velocidad de muestreo que minimiza el ruido en la señal.
- Rango de velocidad máxima extendido.
- Registro de la configuración de la sonda en la memoria interna, lo que simplifica el intercambio de sondas.



Figura 37: Elemento sensor de la sonda ADV Vectrino.

4.4. PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL (VECTRINO PLUS)

El software de adquisición de datos en tiempo real Vectrino Plus 1.16, de Nortek AS, es un programa de entorno Windows diseñado para la toma de datos de velocidades con equipos Vectrino.

El programa se inicia en una pantalla principal, la cual se puede dividir en cuatro partes (figura 38), cada una de las cuales se procede a comentar a continuación.

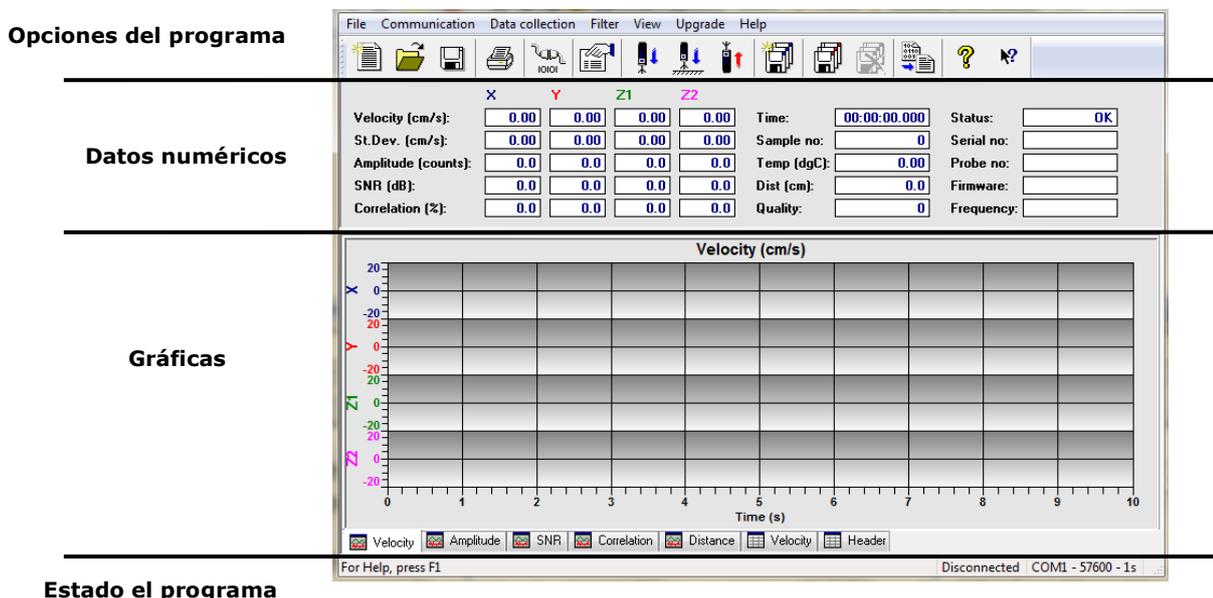


Figura 38: Pantalla principal del programa de adquisición de datos Vectrino Plus 1.16 y, localización de las partes principales.

4.4.1. Opciones del programa

Aquí se encuentran las opciones necesarias para el funcionamiento del programa. Las opciones se presentan en lista desplegable o en iconos de acceso rápido, la figura 39 muestra su ubicación para su posterior comentario.



Figura 39: Opciones del programa; arriba en listas desplegables, abajo en iconos de acceso rápido.

A continuación se explican, de izquierda a derecha, las funciones de los iconos de acceso rápido.

Crear una nueva configuración : con esta opción se crea un archivo que contiene la configuración de la sonda estándar, lo que permite que el usuario modifique la configuración para que se ajuste a un problema concreto.

Abrir una configuración existente : permite abrir una configuración anteriormente guardada en el equipo.

Guardar proyecto : guarda la configuración actual de la sonda para su posterior uso.

Imprimir : imprime la actual toma de datos junto con su configuración.

Conexión de la sonda : conecta la sonda al equipo.

Editar configuración : edita la actual configuración de la sonda. Pulsando en este icono se accede a la pantalla de configuración, (figura 40).

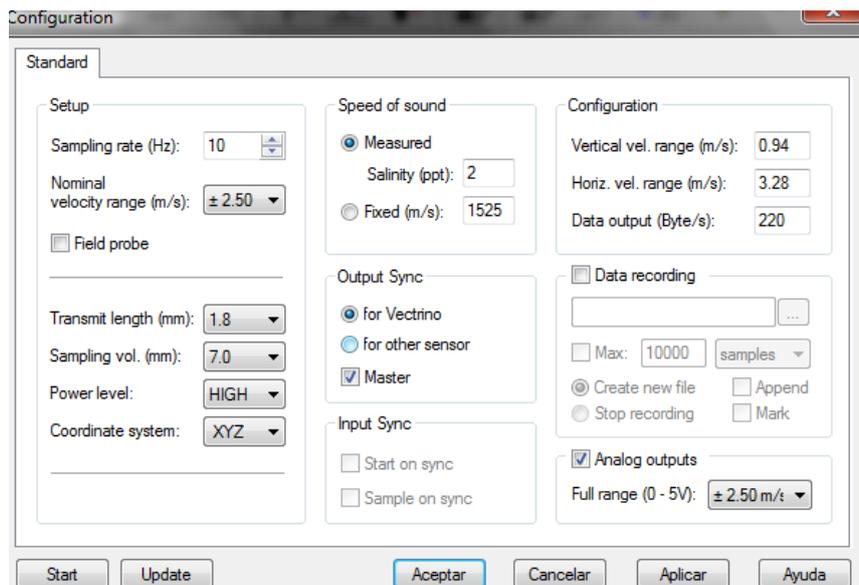


Figura 40: Pantalla de configuración de la sonda.

Aquí se exponen los parámetros de la configuración que se han modificado en el presente proyecto.

"Sampling rate (Hz)": expresa el rango de muestreo, es decir, el número de muestras tomadas por segundo. En este proyecto se fijó este parámetro en 10 Hz. De este modo unos en 250 segundos se registraron las 5000 muestras de cada medición.

"Nominal range velocity (m/s)": La incertidumbre estadística (ruido) en las medidas de velocidad de ADV es aproximadamente proporcional a la velocidad máxima que el ADV puede medir. Los fabricantes recomiendan emplear el rango de velocidad del ADV mínimo que cubra el rango de velocidades esperadas en el experimento. El rango de velocidad para la sonda Vectrino de 10 MHz ADV puede ponerse cualquiera de ± 3 , ± 10 , ± 30 , ± 100 , ± 250 ó ± 400 cm/s. Se escogió un rango de velocidades de ± 250 cm/s, con el que se cubrían todas las velocidades previsibles.

"Salinity (ppt)": indica la salinidad del agua en partes por millón. Este parámetro se utiliza para calcular la velocidad del sonido, que determina el factor de escala usado para la conversión del Doppler de las velocidades. La salinidad del agua trasegada en el modelo es de 2 ppm.

"Analog outputs": Cuando la salida analógica está activada, las cuatro componentes de la velocidad de salida envían señales de 0-5 voltios continuas en un conjunto separado de cuatro conductores, uno para cada componente de la velocidad. El rango de velocidad analógica se debe corresponder con el rango de velocidades. Este parámetro se estableció en 250 cm/s.

"Data recording": esta opción permite la creación de un archivo que contenga los datos registrados en la medición, así como guardar dicho archivo para su posterior utilización.

"Sampling vol. (mm)": aquí se puede establecer el tamaño del volumen de muestreo, que se ha establecido en 7mm por corresponder con un tamaño medio.

Las demás opciones presentes en la pantalla de configuración no se modificaron en el presente proyecto. Una vez se han completado todos los cambios comentados anteriormente, se pulsa en "aceptar" y se vuelve a la pantalla principal.



Comprobar la distancia al fondo: pulsando este icono aparece una gráfica en tiempo real que indica la distancia, en cm, que separa el emisor acústico y el fondo del cuenco de amortiguación. Puesto que la distancia entre el emisor y el volumen de muestreo es de 5 cm, para una correcta medición, la gráfica deberá indicar una distancia superior a 5 cm.



Comenzar la adquisición de datos: una vez se tiene la configuración deseada y, situada la sonda el punto deseado, se puede empezar con la adquisición de datos.



Parar la adquisición de datos: detiene la adquisición de datos cuando lo requiere el usuario.



Guardar en disco: permite guardar sucesivos archivos con la misma configuración. Se debe especificar el número de muestras que tomará el equipo, así como el nombre del archivo creado.



Conversión de datos: transforma los datos de salida que genera en programa, los cuales tienen extensión *.vna* y *.vno*, a archivos *.adv*, los cuales pueden ser abiertos por el software de visualización de datos ADV, que se comentará más adelante.



Ayuda: con este icono se accede a la ayuda del programa.

4.4.2. Pantallas de salida de datos

- Salida numérica: en esta parte de la pantalla principal, se muestran los resultados numéricos de la adquisición de datos (figura 41). Tales resultados comprenden características de la sonda junto al tiempo de muestreo, la distancia al fondo en cm a la cual se está midiendo y, un cuadro que muestra las diferentes variables medidas por el equipo: velocidad, desviación estándar, amplitud, SNR y correlación para cada componente de flujo.

	X	Y	Z1	Z2	Time:	Status:
Velocity (cm/s):	0.00	0.00	0.00	0.00	00:00:00.000	OK
St.Dev. (cm/s):	0.00	0.00	0.00	0.00	Sample no: 0	Serial no:
Amplitude (counts):	0.0	0.0	0.0	0.0	Temp (dgC): 0.00	Probe no:
SNR (dB):	0.0	0.0	0.0	0.0	Dist (cm): 0.0	Firmware:
Correlation (%):	0.0	0.0	0.0	0.0	Quality: 0	Frequency:

Figura 41: Zona de la pantalla principal de resultados numéricos.

- Salida gráfica: en esta zona se muestra mediante un histograma la evolución de las variables en el transcurso de la adquisición de datos (figura 42).

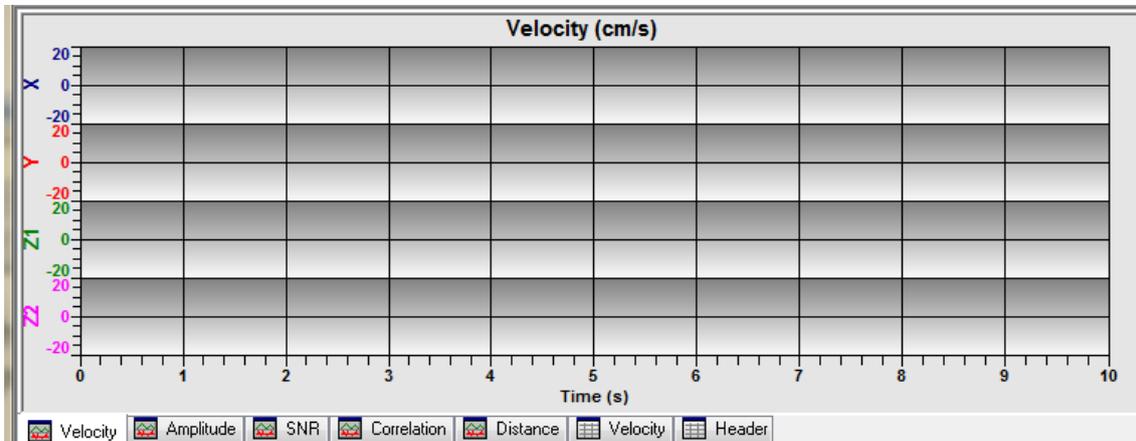


Figura 42: Zona de la pantalla principal de salida gráfica de evolución de las variables.

- Estado del programa: esta zona muestra cual es el estado de la sonda y del programa (figura 43).

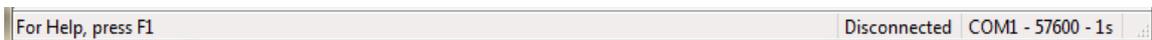


Figura 43: Barra de estado del programa.

4.5. PROGRAMA DE POSTPROCESADO (EXPLOREV PRO 1.58)

Este programa de post-procesamiento de datos proporciona un entorno que permite ver, repasar y analizar los datos registrados mediante un ADV. Además, sirve para ver de forma rápida gráficas cronológicas o histogramas de los datos registrados.

Existen tres vistas principales de los datos de ADV: serie cronológica de velocidades, serie cronológica de correlación y de SNR y estadísticos del ensayo. Las series cronológicas muestran los valores que toman las variables a las que hacen referencia para las distintas componentes de velocidad. La tabla de estadísticos resume los valores de la media, varianza, sesgo y kurtosis. La figura 44 muestra un ejemplo de la pantalla principal del programa para una serie de duración de 250s.

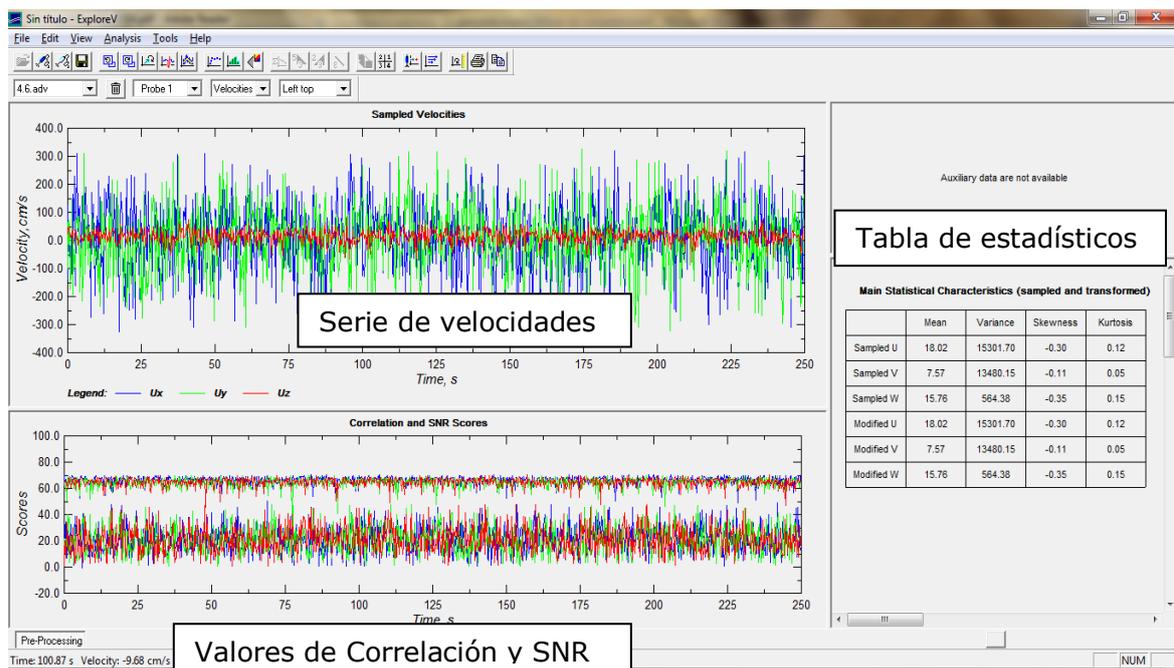


Figura 44: Pantalla de inicio del programa ExploreV Pro 1.58.

Además de mostrar los datos de un archivo ADV, ExploreV Pro sirve para comprobar e imprimir la configuración empleada en el registro de los datos. La información incluye los tipos de sondas empleados, números de serie, configuraciones de los rangos de velocidad, y medida de las distancias al volumen de muestreo y a los límites cercanos.

4.5.1. Opciones del programa

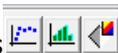
Las opciones que manejan los datos se pueden dividir en cuatro categorías:

- Opciones de muestreo para definir el rango o rangos de muestreo a analizar.
- Filtrado de los datos para excluir datos erróneos o de baja calidad.
- Opciones para definir el movimiento de una sonda móvil.
- Escala para convertir datos a un escala prototipo y realizar transformaciones de coordenada simples.

La configuración de las opciones puede guardarse en un archivo para su uso posterior con otros archivos de ADV.

Opciones del filtrando de datos : el filtrado de datos es importante en el análisis de los datos de ADV. Los resultados de intensidad de señal de ruido y correlación son buenos indicadores de posibles problemas que pueden aparecer al usar un ADV. ExploreV Pro ofrece filtros basados en sus valores, además de filtros basados en los umbrales de velocidad y de aceleración, pudiendo ser aplicados por separado o de forma combinada.

En el apartado 4.4 METODOLOGÍA DEL FILTRADO DE DATOS, se realiza una exposición más completa sobre las opciones del filtrado de datos del programa.

Opciones del procesamiento de datos : el módulo de procesamiento de ExploreV Pro opera en un archivo ADV completo, o en una ventana de muestreo individual definida por el usuario. Los ficheros pueden ser exportados a archivos ASCII, compatibles con la mayoría de las hojas de cálculo electrónicas. Las opciones de salida incluyen histogramas, espectros de frecuencia, exportación de los datos de la serie cronológica, así como el cálculo y exportación de los resúmenes estadísticos.

El programa exporta archivos en los que se puede consultar, tanto para las series filtradas como para las originales, los valores de todas las medidas realizadas en el

tiempo de muestreo: velocidad en cada eje de coordenadas, correlación, relación de señal de ruido y amplitud de cada receptor acústico respecto al transmisor.

4.5.2. Pantallas de salida gráfica del programa

El programa ofrece, en su pantalla principal, la posibilidad de visualizar los datos. La figura 26 mostraba las partes de la pantalla principal del programa que se explican a continuación.

4.5.2.1. Gráficas de la serie cronológica

En la parte superior izquierda de la pantalla, la gráfica de serie cronológica representa los datos de velocidad en los tres ejes, modificándose en caso de aplicarse algún tipo de filtrado a la serie.

Debajo de la gráfica anterior, se muestran los valores de correlación y SNR.

4.5.2.2. Tabla resumen de datos

A la derecha de la pantalla se encuentra la tabla resumen con los estadísticos de la serie de velocidad para cada eje de coordenadas. La u representa el eje horizontal X , la v representa los valores del eje transversal Y , y en la w muestra los estadísticos correspondientes al eje vertical Z .

También obtiene los valores de los estadísticos modificados, en caso de que se le haya aplicado algún tipo de filtro a la serie cronológica.

A continuación se ofrece una pequeña explicación de lo que representa el valor de cada estadístico.

- **Media:** indica el promedio de las velocidades registradas para cada uno de los tres ejes.
- **Varianza:** medida de la dispersión de los datos.

- Sesgo: indicador de distribuciones no simétricas. Un sesgo de cero indica una distribución simétrica respecto 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.
- Kurtosis: estudia la mayor o menos concentración de frecuencia alrededor de la media. Caracteriza la angulosidad o allanamiento relativo de una distribución, comparada con la distribución normal.

4.6. CAMPAÑA DE MUESTREO

La campaña de muestreo consistió en la toma de datos de velocidades instantáneas con equipo ADV, en distintas secciones y calados del cuenco de amortiguación de un modelo de aliviadero de vertido libre por coronación.

Los registros se realizaron con una frecuencia de 10 Hz, obteniéndose 5000 datos por punto de muestreo. De este modo se midió la velocidad del flujo generada por distintos caudales en diferentes colchones de agua, Y. Se analizaron un total de seis colchones de agua mediante el apilado de sucesivas barreras metálicas al final del cuenco. Analizando un total de seis colchones de agua. La figura 45 muestra un ejemplo de cómo se colocaron las barreras para la creación de los colchones.

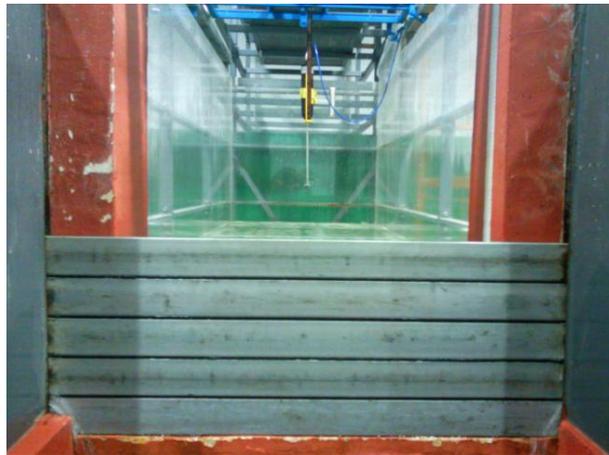


Figura 45: Ejemplo de colocación de 5 barreras.

Para la correcta caracterización de la velocidad del flujo en el cuenco de disipación, se dividió éste en secciones transversales, espaciadas cada 10cm, tomando como sección de referencia la zona de impacto del chorro sin ninguna barrera (línea azul claro en la figura 46). Para cada colchón se midieron secciones hasta notar la influencia de la contrapresa en el flujo.

Impacto del chorro X=0 X=10 X=20 X=30 X=40 X=50

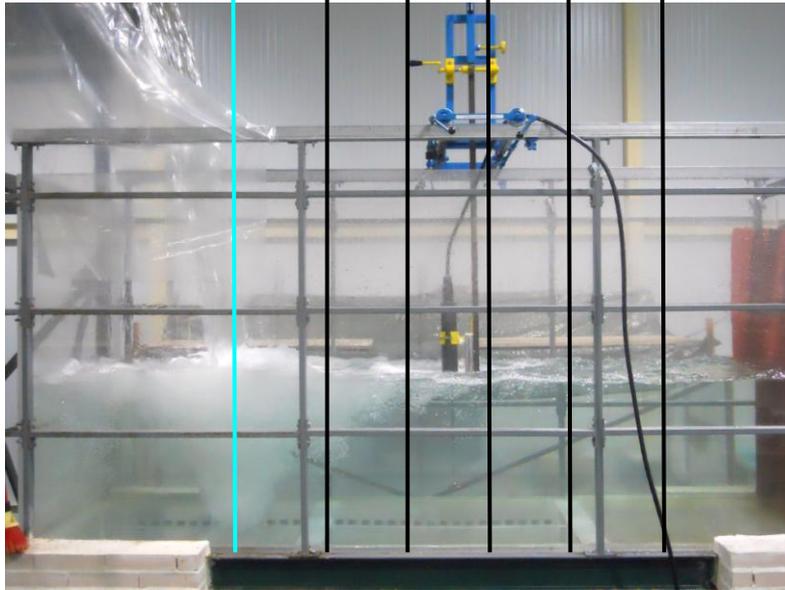


Figura 46: Distribución de las secciones estudiadas (negro) a partir del punto de impacto del chorro (rojo).

Una vez establecidas las secciones de estudio (líneas negras en la figura 46), se midió con el equipo ADV la velocidad del flujo a distintos calados de cada sección para posteriormente poder dibujar los perfiles de velocidades. En la figura 47 se observa un ejemplo de un perfil de velocidad de flujo horizontal frente al tanto por ciento de calado.

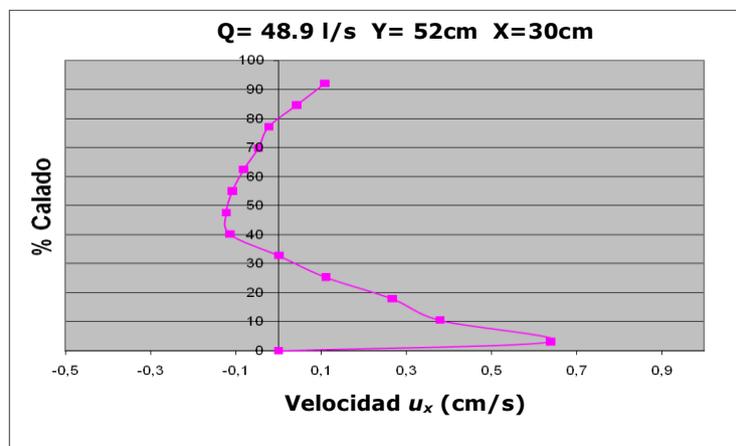


Figura 47: Perfil de velocidad horizontal, tomada a 30cm de la sección de referencia con caudal de 48.9l/s y un colchón de 52 cm.

La separación vertical entre los puntos depende del calado del colchón. Para los colchones generados por 5 y 6 barreras, se han realizado mediciones cada 4 cm. Para los colchones obtenidos con 3 y 4 barreras, se han registrado velocidades cada 3 cm. Para los colchones generados por 1 y 2 barreras, se ha medido cada 1.6 cm.

5. FILTRADO DE DATOS

5.1. PROBLEMÁTICA DE LA SONDA (Doppler ADV)

La medición de velocidades instantáneas mediante instrumentación Doppler ADV, es de gran ayuda en hidráulica a la hora de caracterizar el flujo, ya sea en laboratorio o en el campo (ríos, canales, estructuras hidráulicas, etc.).

Es muy fiable en flujos unifásicos sin presencia de aire, puesto que el agua constituye el elemento fundamental de transmisión de la señal.

Sin embargo, para el caso de flujos bifásicos (agua-aire), las señales suelen estar afectadas, en mayor o menor grado, por la presencia de burbujas de aire que se interponen en la recepción de datos, y que provocan la aparición de datos erróneos denominados "*spikes*".

En la medición de velocidades instantáneas, suelen ocurrir fenómenos que interfieren y alteran las señales de muestreo, que se deben fundamentalmente a tres causas:

- *Ruido blanco*, señales parásitas muy complicadas de detectar y eliminar. *Hunther y Lemín (2006)* propusieron emplear un ADV de cuatro receptores (figura 48), de modo que gracias a la información redundante que se obtiene en una de las componentes de velocidad, se pueden detectar y eliminar por medio de diferentes procedimientos de filtrado.

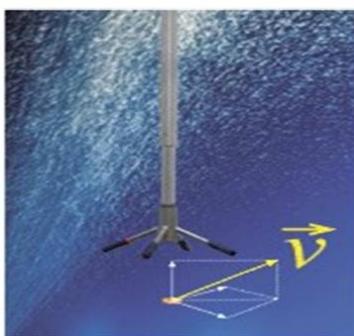


Figura 48: Sonda ADV de cuatro receptores.

- *Flujos con alta intensidad de turbulencia y aireados*, que evidencian su afección con la presencia de spikes puntuales aleatorios claramente realzados, figura 49.

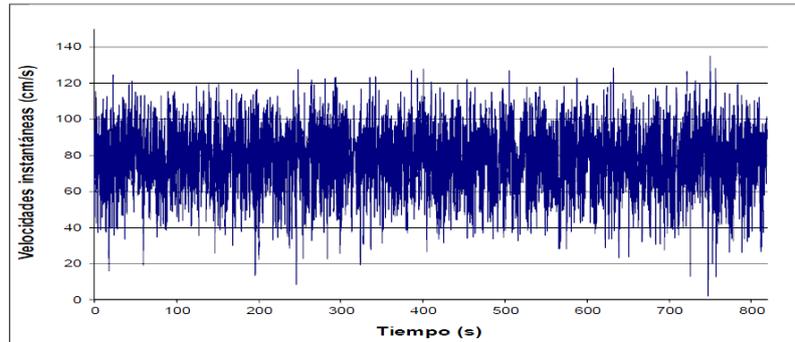


Figura 49: Registro base o casi limpio obtenido en un resalto hidráulico. Afectado principalmente por la alta turbulencia y la presencia de aire (Molina Miñano, 2010).

- *Ambigüedades por diferencia de fase*, se producen cuando la velocidad real excede el límite superior del rango de velocidad calibrado en el equipo; así, tienen lugar múltiples spikes continuados que invalidan el registro, figura 50.

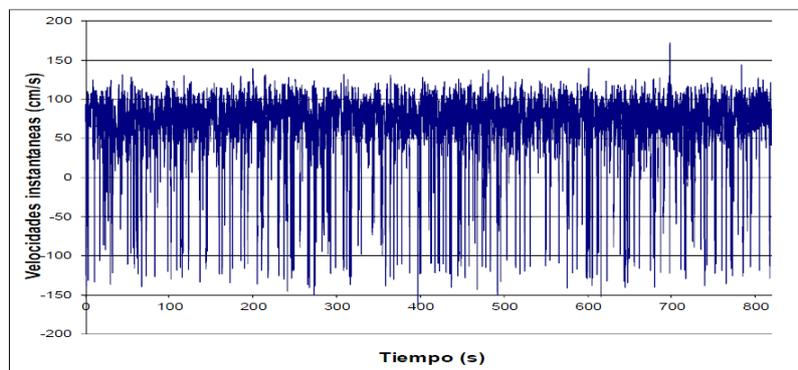


Figura 50: Registro patológico obtenido en un resalto hidráulico. Afectado principalmente por el fenómeno de ambigüedad por diferencia de fase (Molina Miñano, 2010).

Aunque los spikes en algunos casos pueden ser reducidos y/o eliminados por el ajuste de los parámetros del equipo de medida, existen situaciones en las que no pueden ser totalmente evitados.

El resalto hidráulico es un caso específico de interés que permite estudiar este fenómeno, debido a sus características particulares: alta intensidad de turbulencia con entrada de aire, fuerte disipación de energía y mezcla, levantamiento brusco de la superficie libre y generación de ondas y espray.

De ahí la necesidad de elaborar métodos de filtrado de datos que permitan depurar las patologías presentes en este tipo de flujos.

La instrumentación Doppler ADV no suele utilizarse en flujos altamente turbulentos y aireados, debido a las limitaciones que presenta el equipo y manifestadas por las anomalías descritas.

En esta situación, junto con la necesidad de contar con un equipo robusto y económico frente al alto presupuesto necesario para la adquisición de una sonda láser, la sonda ADV junto a la aplicación de un correcto filtrado de datos constituye una solución técnica y económica (Molina Miñano, 2010).

Por consiguiente, se detalla el proceso y elaboración del filtrado de datos empleado en este proyecto.

5.2. PASOS DEL FILTRADO DE DATOS

Los procedimientos en el tratamiento de datos involucran dos pasos fundamentalmente:

- **Detección**

El primer paso implica la elección de criterios de detección de spikes. Para ello se emplean parámetros físicos y/o estadísticos correctamente justificados (*Apartado 5.3, Métodos de filtrado de datos*) que llamaremos umbrales. Algunos de los criterios pueden ser: cortes de percentiles y/o estadísticos, umbral de velocidad, umbral de aceleración, etc.

La detección debe ser selectiva y crítica, pues no debe alterar significativamente la serie de datos original.

- **Reemplazo**

El reemplazo es de vital importancia si se pretende conservar la serie de datos completa para su posterior tratamiento (descomposición frecuencial, etc.). En este proyecto se ha tomado como sistema de reemplazo de datos, el de sustitución por la media de los datos anterior y posterior al spike a reemplazar.

5.3. MÉTODOS DE FILTRADO DE DATOS

5.3.1. Método del umbral de aceleración y velocidad, ATM (Goring y Nikora, 2000)

El método del umbral de aceleración y velocidad (ATM) es un método de detección y reemplazo en dos fases: una para aceleraciones negativas y la otra para aceleraciones positivas. En cada fase, se repetirá el procedimiento hasta que no vuelvan a detectarse nuevos spikes o dicho de otra forma, hasta que todos los datos cumplan el criterio de aceleración y velocidad establecido.

Un registro se desecha cuando la aceleración excede el umbral $\lambda_a g$ y la desviación absoluta de la velocidad media excede el valor $k\sigma$; donde λ_a es el umbral de aceleración relativa, g es la aceleración de la gravedad, k un factor a determinar y σ es la desviación estándar.

El procedimiento se muestra a continuación citando los pasos en cada fase:

- Primera fase:

Calcular la aceleración a partir de:

$$a_i = (u_i - u_{i-1}) / \Delta t \quad (4.1)$$

Donde u_i y u_{i+1} son las velocidades medidas en el tiempo i e $i+1$ respectivamente. Y Δt el intervalo de muestreo.

Identificar aquellos puntos (spikes) donde $a_i < -\lambda_a g$ y $u_i < -k\sigma$ y reemplazarlos.

- Segunda fase

Calcular la aceleración como en la primera fase.

Identificar aquellos puntos donde $a_i > -\lambda_a g$ y $u_i > -k\sigma$ y reemplazarlos.

Goring y Nikora (2002) indican que una buena elección de los parámetros es:

$$\lambda_a = 1-1.5 \text{ y } k = 1.5.$$

Castillo y Molina Miñano (2010), tras analizar numerosos registros tomados en resaltos hidráulicos llegaron a la conclusión de que una buena elección de los parámetros para este tipo de flujos es:

$$\lambda_{aj} = Fr_j \sqrt{y_j} / (\Delta t \sqrt{g}) \text{ y } k=2.5.$$

donde el intervalo de muestreo es Δt . El valor de y_j es y_{dj} cuando la dirección del flujo es hacia aguas abajo y, toma el valor de y_{uj} cuando la dirección es hacia aguas arriba (figura 51).

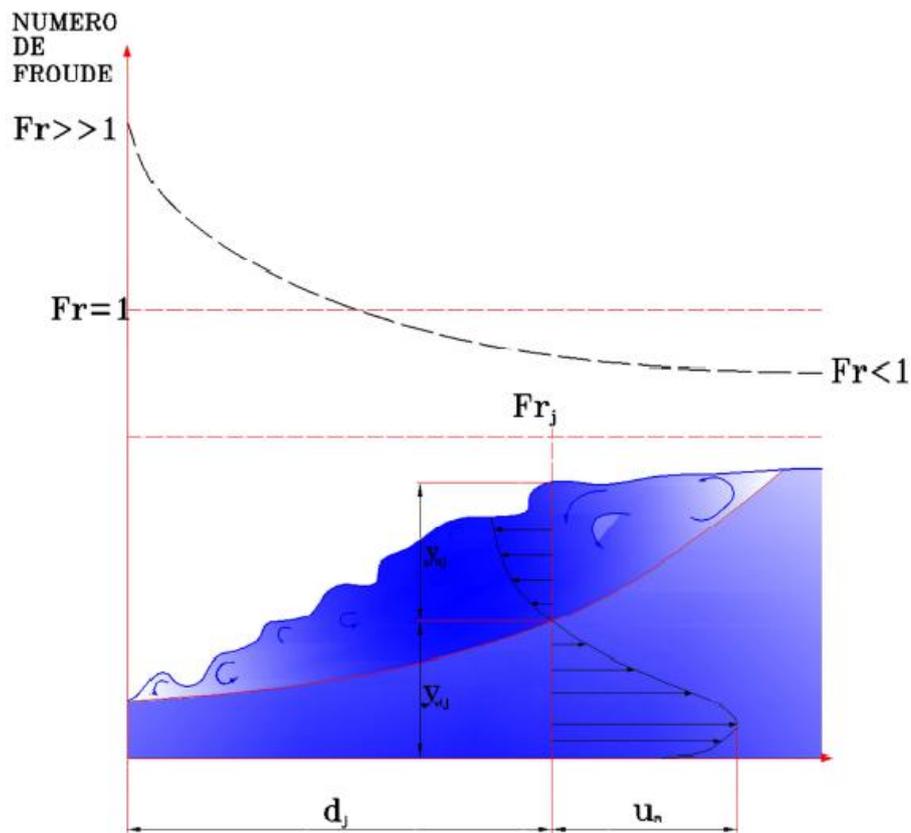


Figura 51: Variación del número de Froude y definición de los parámetros en un resalto hidráulico (Molina Miñano, 2010).

5.3.2. Método del umbral de correlación

El coeficiente de correlación de ADV es un parámetro de calidad de los datos de salida directa con los cálculos de velocidad Doppler. El ADV calcula tres valores de correlación, uno para cada receptor acústico, con una muestra de velocidad. La correlación se expresa como un porcentaje. La correlación perfecta indica una fiabilidad del 100%, en mediciones de velocidad con bajo ruido. La correlación 0% indica que el valor de velocidad de salida está dominado por el ruido (no hay señal coherente).

La correlación puede usarse para revisar la calidad de los datos durante la recopilación y para filtrar los datos en la fase postprocesado. Por ejemplo, si el ADV está siendo usado en sondas que periódicamente está fuera del agua, los valores de correlación pueden usarse para determinar que parte de los datos pueden ser usados y cuales desechados.

Idealmente, los valores de correlación deben estar entre 70 y 100%. Los valores por debajo del 70% indican que el ADV está operando en un régimen de medida difícil, la sonda está fuera del agua, la SNR es demasiado bajo, o que puede pasarle algo al ADV. En ciertos entornos (flujos altamente turbulentos, agua altamente aireada), puede no ser posible lograr altos valores de correlación. Los valores de correlación bajos afectarán la variabilidad a corto plazo en los datos de velocidad (por ejemplo, aumento del ruido), pero no predisponen las mediciones de velocidad media. Para mediciones de velocidad media, se pueden usar valores de hasta el 30%.

5.4. METODOLOGÍA DEL FILTRADO DE DATOS, programa ExploreV Pro

En este apartado se hace una descripción de las opciones del programa ExploreV Pro implicadas en el filtrado de datos. Así mismo, se realiza un resumen en el que se expone el procedimiento seguido para la elección de los parámetros de filtrado, a saber: índice de correlación y umbrales de velocidad y aceleración.

5.4.1. Pantalla del filtrado de datos

Se accede a ella por medio del botón , o bien mediante la lista desplegable, "editar"→"editar series temporales".

La pantalla se divide en dos partes, una dedicada al tratamiento que deben recibir los spikes y la otra dedicada a los parámetros del filtrado.

Las opciones de tratamiento a los spikes son dos:

- Eliminar los spikes de la serie temporal, con esta opción se eliminan todos los datos que no superen el filtrado. Esta opción se ha utilizado para contabilizar el número de spikes detectados por cada configuración de filtrado. El número de spikes detectados es igual al número total de datos de la serie menos el número de datos de la serie filtrada. En el apartado 4.2 Resultados del Filtrado aparecen los spikes obtenidos al filtrar, por cada parámetro.
- Sustitución del spike, reemplaza el dato erróneo por una interpolación lineal entre el dato inmediatamente anterior y el inmediatamente posterior al spike. Con esta opción no se elimina ningún dato, lo que permite observar cómo afecta a la serie de datos completa el filtrado con un determinado parámetro. Las serie de velocidades que se muestran en el apartado 4.2 Resultados del Filtrado, están sometidas a esta opción.

La zona de los métodos de filtrado, permite elegir uno o varios de los métodos de filtrado expuestos anteriormente, así como la elección de los parámetros del filtrado idóneos. La figura 52 muestra la pantalla de filtrado de datos.

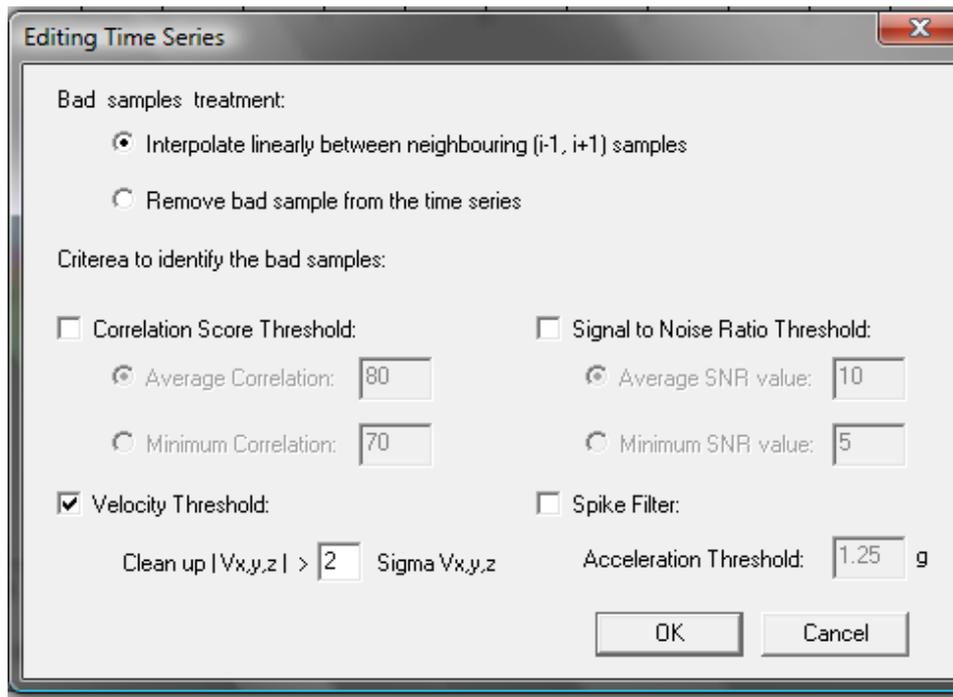


Figura 52: Pantalla de filtrado de datos

Para realizar el filtrado, basta con seleccionar los métodos e indicar los parámetros propios de cada método, una vez hecho esto, se pincha en "ok" y el programa realiza automáticamente el filtrado, mostrando en la pantalla principal, las series temporales filtradas y los nuevos valores de los estadísticos.

5.4.2. Resultados del filtrado

En este apartado se analizan tres series de datos con distintas intensidades de turbulencia mediante el estudio comparativo de los valores establecidos por *Gorin y Nikora (2002)* y por *Molina Miñano (2010)*, con el que se pretende establecer un valor idóneo para los parámetros de correlación, umbral de velocidad y umbral de aceleración para mediciones realizadas en el seno de un cuenco de disipación para el posterior filtrado de la campaña de mediciones.

El objeto del estudio fue comparar la forma de las gráficas, los resultados de desviación estándar y el número de spikes que obtienen las distintas configuraciones de filtrado en tres series de velocidades horizontales, afectadas en distinto grado por la turbulencia.

A continuación se muestran los resultados del estudio de filtrado de datos. Los resultados se exponen divididos por series en función del grado de turbulencia y,

por autores según los distintos parámetros de los métodos de filtrado. Seguidamente se muestran las series gráficas, para su comparación visual. Finalmente se expone un resumen con las conclusiones del estudio de filtrado de datos.

Para un mejor entendimiento, a continuación se han graficado todas las series de velocidades empleadas en esta comparativa. Primero se grafica la serie sin filtrar y, a continuación las series filtradas por cada método. Con el fin de tener una mejor visualización, se han añadido a las gráficas de filtrado unos límites aproximados (líneas rojas) que indican los rangos, fuera de los caudales el método de filtrado debería eliminar los datos. Así mismo, no se exponen todas las series al completo, sino sólo los 500 primeros datos de cada serie, lo que permite visualizar mejor las variaciones en la gráfica de la velocidad dentro de la serie.

- **Filtrado de la serie con turbulencia baja**

Se considera la serie de datos obtenida a 3cm del fondo y 70cm des punto de impacto directo, con un caudal de 49 l/s y un colchón de 44cm.

La gráfica 55 muestra el perfil de velocidades horizontales y verticales en la sección donde se haya el punto a analizar.

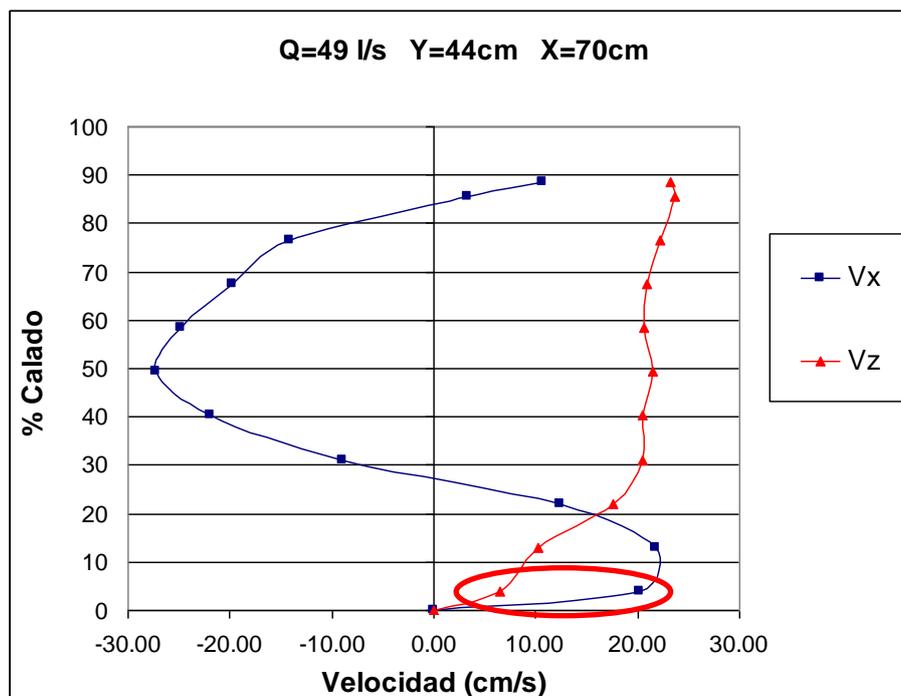


Figura 53: Localización del punto de filtrado con turbulencia baja.

Tabla 8: Resultados del filtrado de la serie casi limpia

	Umbral de velocidad k	Umbral de aceleración λ	Coef. Cor %	Velocidad (cm/s)	Desv. Típica	Nº Spikes	% datos originales
Serie Original	-	-	-	23.9	32.2	0	100
Goring y Nikora	1.5	1.25	-	22.2	17.7	631	87.3
	-	2	-	20.7	39.1	803	83.9
	-	-	40	19.5	14.9	3578	28.4
	2	-	-	19.3	14.7	685	86.3
	2.5	-	-	22.6	19.9	306	93.8

En la tabla anterior se aprecia que los valores de umbral de velocidad y aceleración establecidos por Gorin y Nikkora no funcionan bien para series con poca turbulencia, ya que proporcionan valores medios de desviación bajos y, además considera que más del 10% de la serie original son spikes, con lo que la serie queda mermada.

El filtrado con los valores de correlación proporciona los valores más bajos de desviación. Sin embargo obtiene un elevado número de spikes, por lo que la serie original queda muy reducida en cuanto al número de datos.

El filtrado con el umbral de aceleración obtiene valores medios de desviación, pero elimina más de un 10% de datos de la serie original, por lo que desvirtúa la serie.

Se observa que el filtrado con el umbral de velocidad $k=2.5$ es el que mejor resultados obtiene, puesto que aunque presenta un valor de desviación típica superior al resto, es el que menos desvirtúa la serie original, eliminando sólo los datos anómalos (ver figura 54c).

A continuación se exponen los resultados gráficos de los filtrados de datos con los diferentes parámetros considerados en la serie con turbulencia baja (figura 54a y 54b).

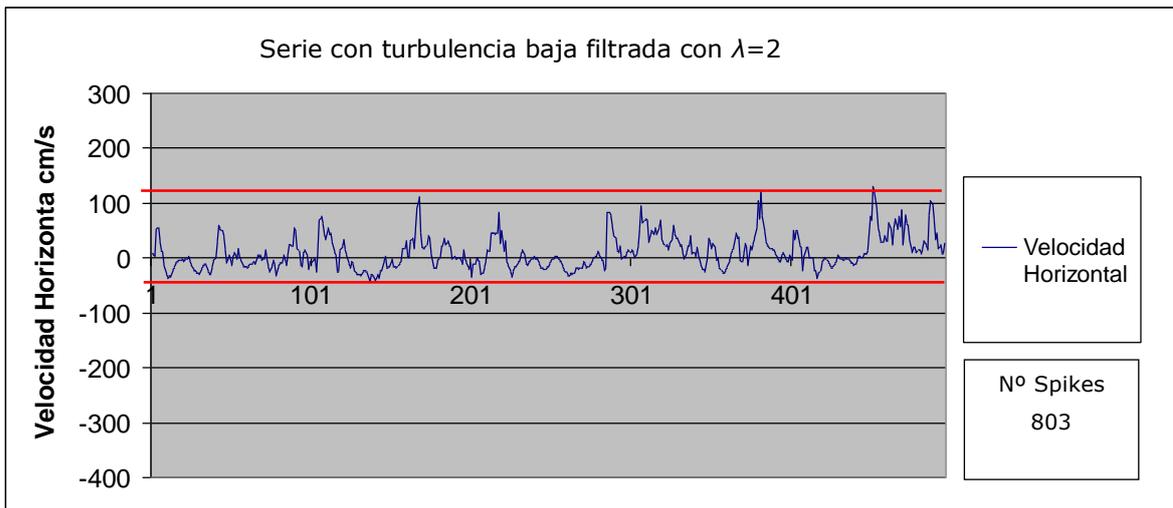
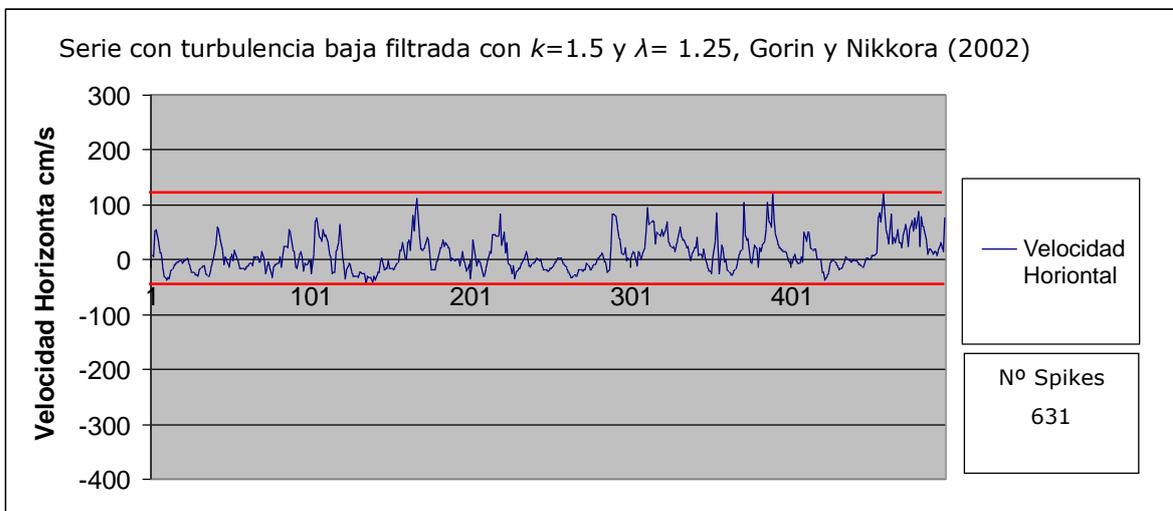
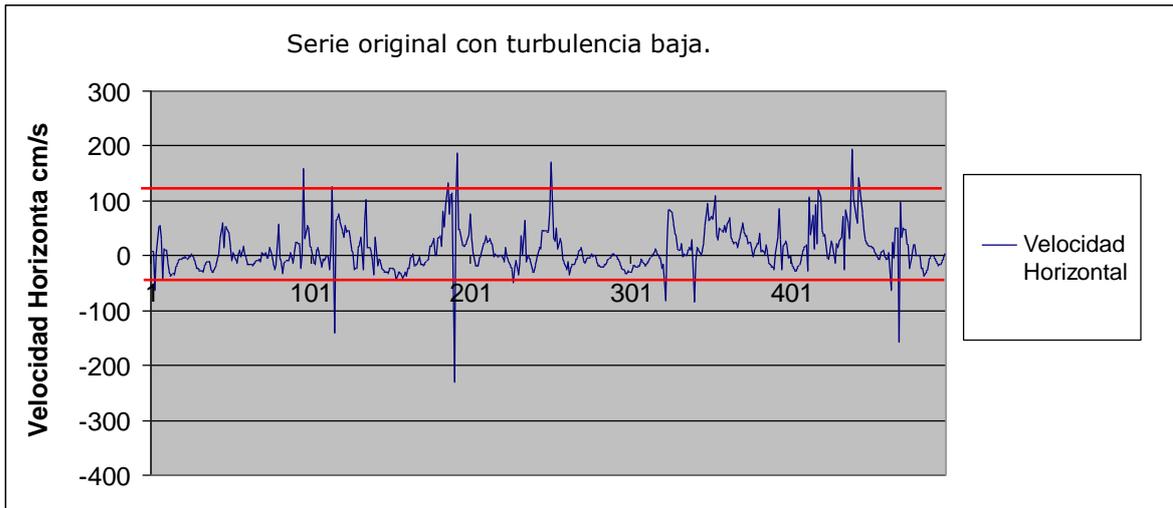


Figura 54a: Resultados gráficos del filtrado serie con turbulencia baja.

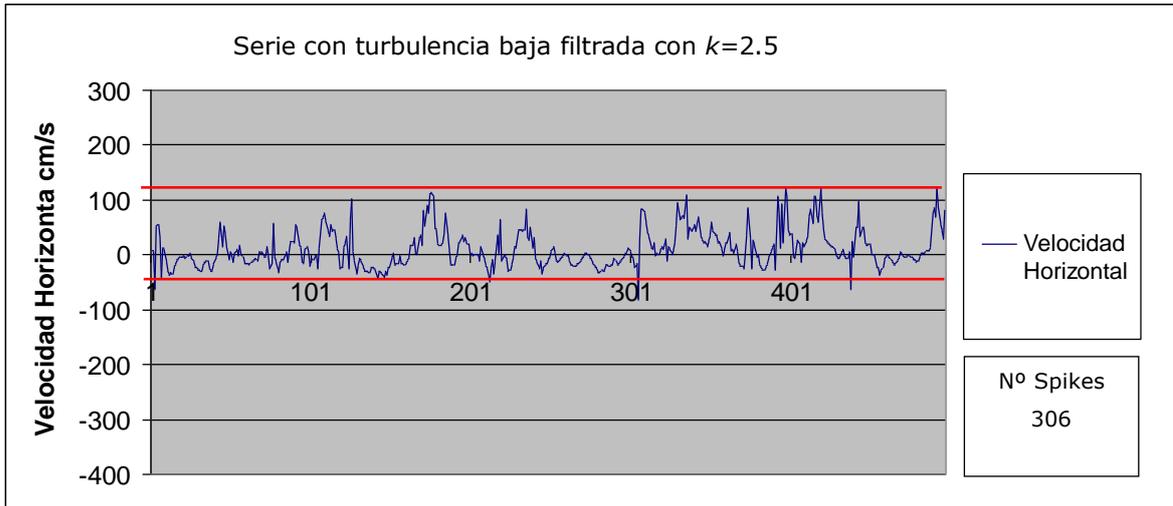
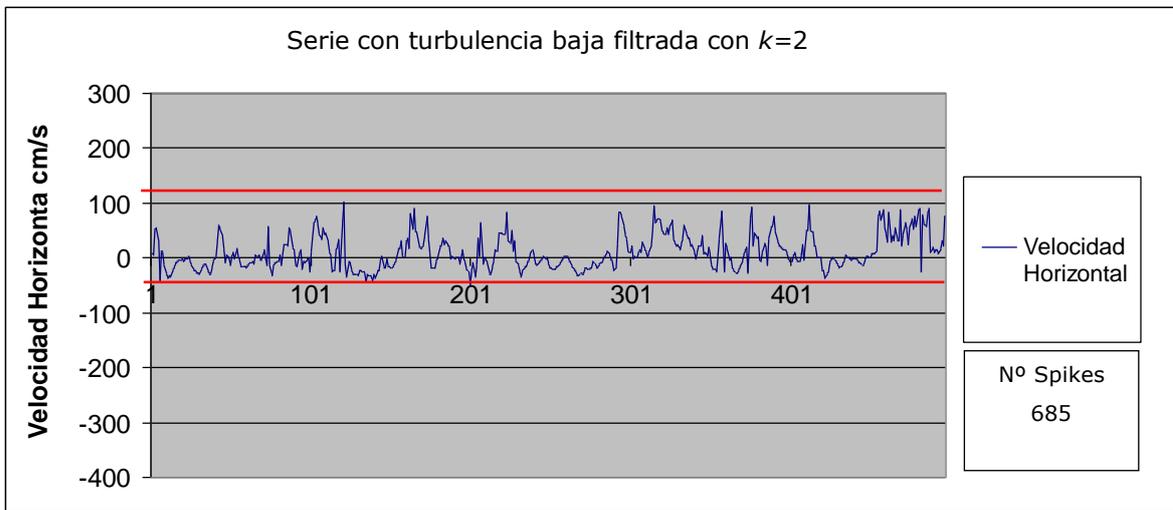
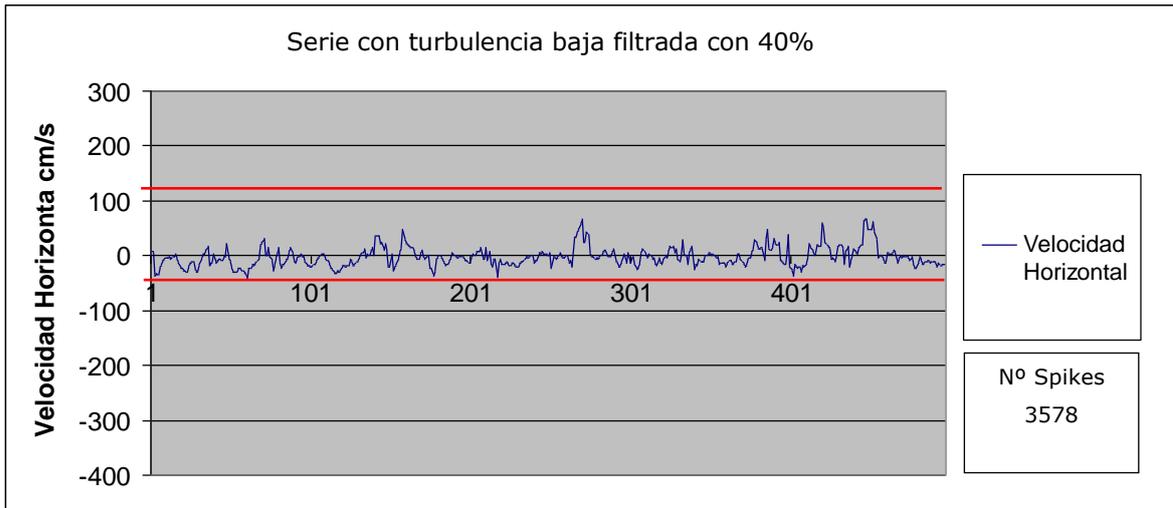


Figura 54b: Resultados gráficos del filtrado serie con turbulencia baja.

- **Filtrado de serie con turbulencia media**

Se considera la serie muestreada a 40cm del punto de impacto y a 33cm del fondo, obtenida con un caudal de 15.57l/s y un colchón de 55cm.

En la figura 55 se muestra la localización del punto de filtrado con turbulencia media, dentro del perfil de velocidades horizontales que se tiene en la sección del punto estudiado.

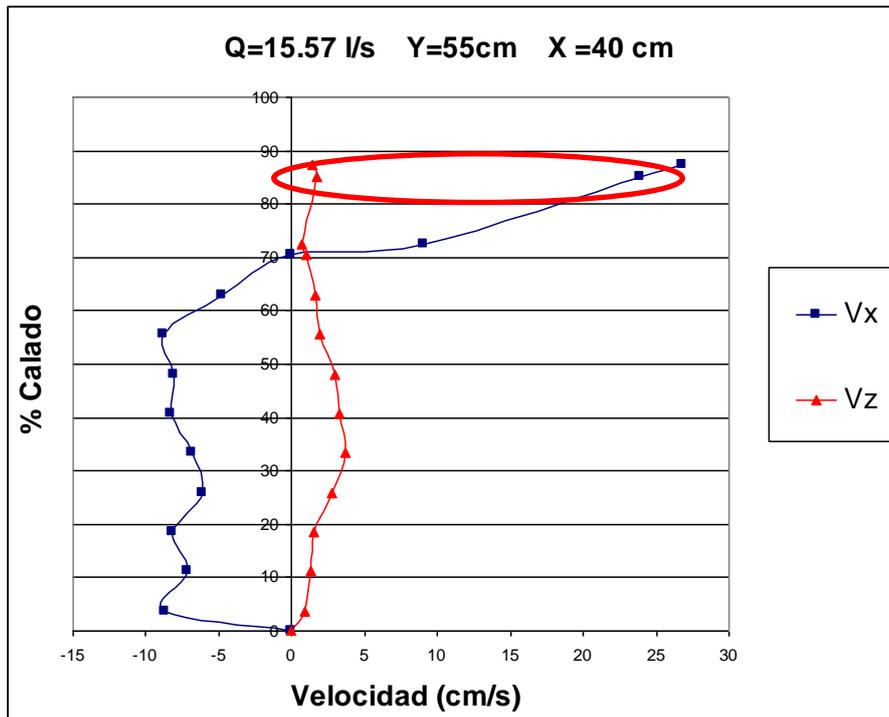


Figura 55: Localización del punto de filtrado con turbulencia baja.

Tabla 9: Resultados del filtrado de la serie con turbulencia media.

	Umbral de velocidad k	Umbral de aceleración λ	Coef. Cor %	Velocidad (cm/s)	Desv. Típica	Nº Spikes	% datos originales
Serie Original	-	-	-	23.9	32	0	100
Goring y Nikora	1.5	1.25	-	21.6	24	684	86.3
	-	2	-	25.7	30	790	84.2
	-	-	40	19.3	33.9	615	87.7
	2	-	-	19.1	34.5	962	80.7
	2.5	-	-	23.1	22	313	93.8

La tabla 9 muestra que el método de Gorin y Nikkora, al igual que sucede en la serie con poca turbulencia, desvirtúa en exceso la serie.

Al igual que ocurre en la serie con turbulencia baja, el filtrado con los valores de correlación proporciona los valores más bajos de desviación, aunque también obtiene el mayor número de spikes.

El filtrado con el valor de umbral de aceleración, obtiene los mayores valores de desviación pero, al igual que en el caso anterior, considera que más del 10% de la serie original son datos anómalos.

Se observa que el filtrado con el umbral de velocidad $k=2.5$ es el que mejor resultado obtiene, puesto que aunque presenta un valor de desviación típica medio para esta serie, es el que menos desvirtúa la serie original (figura 56c).

A continuación se exponen los resultados gráficos de los filtrados de datos con los diferentes parámetros de la serie con turbulencia media (figura 56a 56b y 56c).

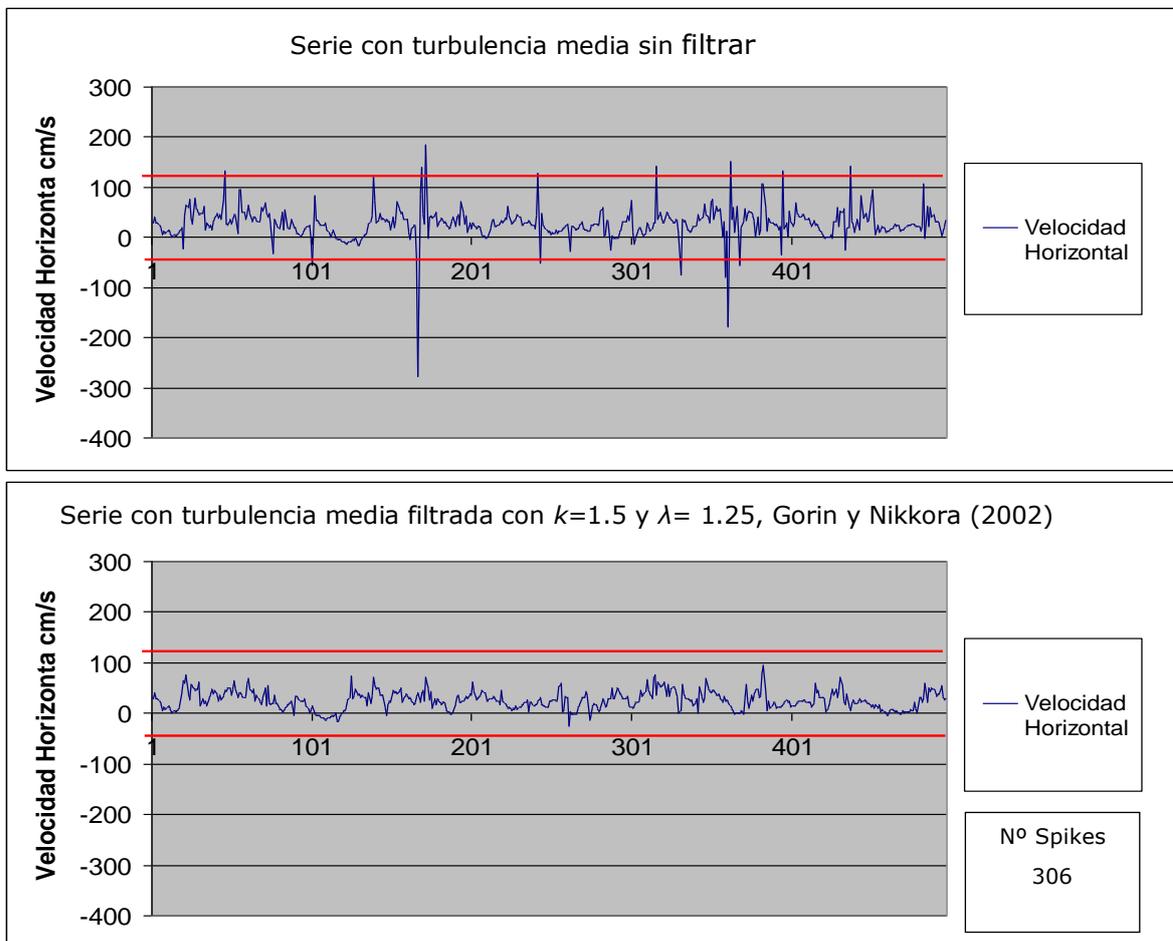


Figura 56a: Resultados gráficos del filtrado de la serie con turbulencia media.

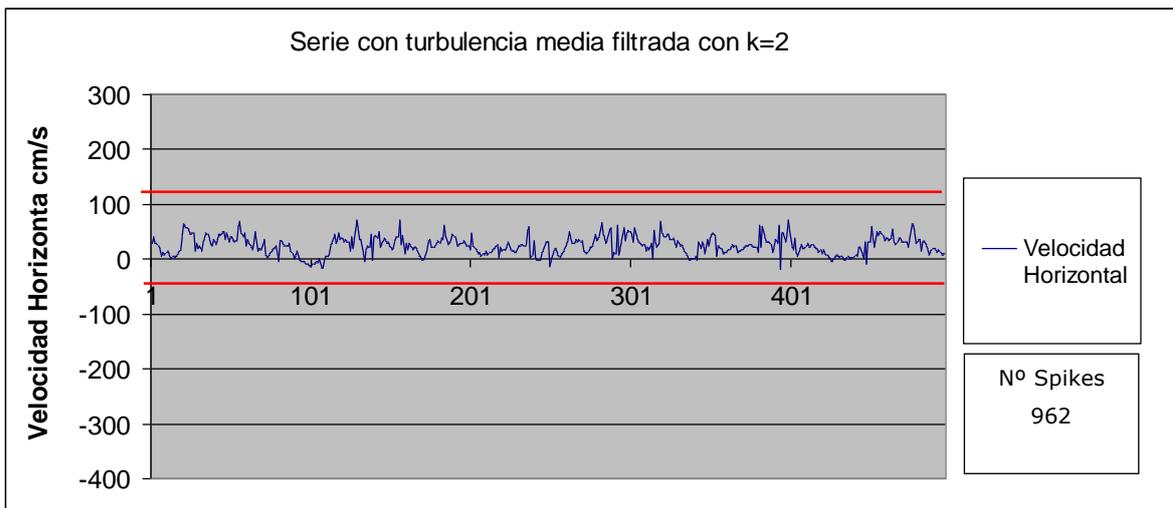
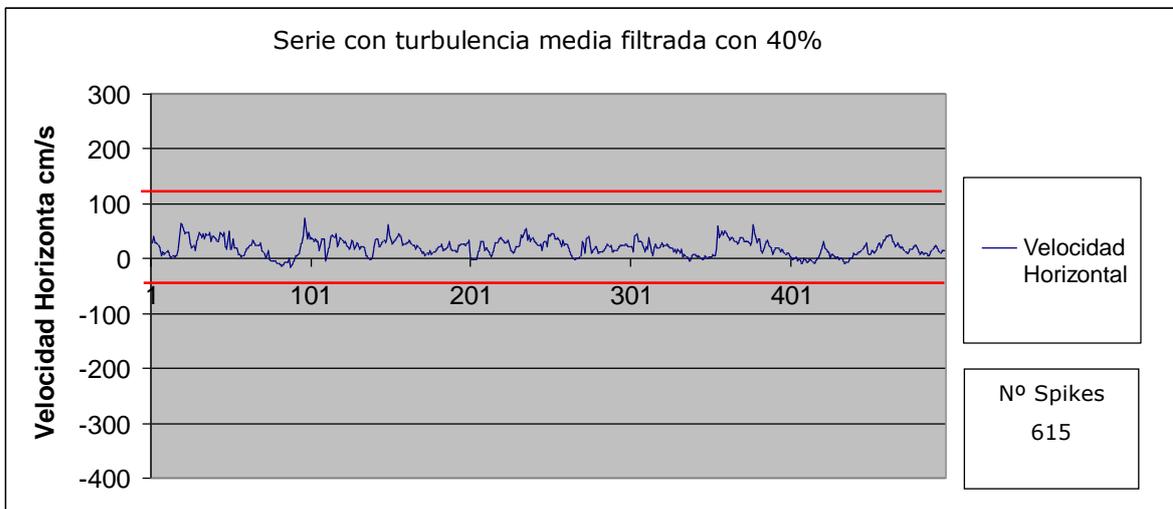
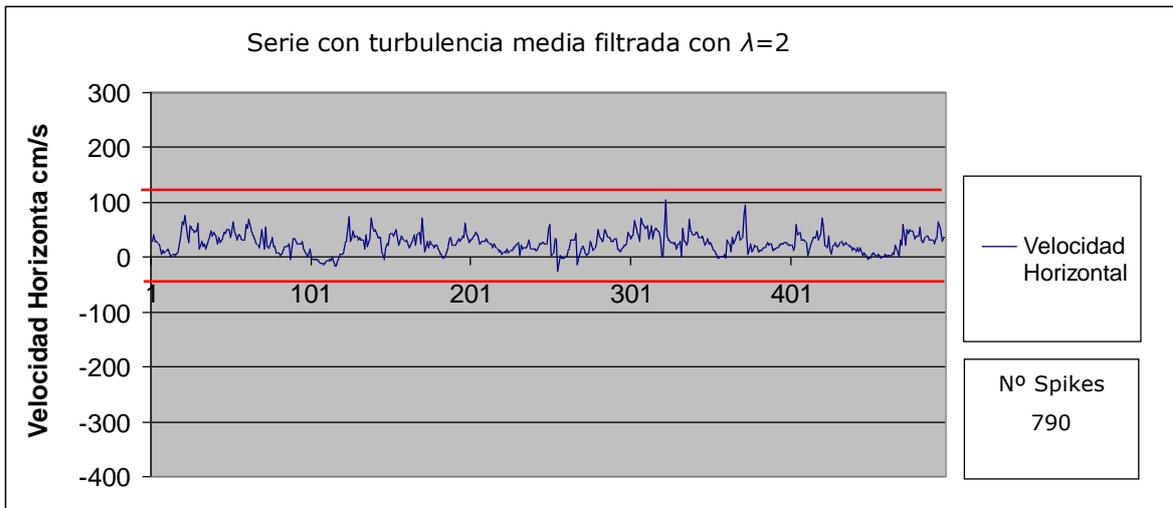


Figura 56b: Resultados gráficos del filtrado de la serie con turbulencia media.

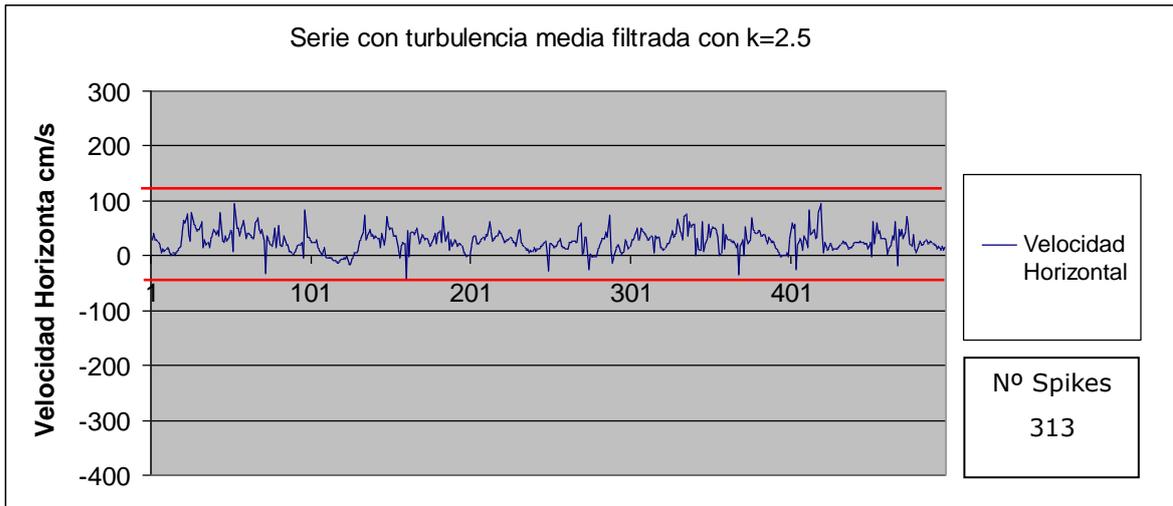


Figura 56c: Resultados gráficos del filtrado de la serie con turbulencia media.

- **Filtrado de la serie con turbulencia alta**

Para definir la configuración de filtrado de series con al turbulencia, se considera la serie de datos registrada a 3cm del fondo y a 40cm del punto de impacto directo, obtenido con un caudal igual a 49l/s y colchón 44cm.

En la figura 57 se observa la distribución de velocidades horizontales y verticales en la sección de estudio.

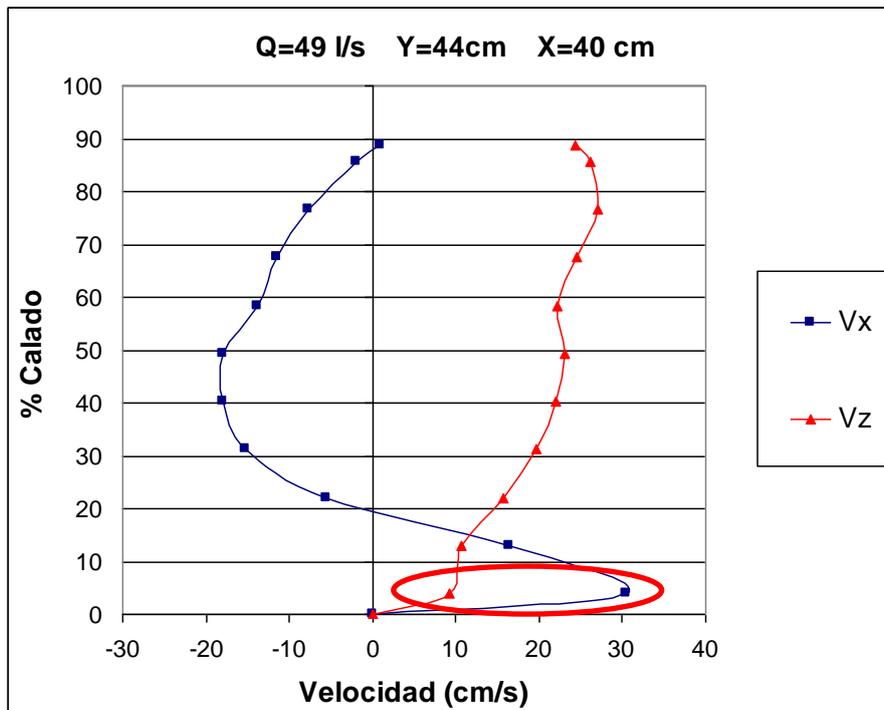


Figura 57: Localización del punto con turbulencia alta.

Tabla 10: Resultados del filtrado de la serie con turbulencia alta

	Umbral de velocidad k	Umbral de aceleración λ	Coef. Cor %	Velocidad (cm/s)	Desv. Típica	Nº Spikes	% datos originales
Serie Original	-	-	-	30.3	107	0	100
Goring y Nikora	1.5	1.25	-	53.8	60.3	4154	16.9
	-	2	-	52.3	59.5	4461	10.7
	-	-	40	30.3	65.2	5000	0
	2	-	-	45.5	91	702	85.9
	2.5	-	-	35.9	102	229	95.4

En la tabla 10 se observa que para series con elevada turbulencia, los parámetros de Gorin y Nikkora obtienen valores bajos de desviación, pero tan solo mantienen un 16.9% de datos originales.

El filtrado con el valor de umbral de aceleración, obtiene los menores valores de desviación pero, elimina prácticamente toda la serie, al encontrar más de 4000 spikes

Para series con turbulencia elevada, todos los datos son spikes, por lo que el filtrado con el umbral de correlación es inviable.

Se observa que el filtrado con umbral de velocidad es el que mejor resultado obtiene, puesto que aunque presenta un valor de desviación típica alto para esta serie, es el que menor número de spikes encuentra. En cuanto al valor exacto del parámetro, se ha tomado $k=2$, por presentar la serie una desviación inicial muy elevada (figura 58b).

A continuación se exponen los resultados gráficos de los filtrados de datos con los diferentes parámetros de la serie con turbulencia alta (figura 58a y 58b).

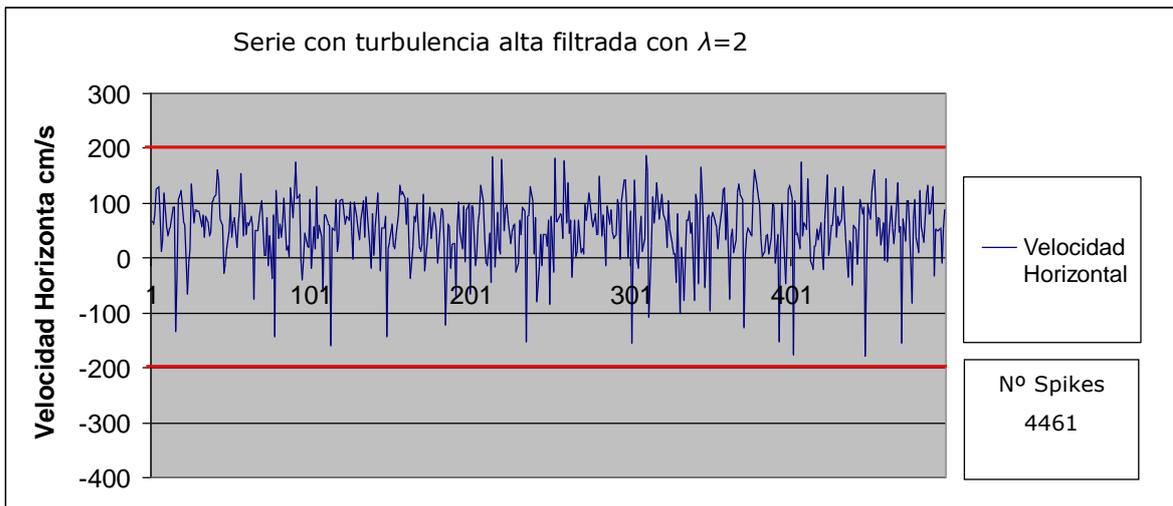
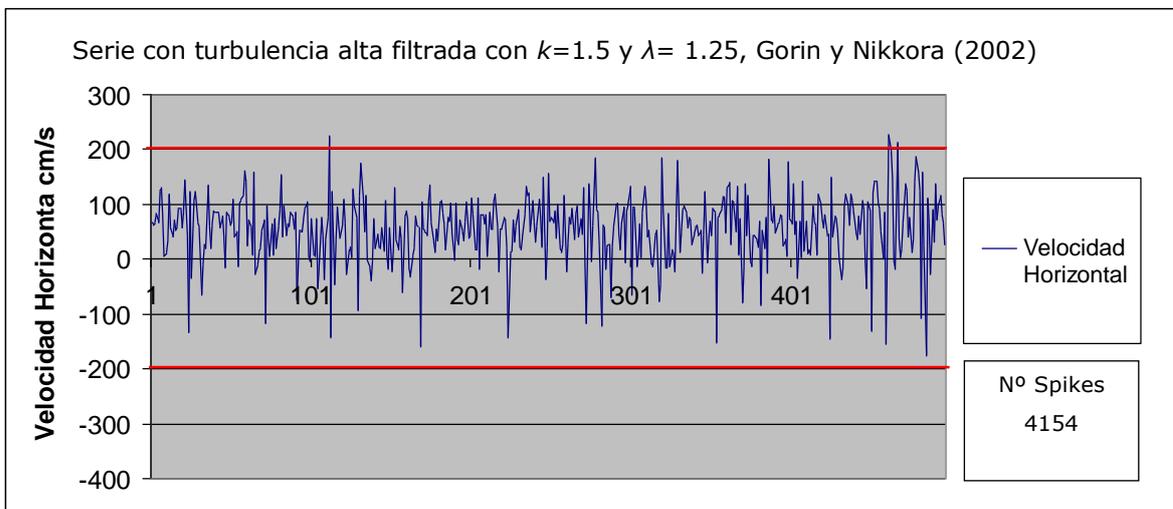
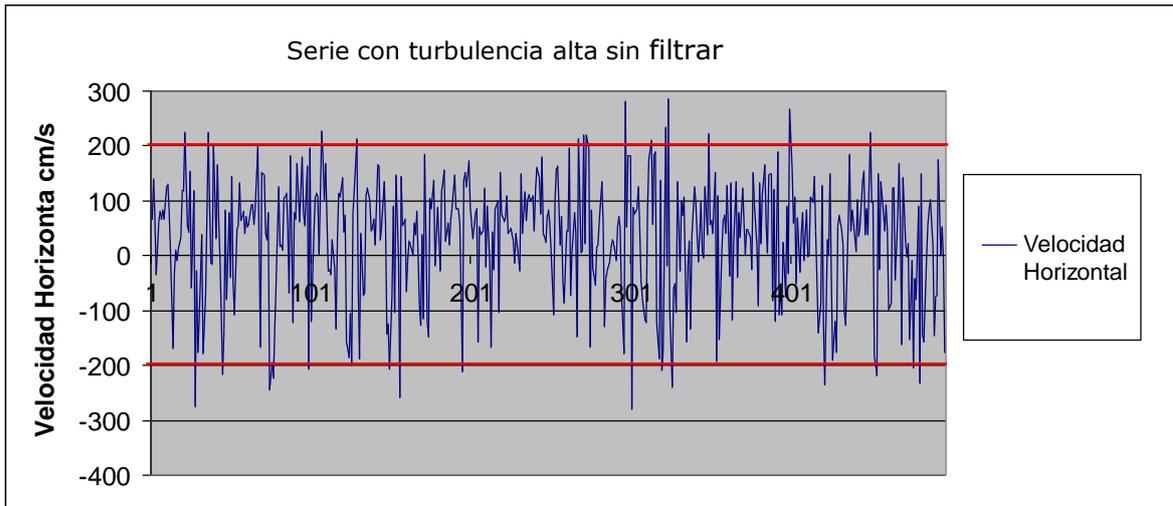


Figura 58a: Resultados gráficos del filtrado según cada autor de la serie con turbulencia alta.

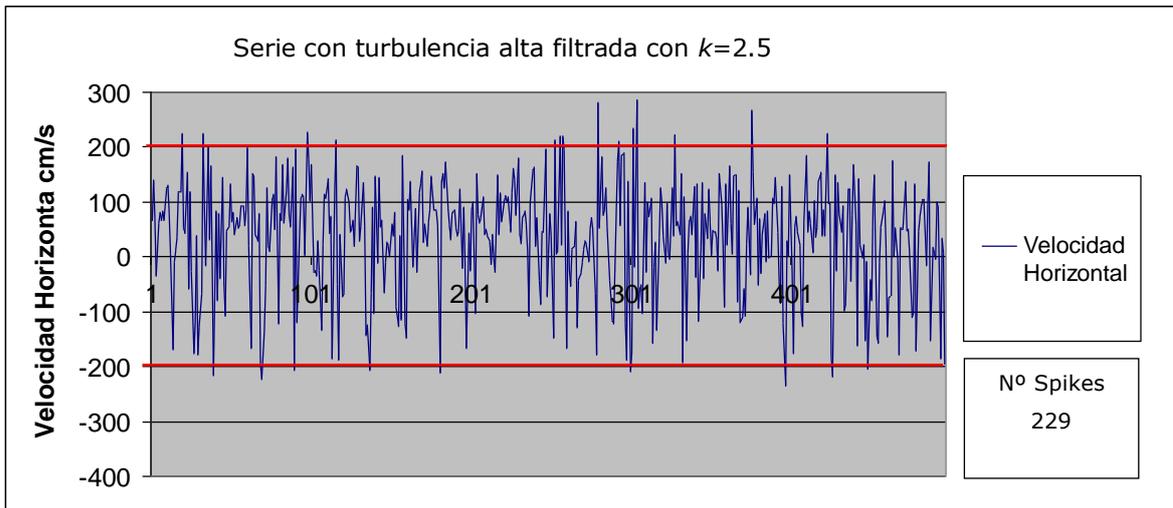
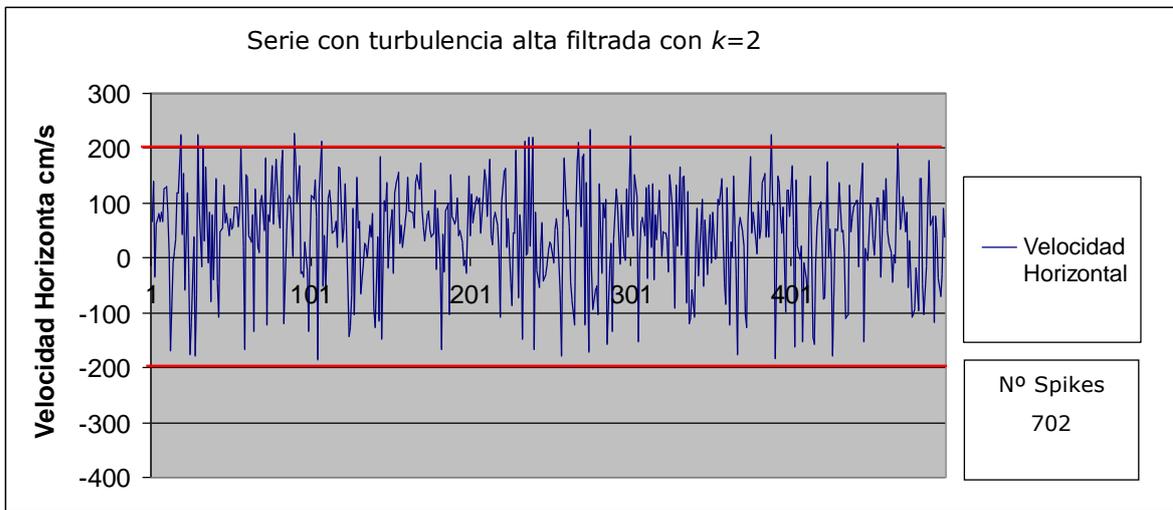
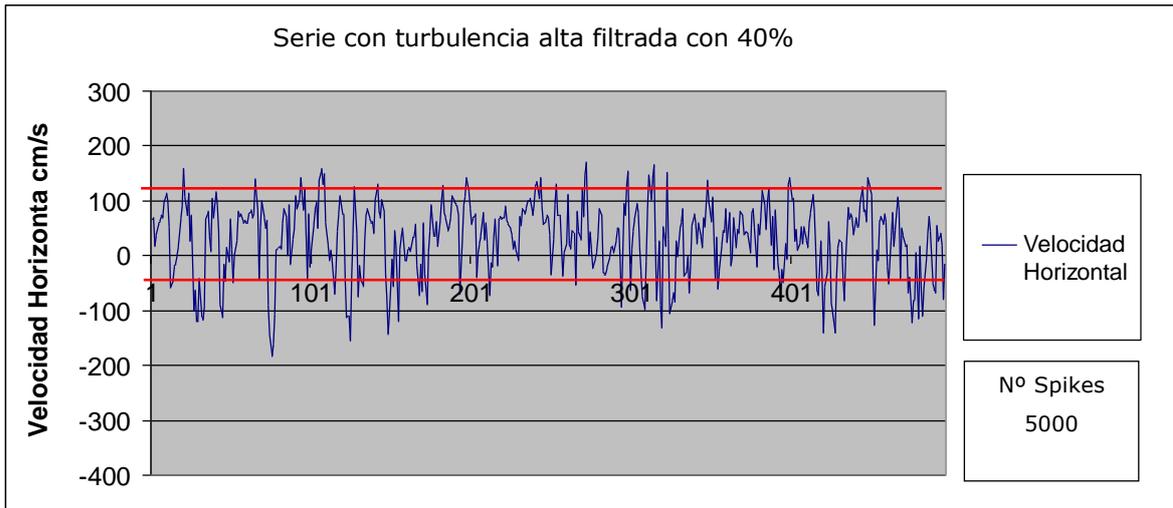


Figura 58b: Resultados gráficos del filtrado según cada autor de la serie con turbulencia alta.

Una vez expuestos todos los resultados se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- El método de Gorin y Nikkora, desvirtúa las series, al eliminar siempre más del 10% de los datos de la serie original.
- El parámetro de umbral de aceleración λ , produce buenos resultados para series con poca turbulencia, pero funciona mal con series cuya desviación típica inicial es muy grande.
- Los filtros con Coef. Cor son los que menor desviación típica presenta, en cambio, presentan el mayor número de spikes.
- El parámetro que mejores resultados presenta en todas las series, es el umbral de velocidad k . Se ha escogido como método de filtrado un valor de $k=2.5$ para series cuya desviación inicial sea inferior a 80 y, $k=2$ para series con elevada turbulencia.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se estudian las distribuciones de velocidades medias y turbulentas en las direcciones horizontal (en el sentido del flujo) y vertical.

Para cada caudal, Q , y cada colchón, Y , se muestra un análisis global de la distribución de velocidades en todo el cuenco, en el que se grafican conjuntamente los perfiles de velocidades verticales y horizontales. Para un mejor entendimiento, se indica esquemáticamente la localización del chorro incidente, el calado medio en el colchón, que constituye la superficie libre del agua, el perfil del contorno del cuenco de amortiguación y la altura de la contrapresa referida al calado total del colchón.

Posteriormente se analizan comparativamente, las velocidades horizontales y sus desviaciones y, finalmente, se hace lo propio con las velocidades verticales.

6.1. CAUDAL DE 15.57 l/s

- Colchón Y=12cm

La figura 59 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

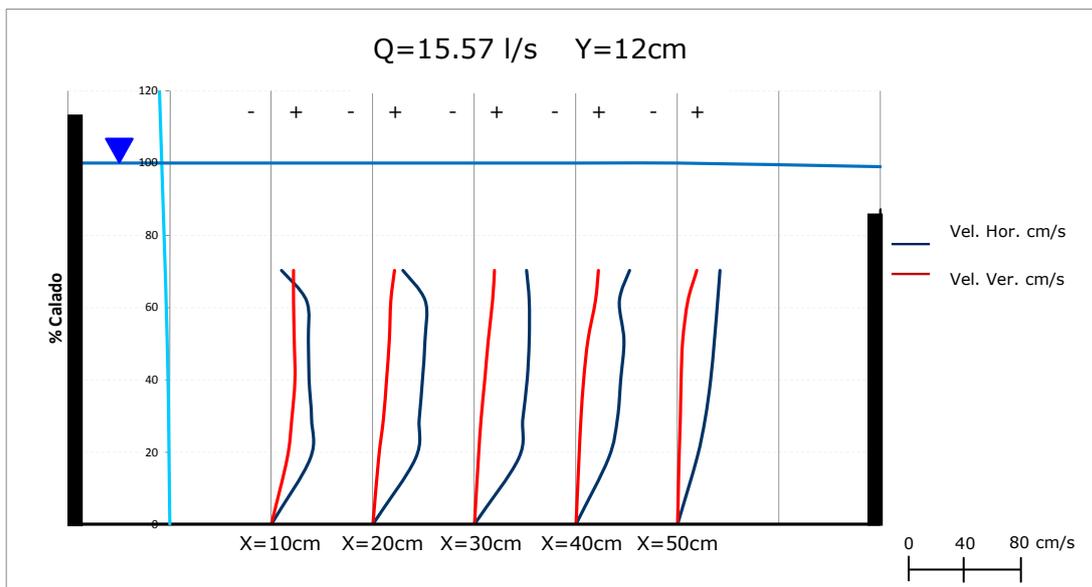


Figura 59: Perfiles de velocidad para un caudal de 15.57 l/s y un colchón de 12cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se midieron velocidades dentro de un colchón de 12cm de altura media en el cuenco de amortiguación, de los cuales, 8cm, correspondían a la altura de la barrera que hace las funciones de contrapresa y, los 4cm restantes se corresponden con la sobreelevación que produce el caudal trasegado. Debido a que hay un colchón pequeño, y a que la sonda ADV necesita estar sumergida un mínimo un mínimo de 5cm, sólo se pudo medir hasta el 70% del calado.

La distribución de velocidades, tanto horizontales como verticales, es similar en todas las secciones estudiadas, si bien hay pequeñas diferencias entre unas y otras.

Las figuras 60 y 61 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

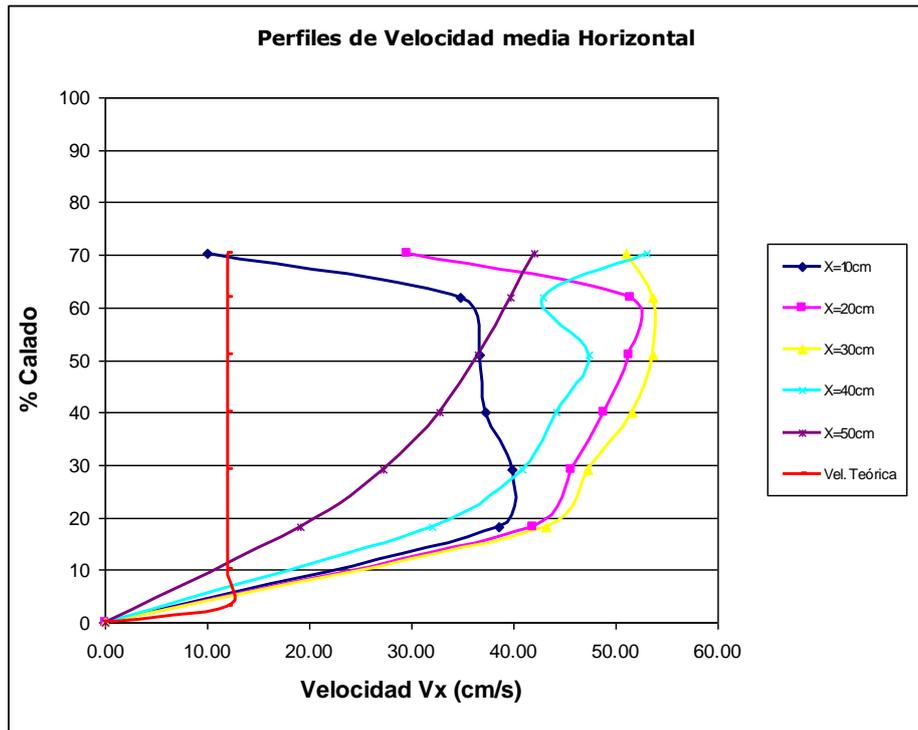


Figura 60: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=12$ cm.

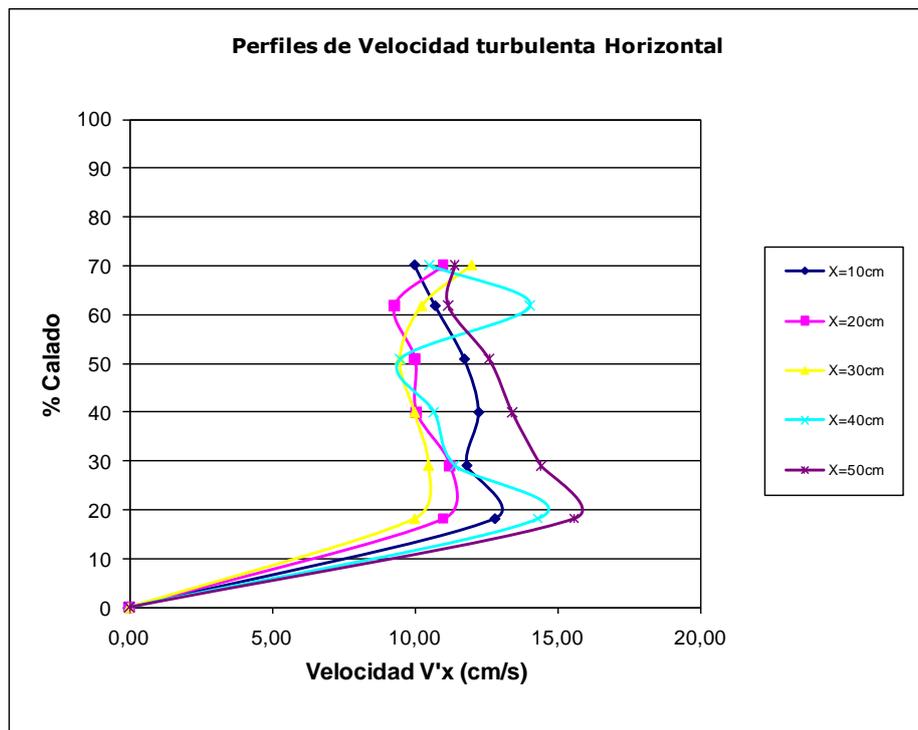


Figura 61: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=12$ cm.

La velocidad horizontal evoluciona cualitativa y cuantitativamente a lo largo del colchón. En las primeras secciones la velocidad aumenta hasta el 20% del calado y se mantiene en un valor más o menos constante hasta el 60% del calado, punto a

partir del cual sufre un gran descenso. Esta evolución se mantiene hasta la sección X=30cm, que muestra los mayores valores de velocidad.

Las velocidades turbulentas horizontales se mantienen una evolución parecida en las secciones estudiadas. La turbulencia aumenta hasta el 20% y se mantiene o desciende un poco hacia la superficie. La sección con el máximo de turbulencia está en X=50cm, donde se alcanzan valores en torno a 17cm/s.

Las figuras 62 y 63, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

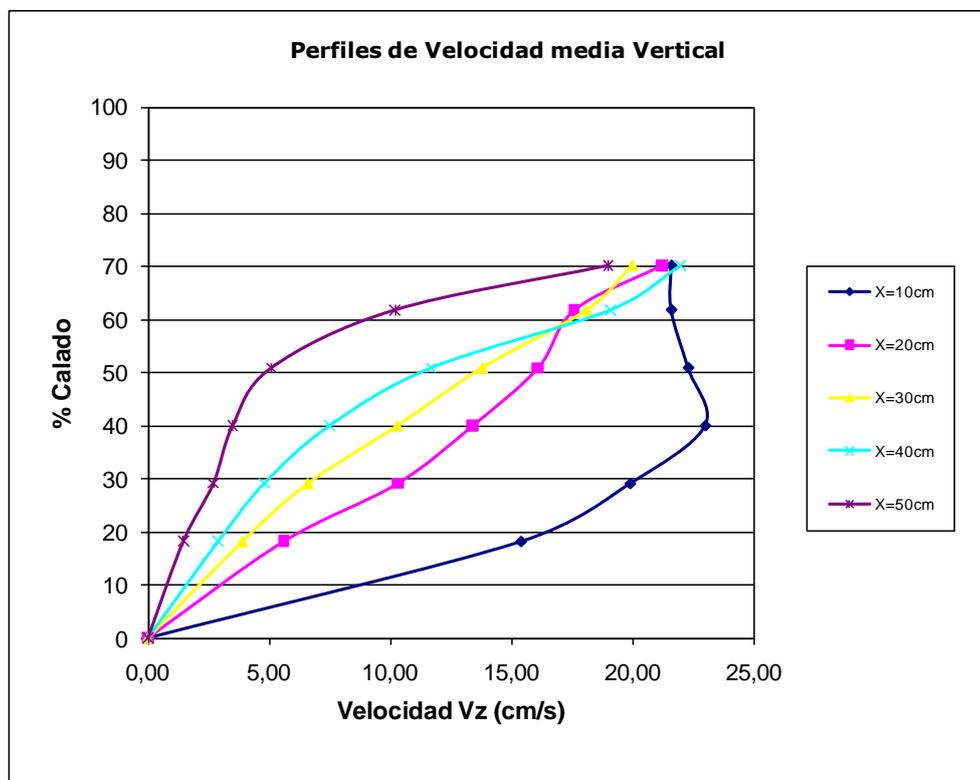


Figura 62: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=15.57 l/s, Y=12cm.

En cuanto a las velocidades verticales, los máximos registrados se dan al inicio del resalto, obteniéndose 23cm/s para un calado del 45% en la primera sección. Conforme nos alejamos del punto de impacto del chorro, la velocidad vertical va decayendo.

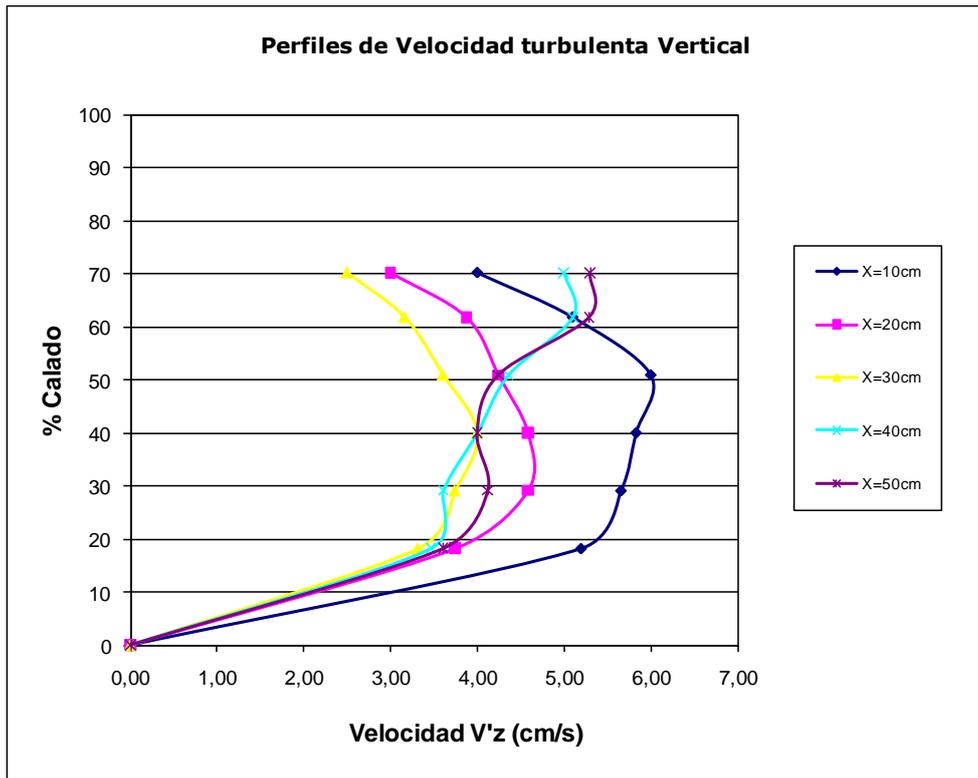


Figura 63: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=12$ cm.

Respecto a la turbulencia vertical, los mayores valores se dan en la primera sección.

- **Colchón Y=20cm**

La figura 64 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

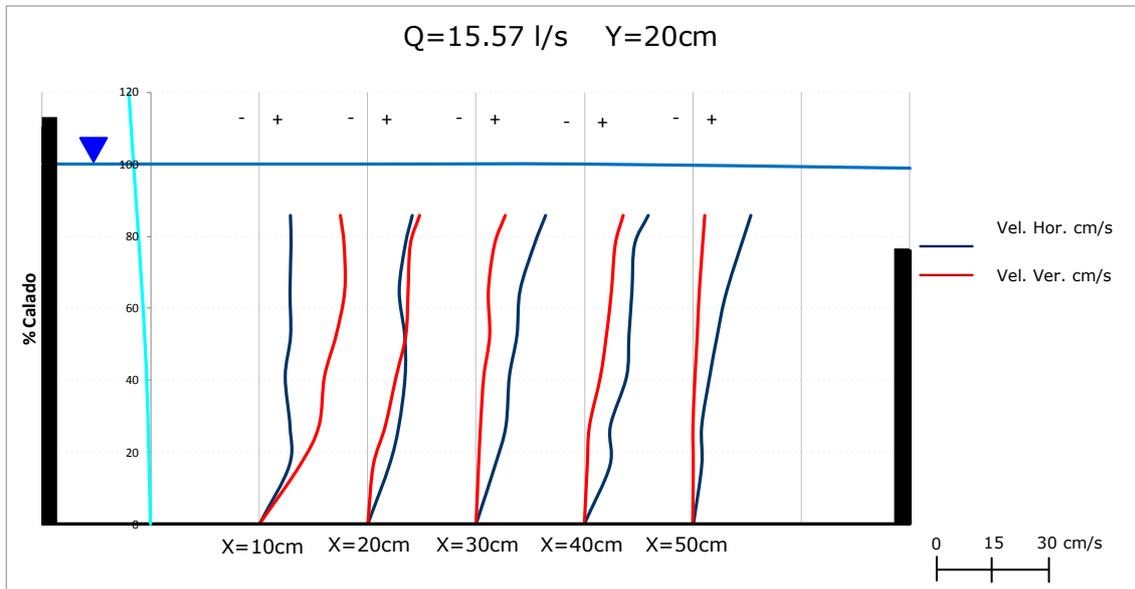


Figura 64: Perfiles de velocidad para un caudal de 15.57 l/s y un colchón de 20 cm, cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se tiene un colchón de 20cm, 16 de los cuales pertenecen a la altura de las barreras y, 4cm a la sobreelevación del flujo, de los cuales se ha podido medir hasta un 85% del calado total.

Las figuras 65 y 66 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

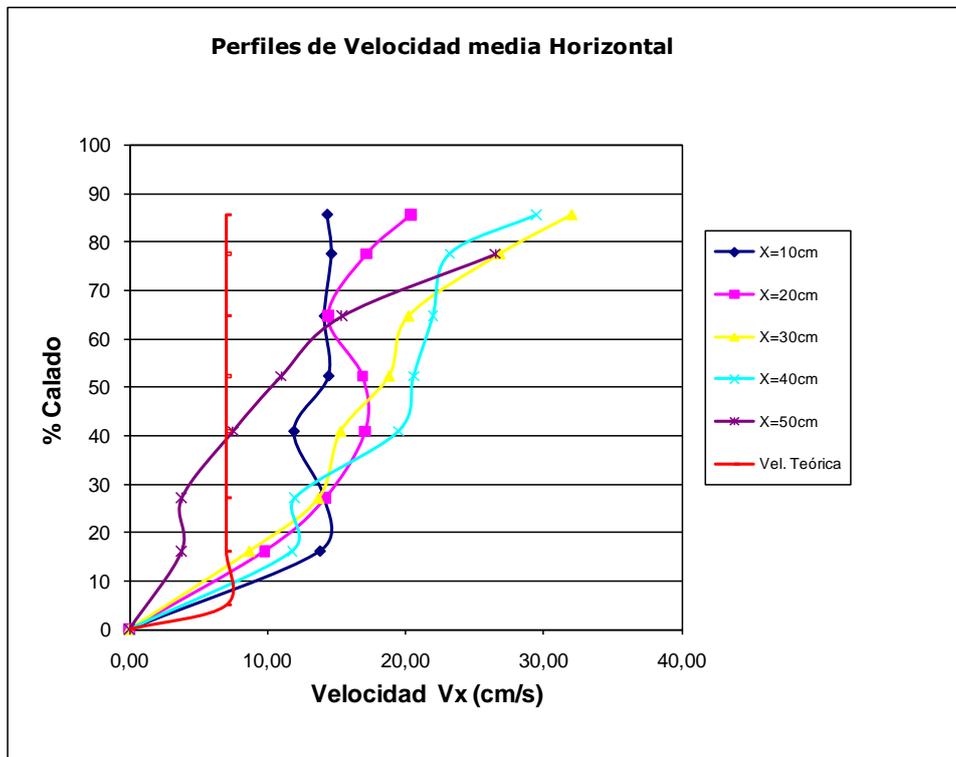


Figura 65: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=20$ cm.

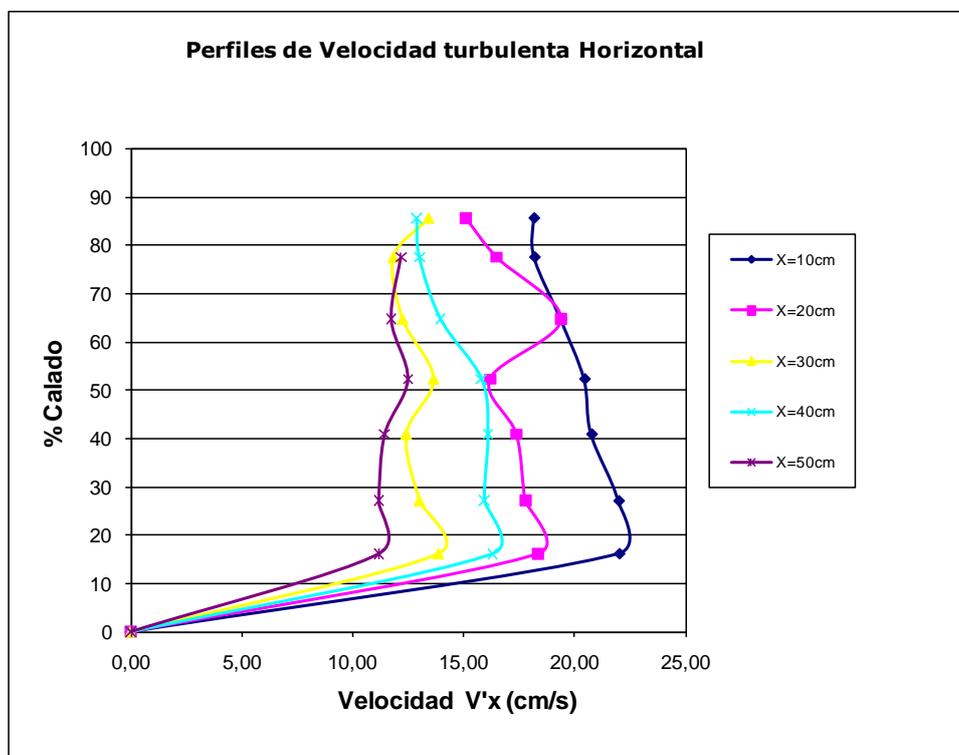


Figura 66: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=20$ cm.

La evolución de la velocidad horizontal en los puntos muestreados es similar a lo largo de todo el colchón, la velocidad aumenta desde el fondo hasta la superficie.

Las turbulencias horizontales muestran una evolución en todas las secciones estudiadas, de modo que los valores se mueven entre el perfil de mayor turbulencia y el de menor turbulencia, que se corresponden con $X=10\text{cm}$ y $X=50\text{cm}$ respectivamente. Dentro de cada perfil la evolución de la turbulencia hacia la superficie no presenta grandes variaciones y se repite en todas las secciones. Se alcanza el máximo del perfil entorno al 15% del calado y, posteriormente se mantiene un valor aproximadamente constante hasta la superficie.

Las figuras 67 y 68, muestran los perfiles de velocidad media vertical y velocidad turbulenta vertical respectivamente.

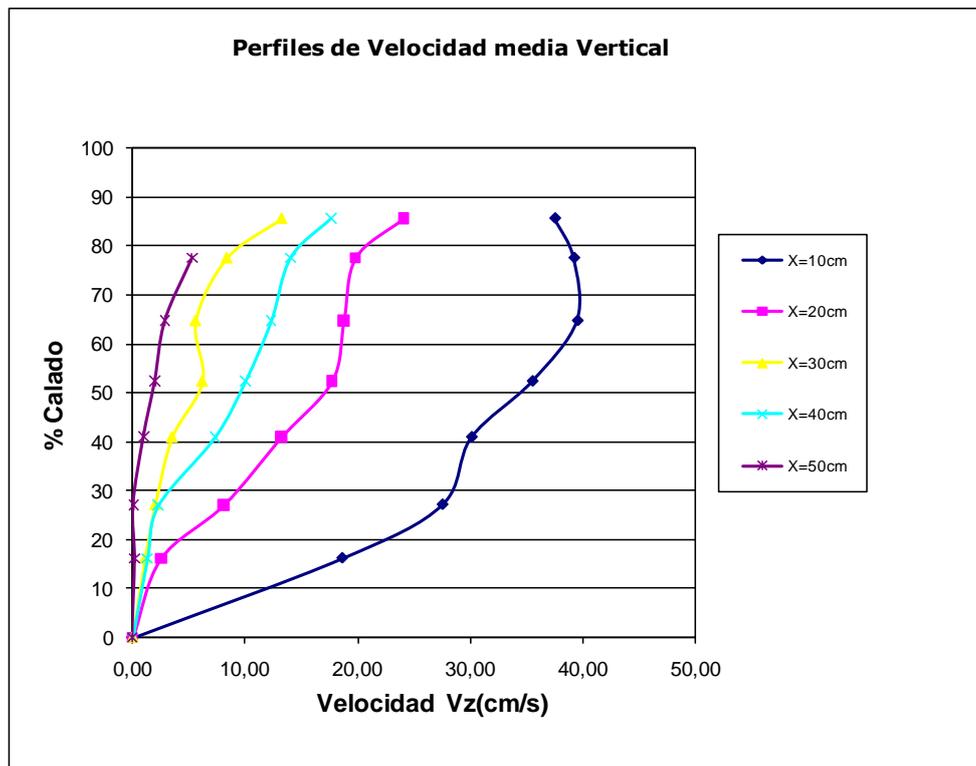


Figura 67: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=15.57\text{ l/s}$, $Y=20\text{cm}$.

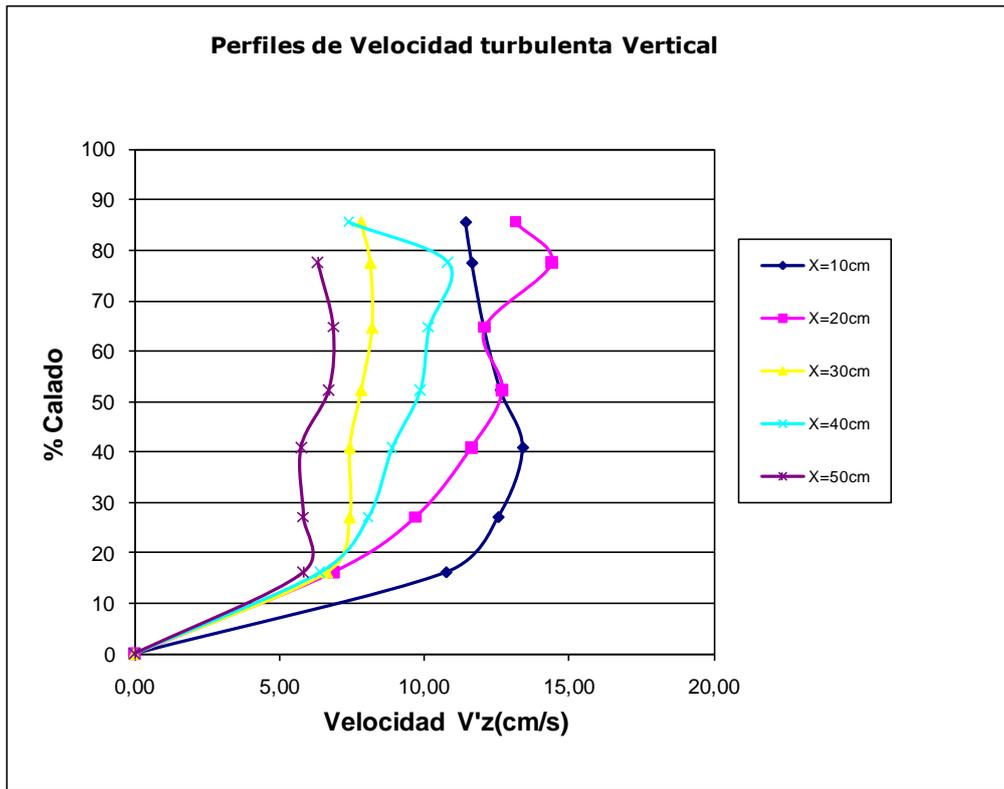


Figura 68: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=20$ cm.

La variación de las velocidades verticales es más acusada que la de las horizontales. Se tiene un máximo de velocidad vertical en la sección inicial del resalto que decae progresivamente en el cuenco de amortiguación.

La turbulencia vertical mantiene su evolución en todas las secciones estudiadas, con valores situados entre el perfil de mayor turbulencia y el de menor turbulencia, que se corresponden con $X=10$ cm y $X=50$ cm respectivamente. Dentro de cada perfil la evolución de la turbulencia hacia la superficie no presenta grandes variaciones.

- **Colchón Y=29cm**

La figura 69 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

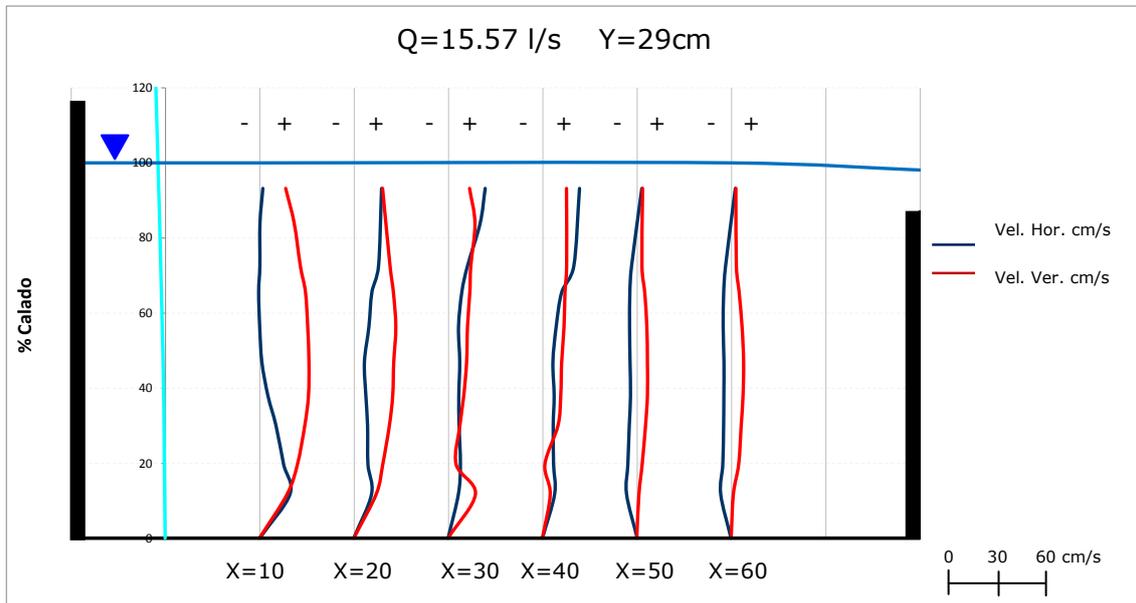


Figura 69: Perfiles de velocidad para un caudal de 15.57 l/s y un colchón de 29cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

En este caso se midió un colchón de 29cm de calado medio en el cuenco de amortiguación, de los cuales 24cm correspondían a la altura de la barrera que hace las funciones de contrapresa, y los 5cm restantes se corresponden con la sobre elevación que produce el caudal trasegado.

Las figuras 70 y 71 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta horizontal.

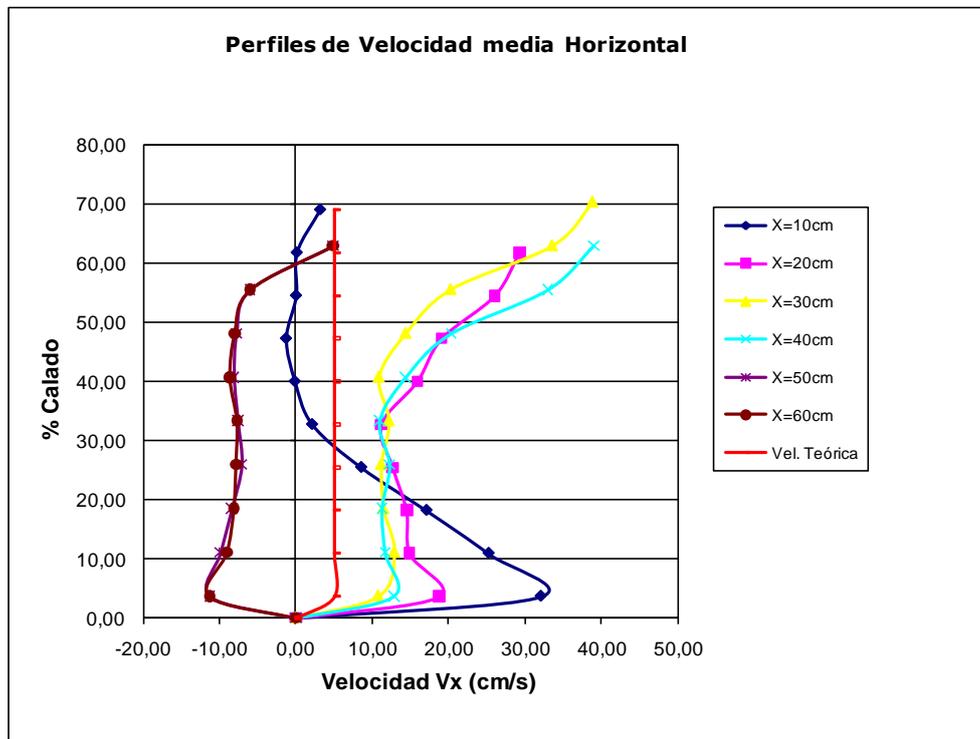


Figura 70: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=20$ cm.

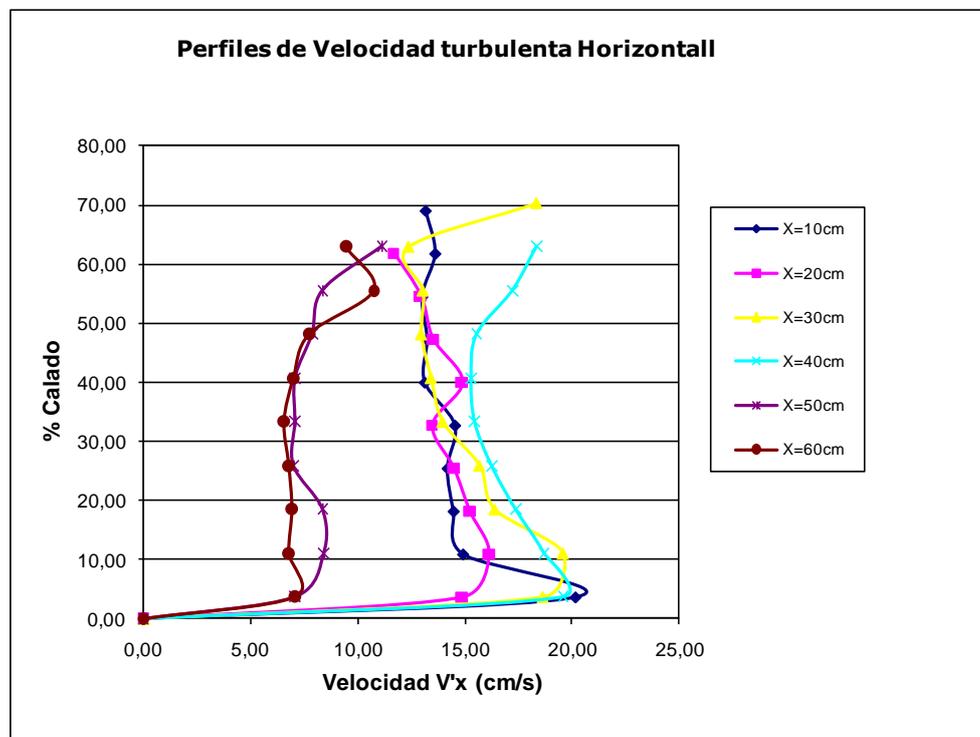


Figura 71: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=29$ cm.

Al inicio del resalto se aprecia un máximo de velocidad horizontal positiva en las proximidades de la solera (20% del calado) de unos 32 cm/s. Conforme se asciende en esta sección, la velocidad decae hasta la velocidad nula entorno del 70% del calado. Finalmente, vuelve a ser positiva en las proximidades de la superficie, en los perfiles desde X=20cm hasta X=40cm, la distribución de velocidades horizontales es similar, de modo que asciende desde la solera hasta la superficie, donde se alcanzan las mayores velocidades. A partir de X=50 en adelante, aparecen las velocidades negativas en el intervalo entre el 0 y el 85% de calado, cambiando a positivas a partir del 85% del calado, esto se debe a un contraflujo producido por las barreras.

Las figuras 72 y 73, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

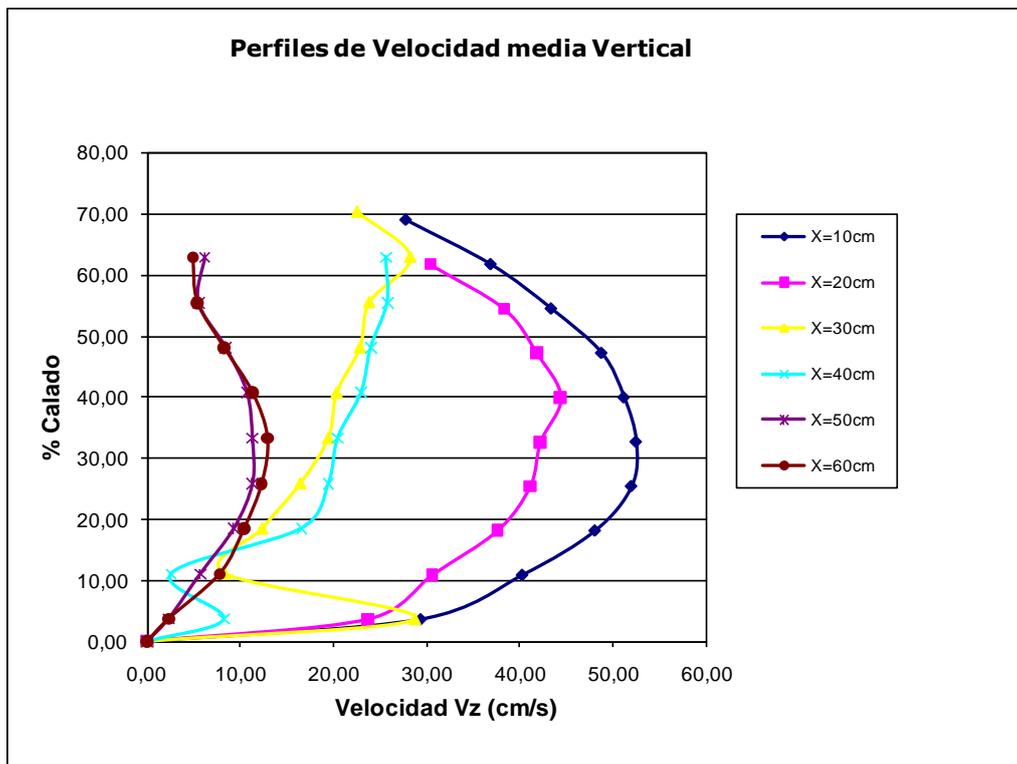


Figura 72: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=15.57 l/s, Y=29cm.

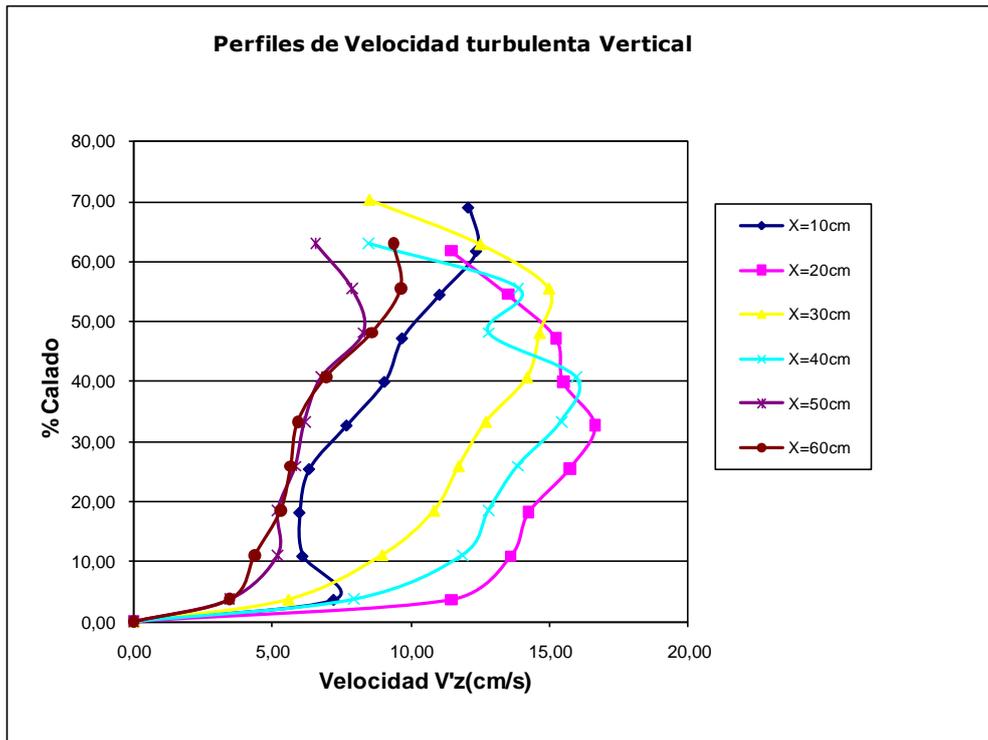


Figura 73: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=15.57 \text{ l/s}$, $Y=29\text{cm}$.

En cuanto a las velocidades verticales, se observa que su evolución es inversamente proporcional a la de las velocidades horizontales. En la primera sección se alcanza la máxima velocidad vertical, 48 cm/s , en los calados que presentan velocidad horizontal nula. Este efecto se mantiene en la siguiente sección, $X=20 \text{ cm}$, pero, partir de aquí, el flujo vertical se va reduciendo.

La turbulencia vertical presenta los mayores valores en las sección $X=20$, $X=30$ y $X=40$, donde la turbulencia alcanza los 15cm/s . El resto de secciones se sitúan entorno a los 7.5cm/s .

- **Colchón Y=38cm**

La figura 74 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

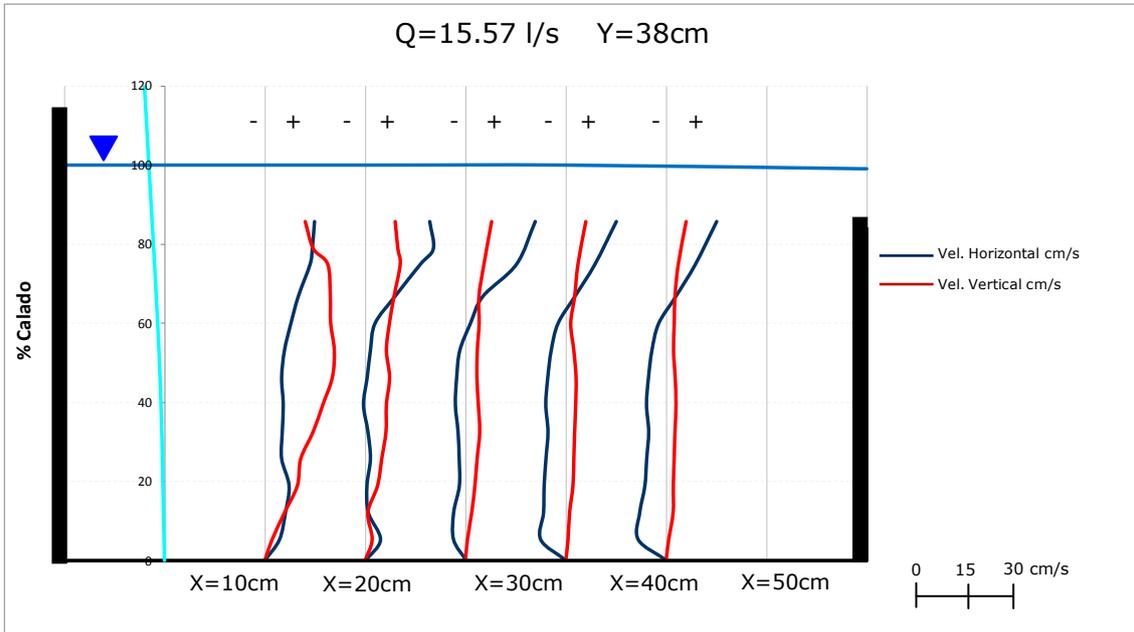


Figura 74: Perfiles de velocidad para un caudal de 15.57 l/s y un colchón de 38cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

En el colchón de 38 cm, las velocidades horizontales (figura 75) presentan una distribución similar a que hay en el colchón de 29cm, con algunas diferencias. Los efectos del resalto, no son tan marcados, desapareciendo las velocidades negativas en X=10 cm. Se observa además que en la segunda sección hay hasta un 60% del calado de velocidades cercanas a 0 y, a partir del 60%, aumentan progresivamente hacia la superficie, esto se debe a que esta sección es de transición entre la primera, en la que son visibles los efectos de la turbulencia del resalto y, las más alejadas, en las que son visibles los efectos del contraflujo creado por la influencia de las barreras.

Las figuras 75 y 76 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

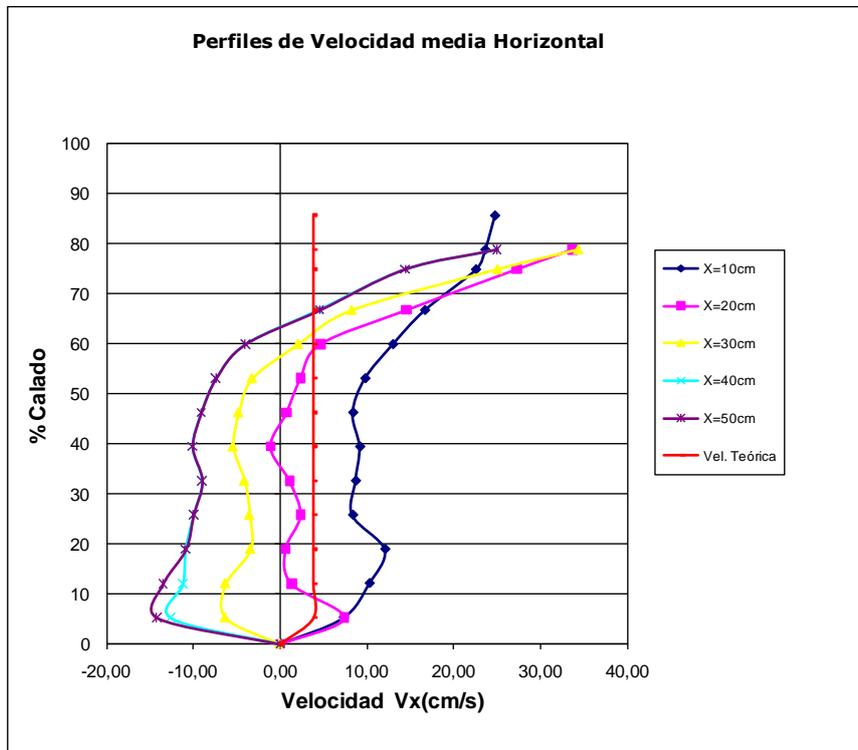


Figura 75: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=38$ cm.

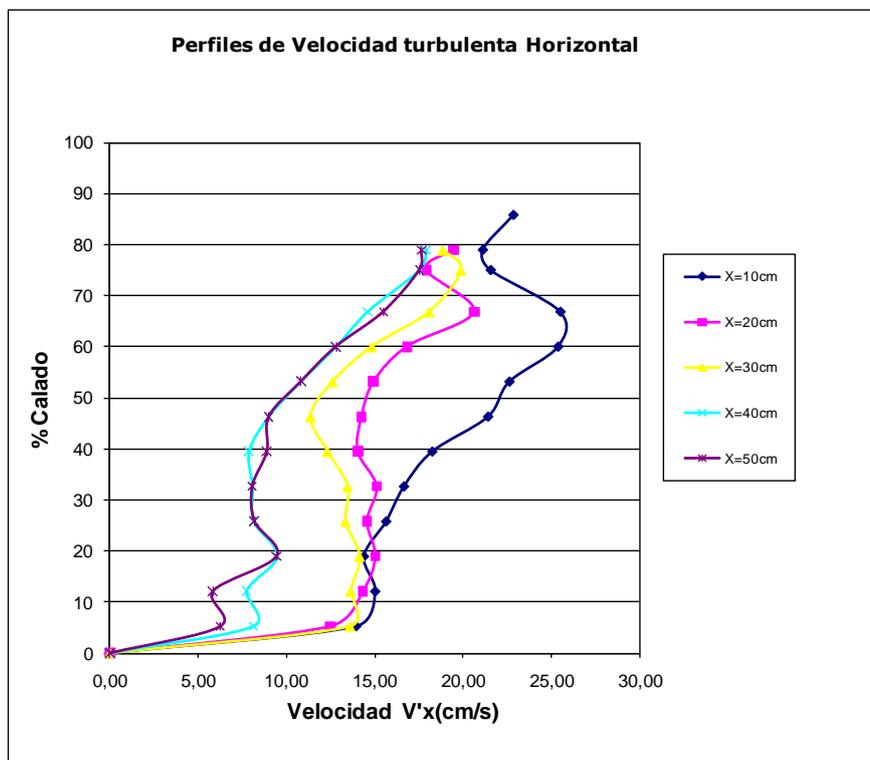


Figura 76: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=38$ cm.

Las figuras 77 y 78, muestran los perfiles de velocidad media vertical y velocidad turbulenta vertical respectivamente.

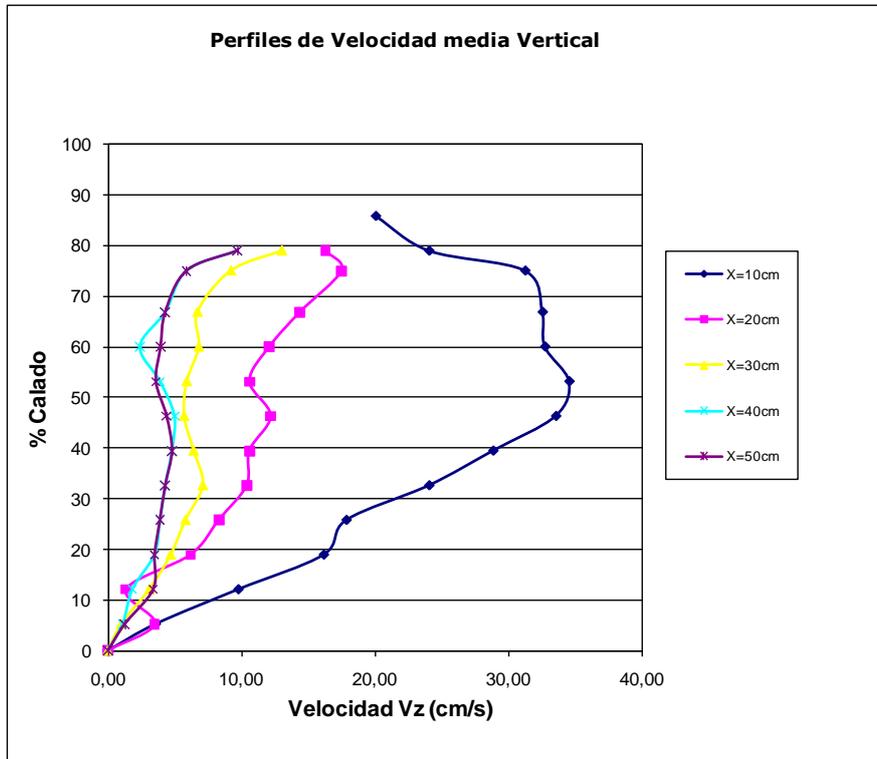


Figura 77: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=38$ cm.

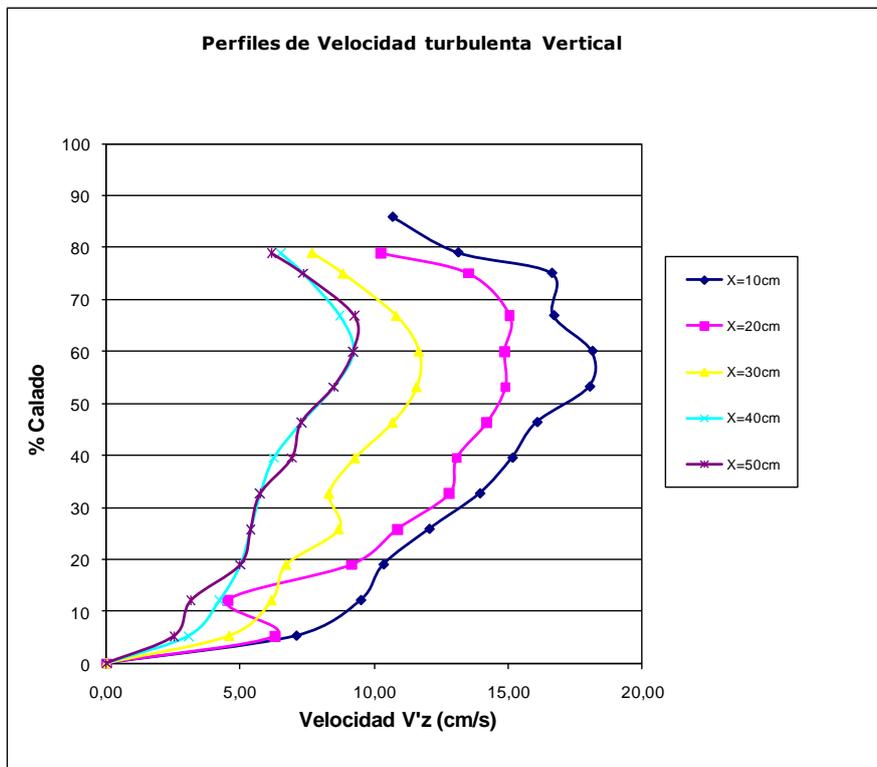


Figura 78: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=38$ cm.

En cuanto a las velocidades verticales, en la primera sección se observa que la velocidad vertical evoluciona de modo inverso a las velocidades horizontales, es decir, para máximos de velocidades verticales, se producen mínimos de velocidades horizontales. En las demás secciones, al tener escasa influencia de la turbulencia del resalto, la tendencia es a disminuir progresivamente.

La turbulencia vertical mantiene su evolución a lo largo del colchón, manteniéndose siempre entre los valores máximos establecidos en la primera sección y los valores mínimos que se alcanzan a los 50cm del punto de impacto directo del.

- **Colchón Y=46cm**

La figura 79 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

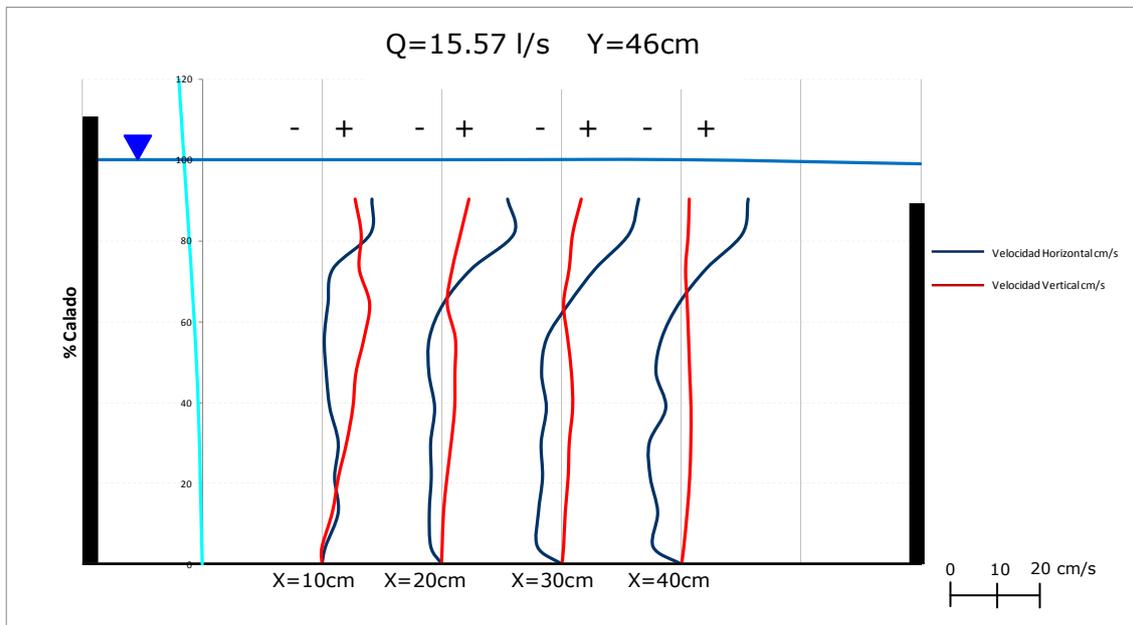


Figura 79: Perfiles de velocidad para un caudal de 15.57 l/s y un colchón de 46cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

En un colchón de 46cm, se han medido únicamente las cuatro primeras secciones. Esto es debido a que la evolución de las velocidades se repite a partir de X=20cm.

Las figuras 80 y 81 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

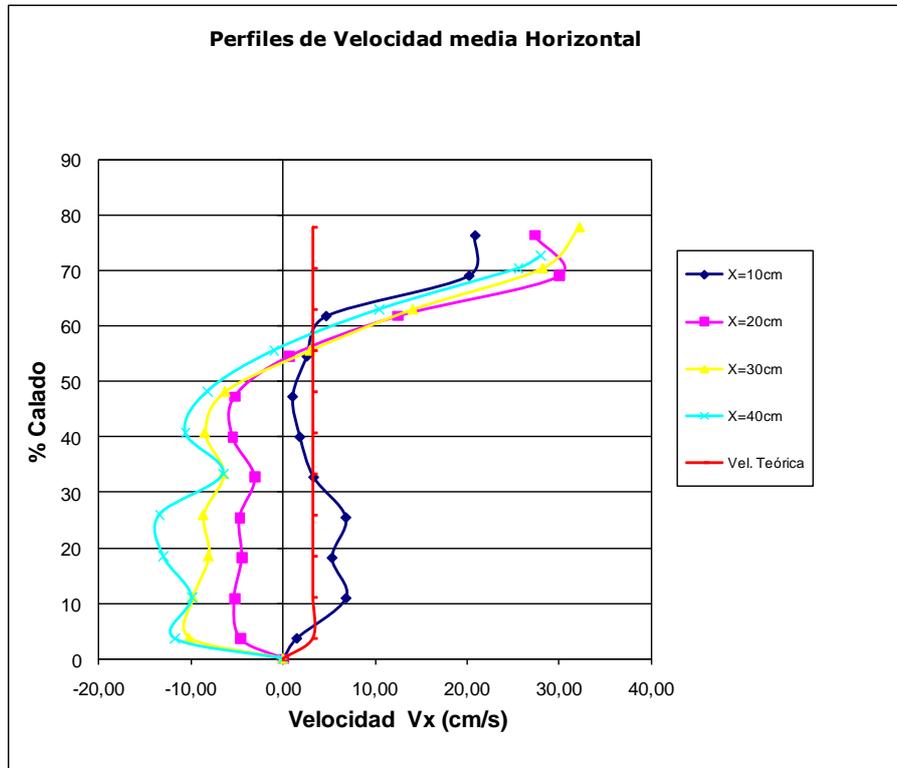


Figura 80: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=46$ cm.

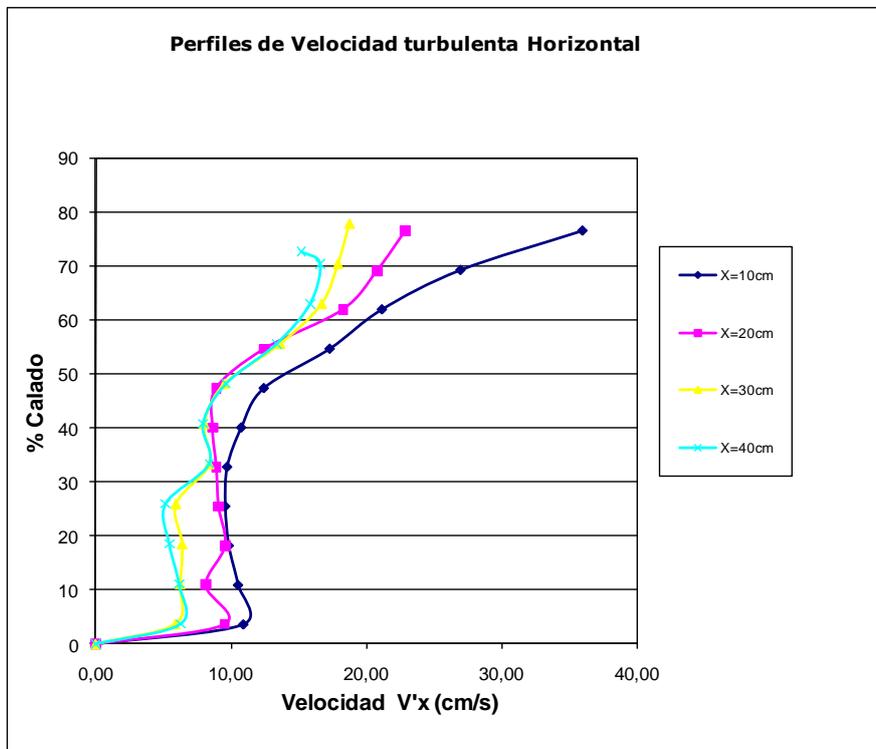


Figura 81: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=46$ cm.

Para un colchón de 46 cm, se aprecian los efectos de la turbulencia del resalto en la primera sección, en ella se produce un pico de velocidad horizontal igual a 6.8 cm/s, entorno al 15% del calado. La velocidad horizontal disminuye hasta el 70% del calado, donde se tienen velocidades de 1 cm/s. Posteriormente, la velocidad aumenta progresivamente hacia la superficie, llegándose a valores de 20 cm/s. A partir de la segunda sección y en adelante, son visibles los efectos de las barreras, que producen un flujo negativo desde el fondo hasta un 70% del calado, y positivo en la superficie.

Los valores de turbulencia horizontal mantienen la misma evolución en todo el colchón. La velocidad turbulenta aumenta hasta el 5% del calado, punto a partir del cual se mantiene aproximadamente constante hasta el 65% del calado, donde se produce un aumento general de la turbulencia.

Las figuras 82 y 83, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

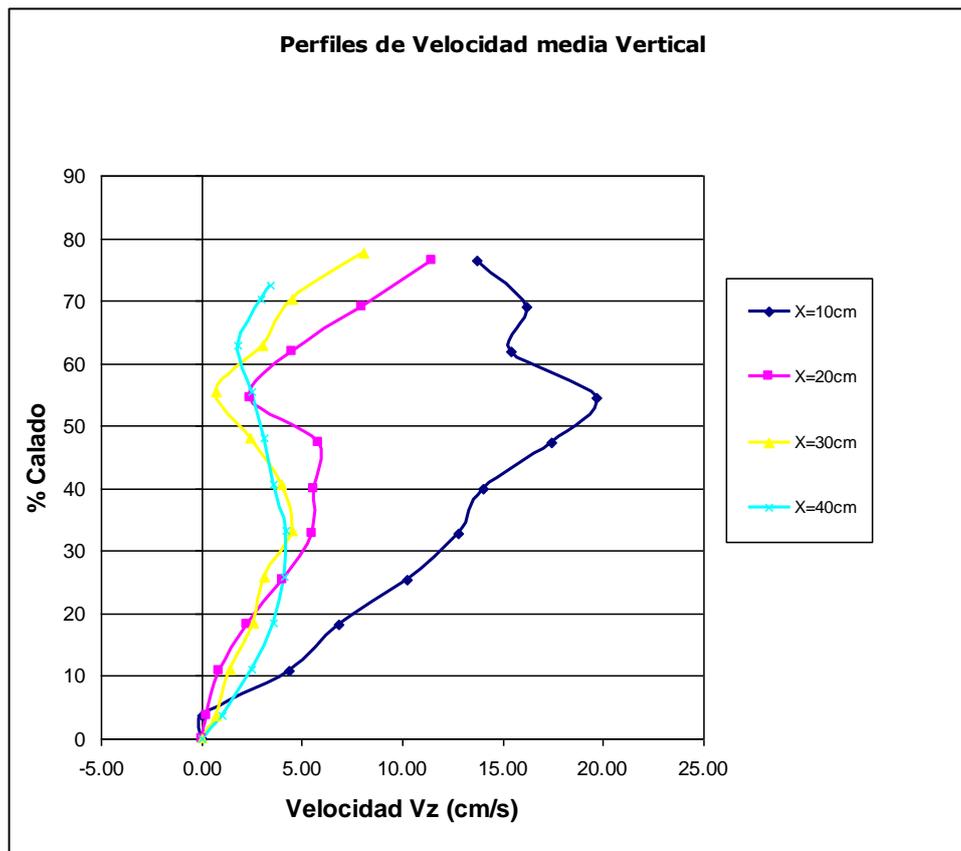


Figura 82: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=15.57 l/s, Y=46cm.

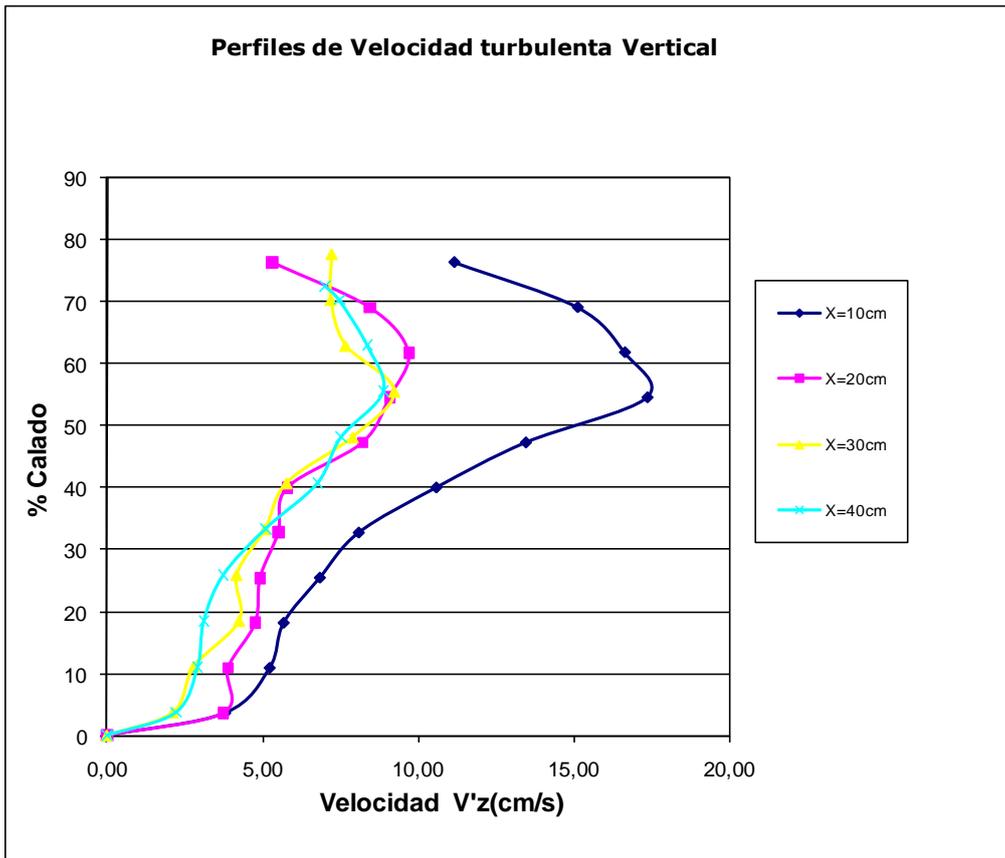


Figura 83: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=46$ cm.

Las velocidades verticales son máximas en la primera sección, donde hay mayor turbulencia creada por el resalto. La tendencia a partir de la segunda sección es a mantener la velocidad vertical en la sección, viéndose acelerada en las inmediaciones de la superficie.

Al igual que sucede con la evolución de la velocidad vertical, la turbulencia es más acentuada en la primera sección, mientras que en el resto de secciones es inferior y presenta pocas variaciones.

- **Colchón Y=54cm**

La figura 84 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

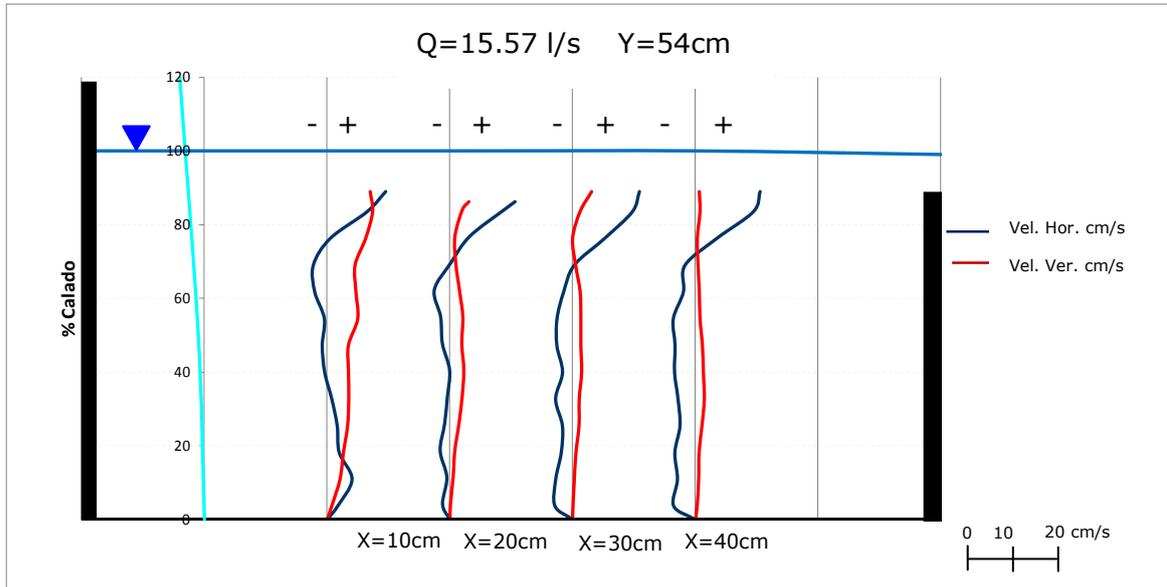


Figura 84: Perfiles de velocidad para un caudal de 15.57 l/s y un colchón de 54cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

El colchón de 54 cm es el más grande medido con el caudal de 15.54 l/s. Se corresponde con una altura de barreras de 48cm, más una sobreelevación de 6cm. Se observa que el efecto de las barreras comienza a notarse a partir de la segunda sección, cuyos efectos se acentúan en las posteriores secciones.

Las distribuciones de velocidades horizontales son similares a las producidas en el colchón de 46 cm. Debido a los efectos del resalto, se producen en la primera sección, flujos positivos en el fondo, de 10.2 cm/s en el 15% del calado. A partir de aquí la velocidad disminuye hasta el máximo negativo de -5.7 cm/s en el 65% del calado. Por último, la velocidad vuelve a ser positiva en las proximidades de la superficie. En cuanto a las demás secciones, son visibles los efectos de las barreras que producen un flujo negativo desde el fondo hasta un 70% del calado, y positivo en la superficie.

Las figuras 85 y 86 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

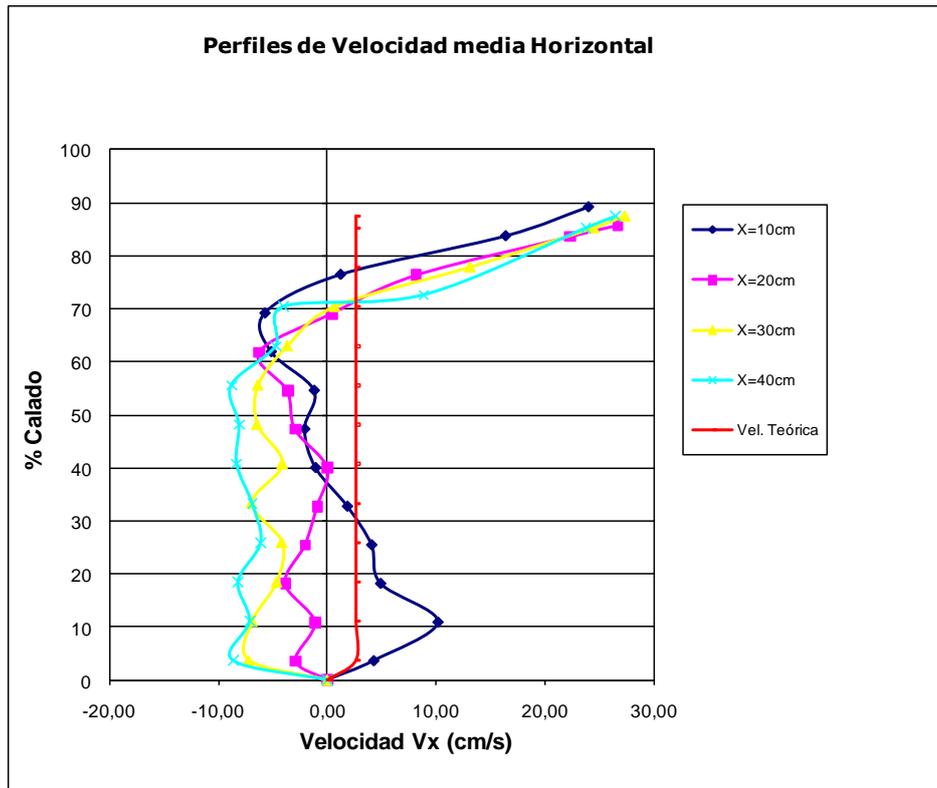


Figura 85: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=54$ cm.

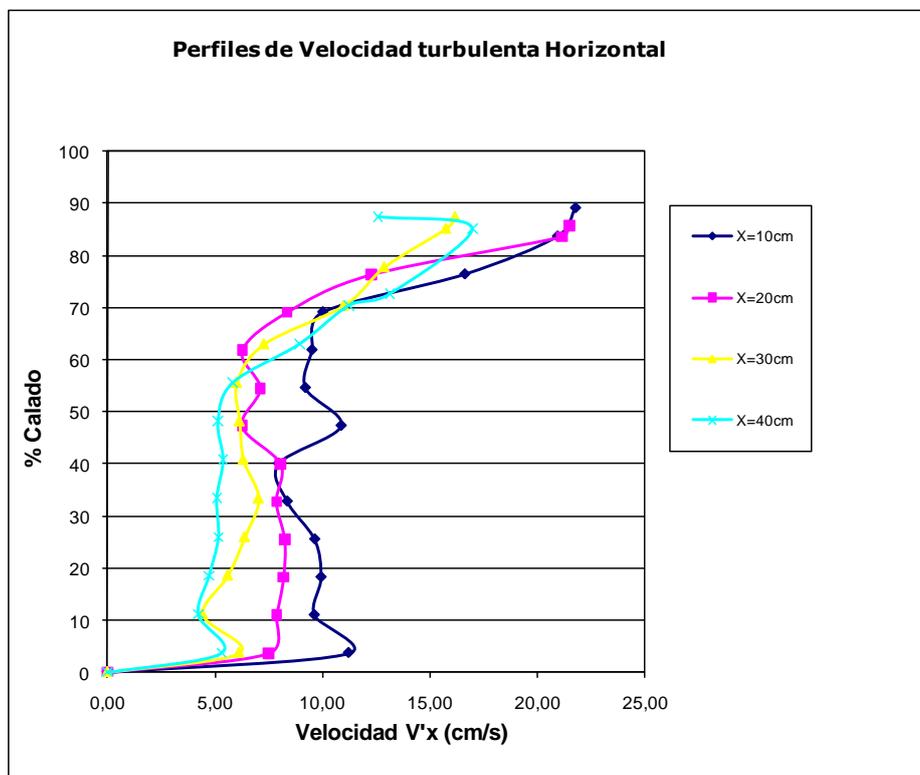


Figura 86: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=15.57$ l/s, $Y=54$ cm.

Los valores de turbulencia horizontal mantienen la misma evolución en todo el colchón. La velocidad turbulenta en el fondo se mantiene aproximadamente constante hasta el 65% del calado, donde se produce un aumento general de la turbulencia.

Las figuras 87 y 88, muestran los perfiles de velocidad media vertical y velocidad turbulenta vertical respectivamente.

Las velocidades verticales son más elevadas en la primera sección, donde hay mayor turbulencia debido al efecto del resalto. La tendencia a partir de la segunda sección es a que el flujo vertical aumente cada vez menos y, a que disminuya de forma progresiva longitudinalmente.

Al igual que sucede con la evolución de la velocidad vertical, la turbulencia es más acentuada en la primera sección, siendo en el resto de secciones inferior y presentando pocas variaciones en la columna vertical.

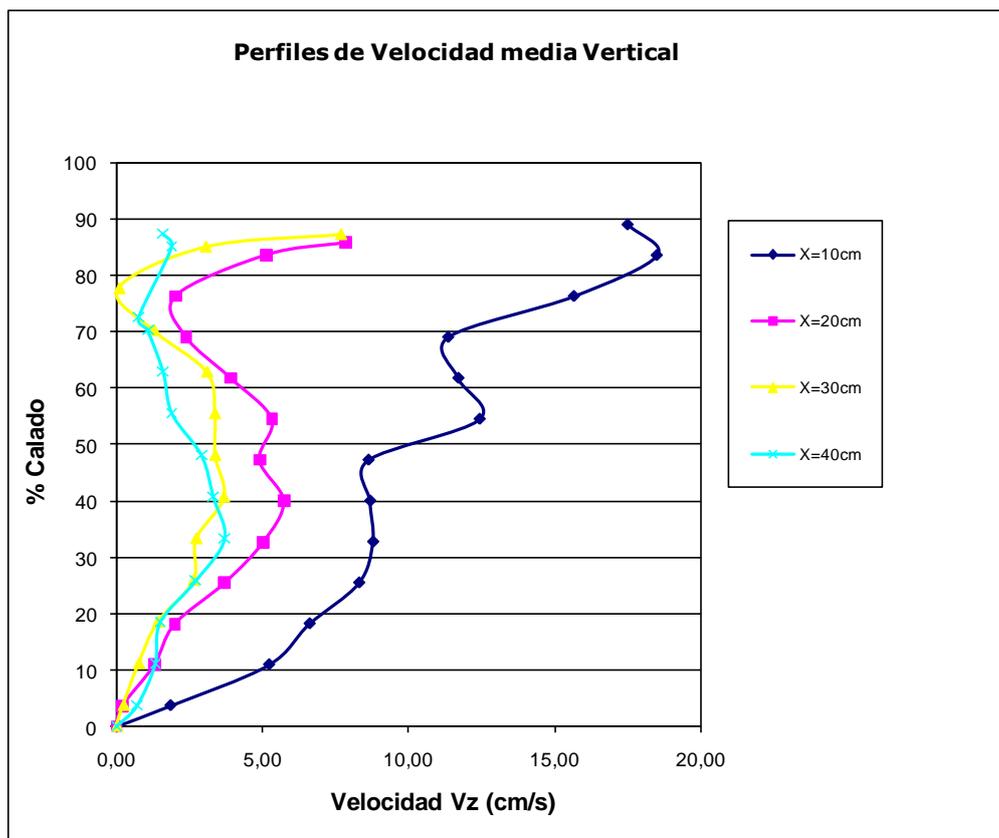


Figura 87: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=54$ cm.

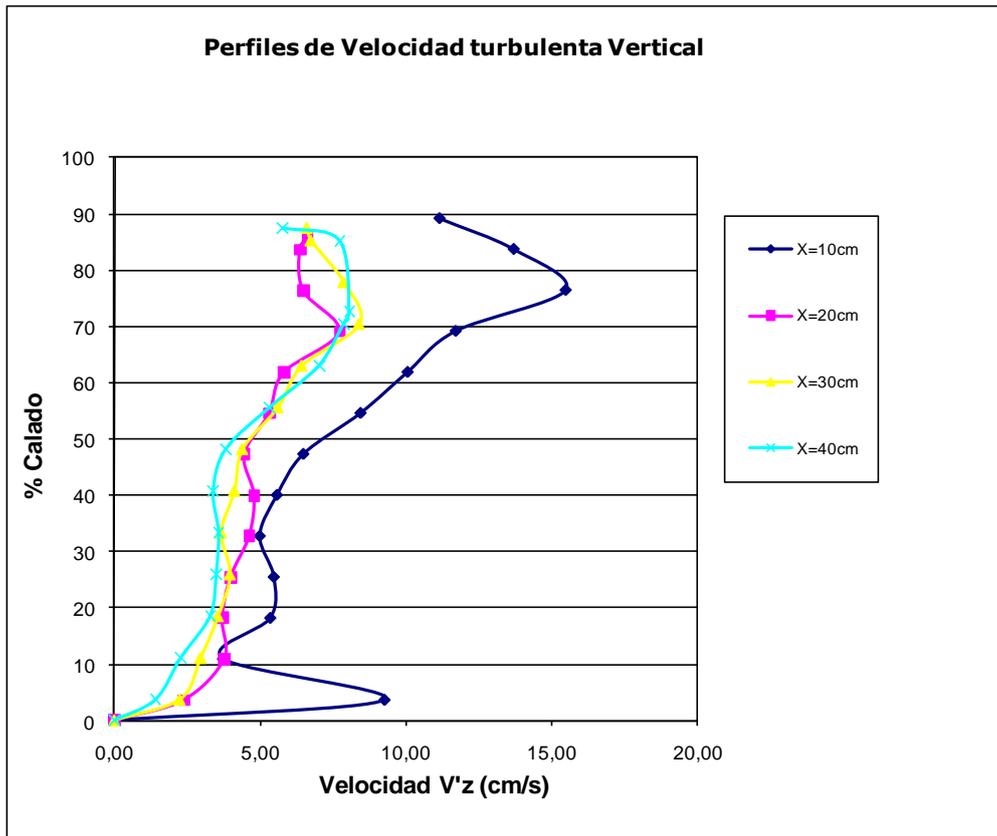


Figura 88: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=15.57$ l/s, $Y=54$ cm.

6.2. CAUDAL 24.45 l/s

- Colchón Y=13cm

La figura 89 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

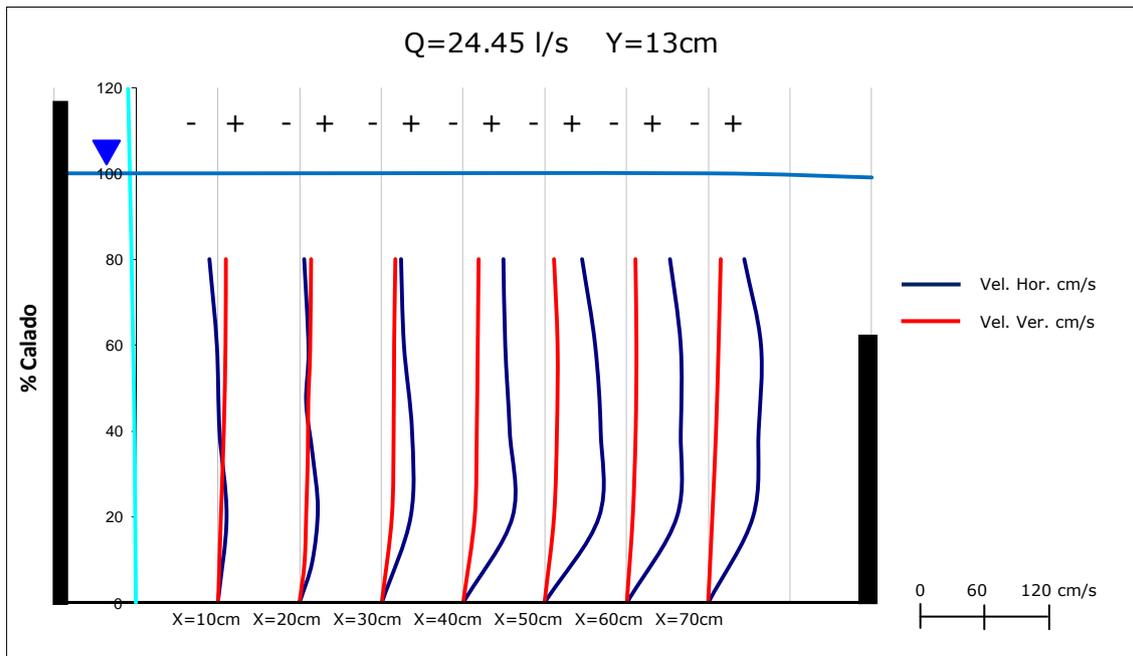


Figura 89: Perfiles de velocidad para un caudal de 24.45 l/s y un colchón de 13cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se midió un colchón de 13cm de calado medio en el cuenco de amortiguación, de los cuales 8cm correspondían a la altura de la barrera que hace las funciones de contrapresa y, los 5cm restantes se corresponden con la sobreelevación que produce el caudal trasegado.

La distribución de velocidades, tanto horizontales como verticales, es similar en todas las secciones estudiadas, si bien hay pequeñas diferencias entre unas y otras.

Las figuras 90 y 91 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

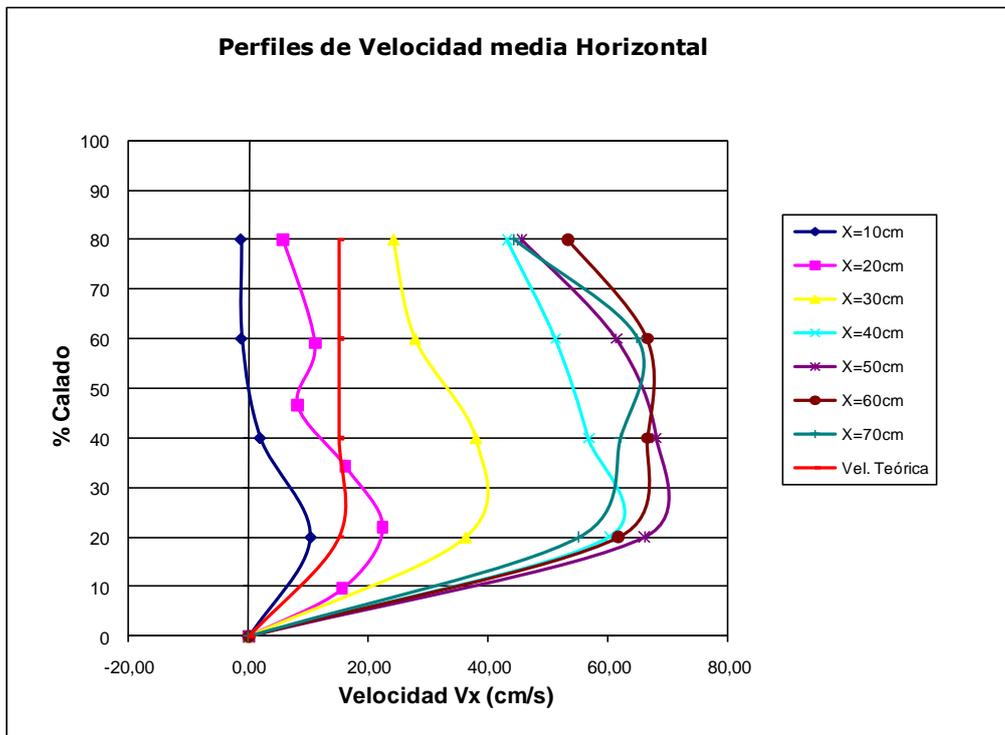


Figura 90: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=13$ cm.

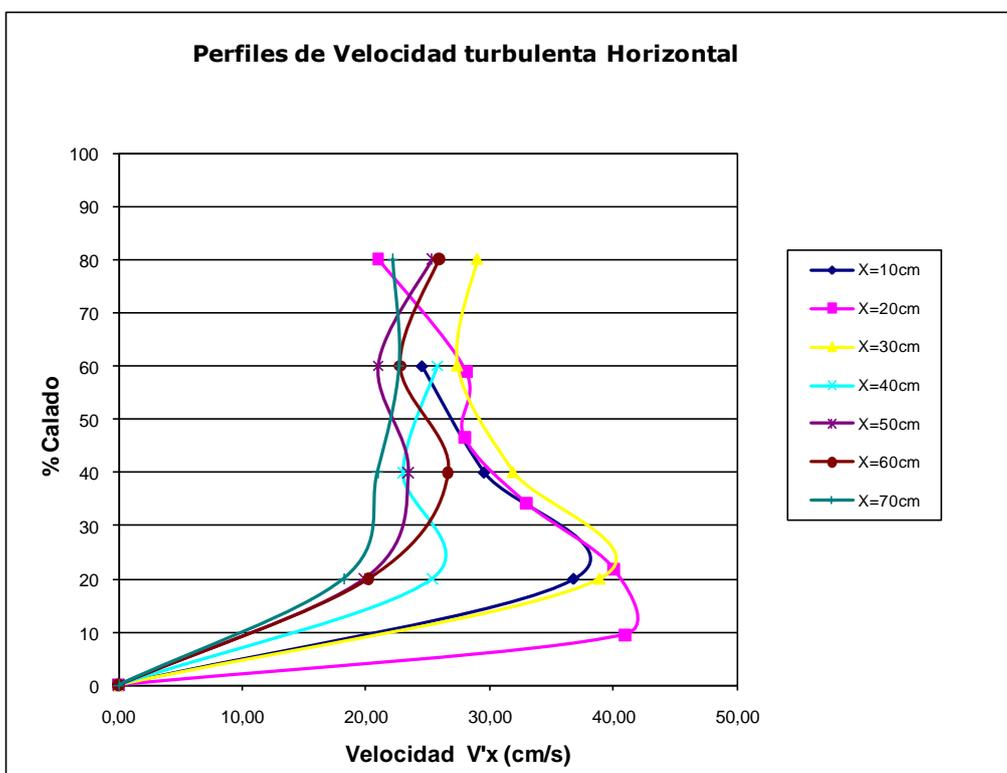


Figura 91: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=13$ cm.

Al inicio, sección X=10cm, la velocidad horizontal alcanza un máximo de 10.3 cm/s en el entorno del 20% del calado, para decaer esta velocidad hasta los -1.2 cm/s entorno al 80%. En las siguientes secciones, se genera un frente de velocidades en el cual la velocidad aumenta hasta un máximo, entorno al 20-60%, a partir del cual se mantiene constante hasta que disminuye ligeramente en la superficie, por ejemplo, en la sección X=70 cm, la velocidad aumenta en el intervalo entre el fondo y el 20% de calado hasta los 60 cm/s, se mantiene constante entre 20% y 65% del calado y disminuye hacia la superficie.

En cuanto a las velocidades turbulentas horizontales, en las tres primeras secciones se alcanza un máximo del perfil para el 20% del calado, punto a partir del cual la turbulencia desciende hasta la superficie. En el resto de secciones, la tendencia es a aumentar hasta un valor medio de 25cm/s, el cual se mantiene hasta la superficie.

Las figuras 92 y 93, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

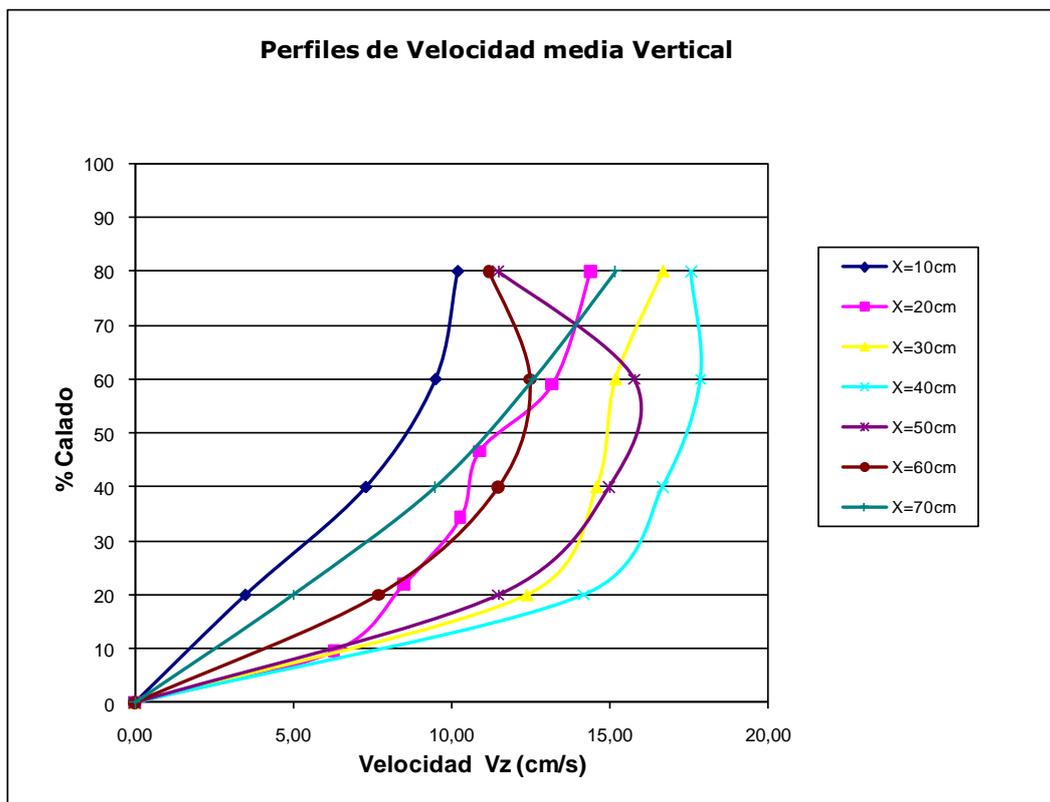


Figura 92: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=24.45 l/s, Y=13cm.

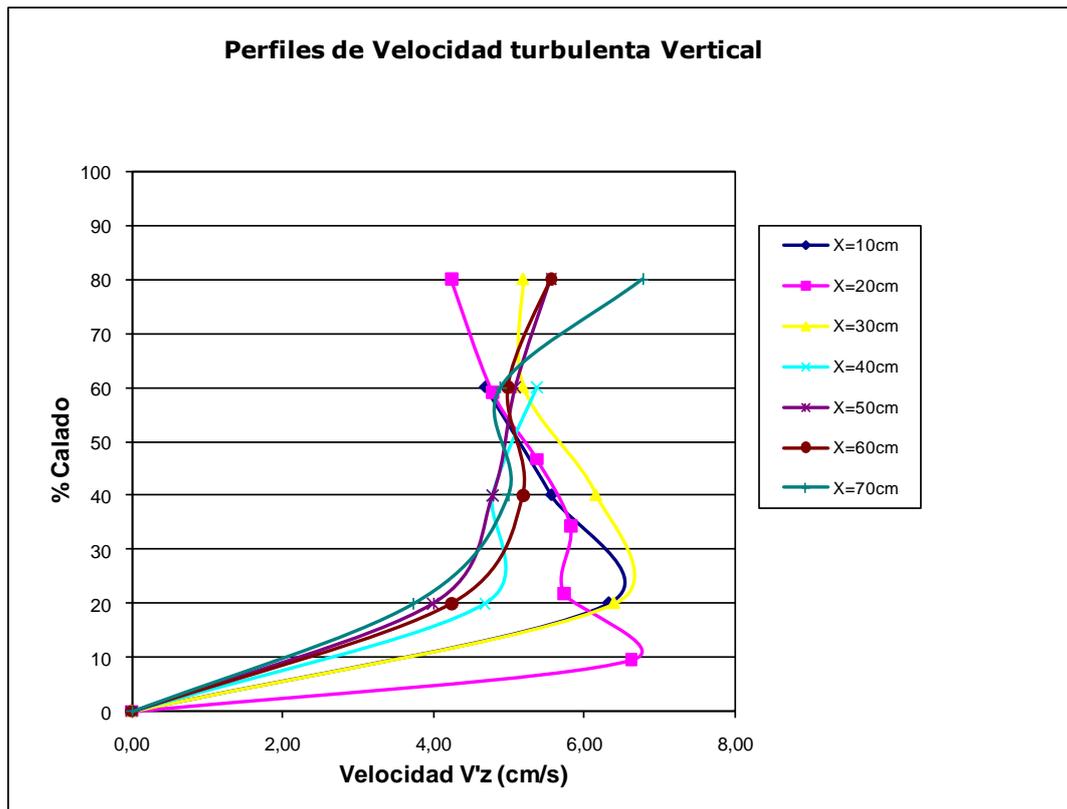


Figura 93: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=13$ cm.

Las velocidades verticales presentan una distribución muy parecida, en cada sección aumenta la velocidad hacia la superficie, si bien estos aumentos son cada vez menores conforme se aleja del punto de impacto del chorro. La sección con menor velocidad es la primera y, la sección $X=40$ cm es la que alcanza mayores flujos verticales.

En cuanto a las velocidades turbulentas verticales, al igual que sucede con la turbulencia horizontal, en las tres primeras secciones se alcanza un máximo del perfil para el 10-20% del calado, punto a partir del cual la turbulencia desciende hasta la superficie. En el resto de secciones, la tendencia es a aumentar hasta un valor medio de 5cm/s, el cual se mantiene hasta la superficie.

- **Colchón Y=21cm**

La figura 94 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

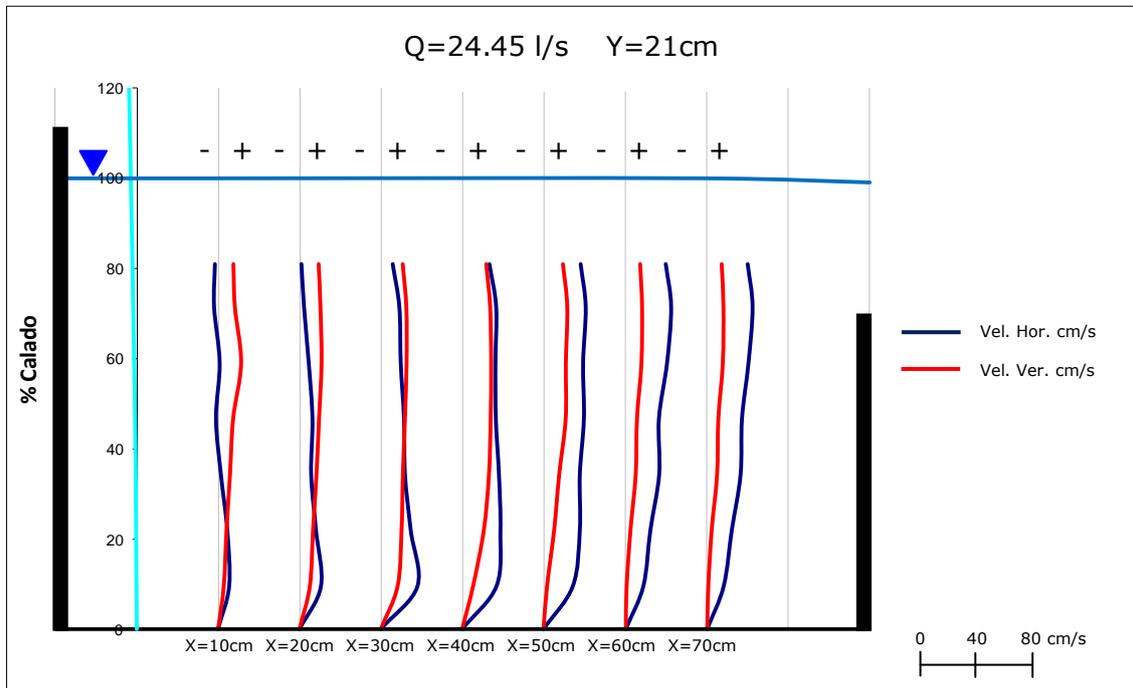


Figura 94: Perfiles de velocidad para un caudal de 24.45 l/s y un colchón de 21cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se registran velocidades en un colchón de 21cm de calado medio en el cuenco de amortiguación, de los cuales, 16cm, correspondían a la altura de la barrera que hace las funciones de contrapresa y, los 5cm restantes se corresponden con la sobre elevación que produce el caudal trasegado.

Al igual que en el colchón anterior la distribución de velocidades, tanto horizontales como verticales, es similar en todas las secciones estudiadas.

Las figuras 95 y 96 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

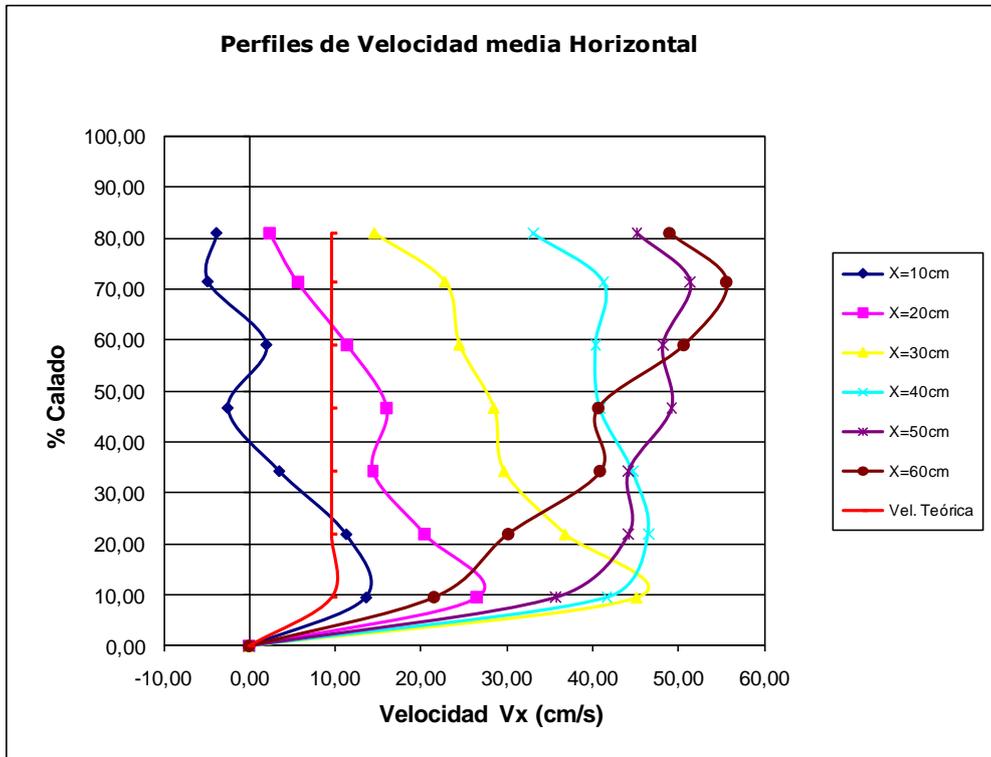


Figura 95: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=21$ cm.

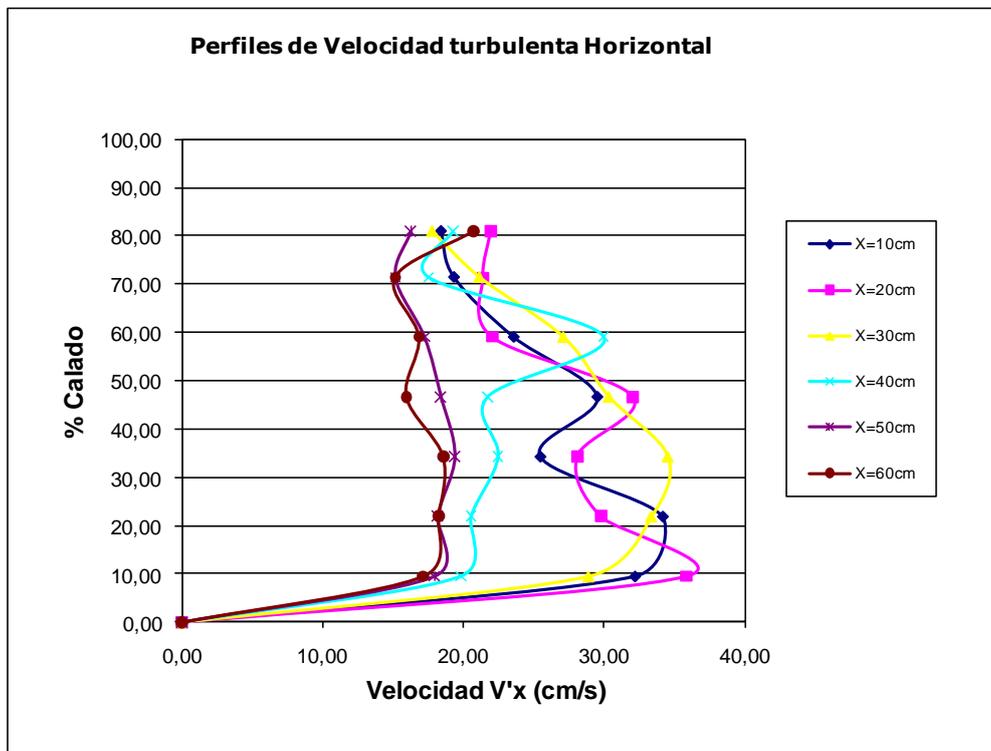


Figura 96: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=21$ cm.

Los perfiles de velocidades horizontales se pueden dividir en dos grupos, las tres primeras secciones, en las que se aprecian los efectos del resalto y las tres últimas secciones, en las cuales la distribución de velocidades tiende a aumentar hacia la superficie. En las secciones afectadas por el resalto, la forma de los perfiles es prácticamente la misma, pero el perfil se desplaza hacia la derecha, lo que implica que las velocidades son mayores. Esto puede deberse a la existencia de un flujo de fondo que no se ha podido captar con la distribución de los calados muestreados.

En cuanto a la turbulencia horizontal, las secciones afectadas por el resalto presentan valores de turbulencia mayores que el resto de los perfiles.

Las figuras 97 y 98, muestran los perfiles de velocidad media vertical y velocidad turbulenta vertical respectivamente.

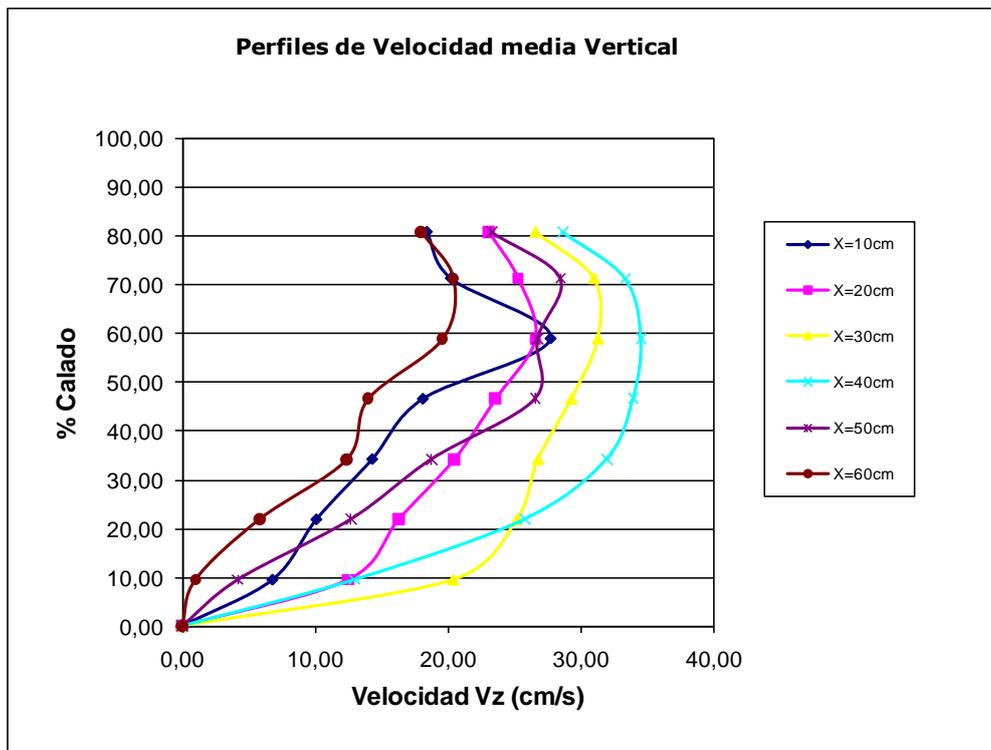


Figura 97: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=24.45 l/s, Y=21cm.

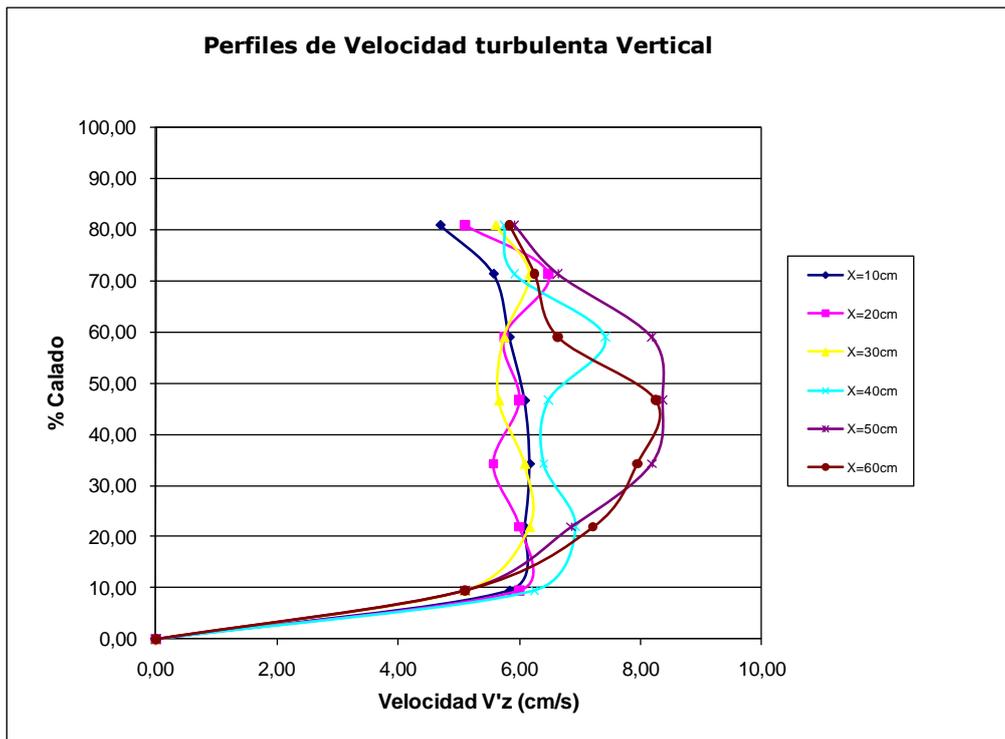


Figura 98: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=21$ cm.

Las velocidades verticales presentan una distribución muy parecida, en cada sección la velocidad aumenta hasta un máximo situado en el 60%, para después descender hacia la superficie. La máxima turbulencia se encuentra en la sección $X=40$ cm, donde se alcanzan los 35cm/s.

En cuanto a la turbulencia vertical, en las cuatro primeras secciones se mantiene aproximadamente un valor constante de turbulencia igual a 6cm/s. Para las secciones más alejadas del punto de impacto del chorro, la turbulencia aumenta respecto a las demás secciones entre el 20 y el 70% del calado, alcanzándose en el punto de mayor turbulencia los 8cm/s.

- **Colchón Y=31cm**

La figura 99 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

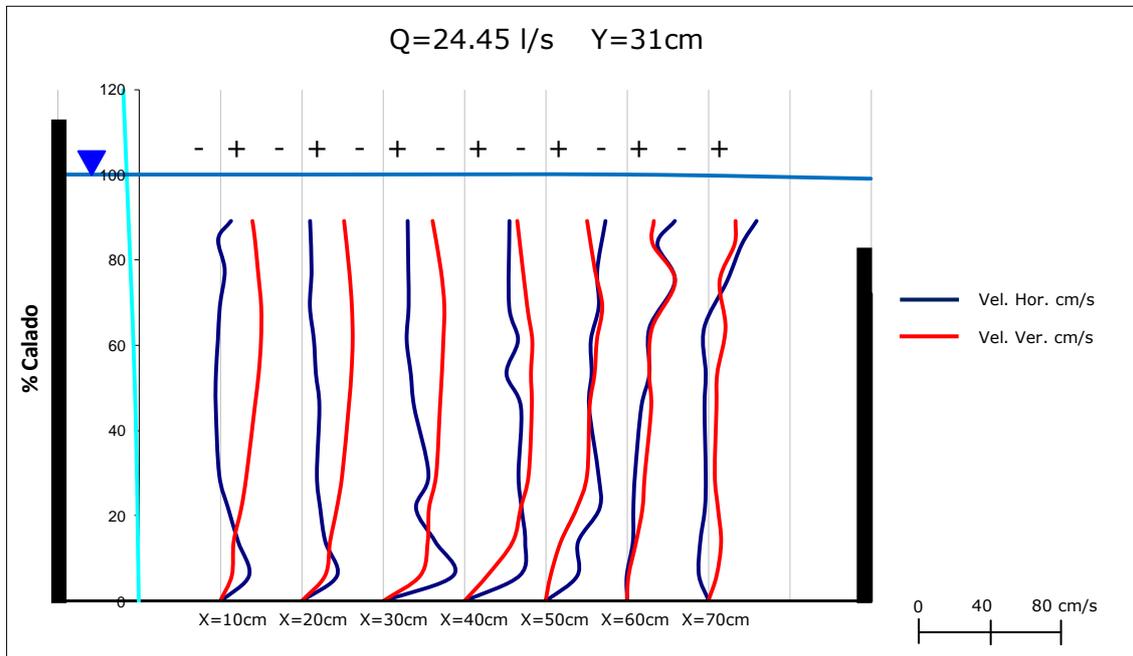


Figura 99: Perfiles de velocidad para un caudal de 24.45 l/s y un colchón de 31cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se dispuso un colchón de 31 cm, 24 de los cuales pertenecientes a la altura de las barreras y, 7cm a la sobreelevación del flujo, con este colchón se ha podido medir hasta un 90% del calado de 28 cm.

Las figuras 100 y 101 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

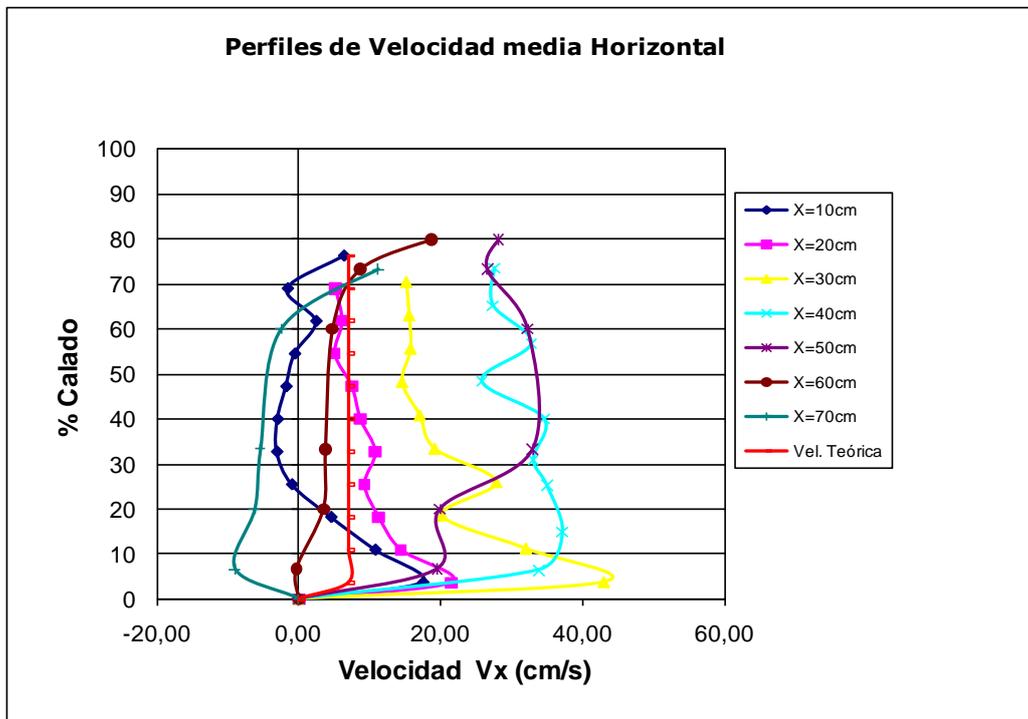


Figura 100: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=31$ cm.

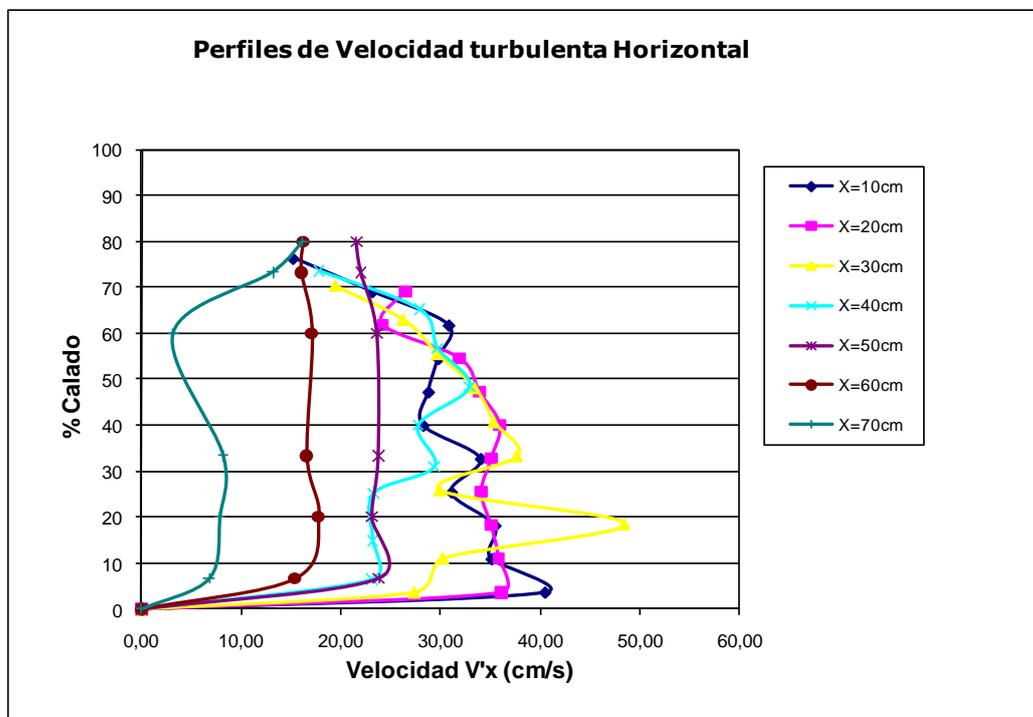


Figura 101: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=31$ cm.

Las velocidades horizontales sufren los mismos efectos que se vieron en el colchón de 21cm. Las secciones más cercanas al punto de impacto del chorro sufren las variaciones de velocidad típicas en un resalto hidráulico: velocidad máxima en las proximidades de la solera, disminución de la velocidad hasta el mínimo del perfil y posterior aumento hasta la superficie. En la cuarta sección la velocidad se mantiene constante aproximadamente en 35cm/s, disminuyendo a partir del 60% del calado. En las últimas secciones se produce una evolución de la velocidad hasta observar en la sección situada a 70cm la forma característica que presenta una sección bajo el efecto de la contrapresa.

En cuanto a la turbulencia horizontal, es máxima en las secciones afectadas por el resalto, disminuyendo progresivamente al alejarse del punto de impacto directo del chorro. El valor máximo de turbulencia se sitúa entorno a los 40cm/s y el mínimo es de 5cm/s.

Las figuras 102 y 103, muestran los perfiles de velocidad media vertical y velocidad turbulenta vertical respectivamente.

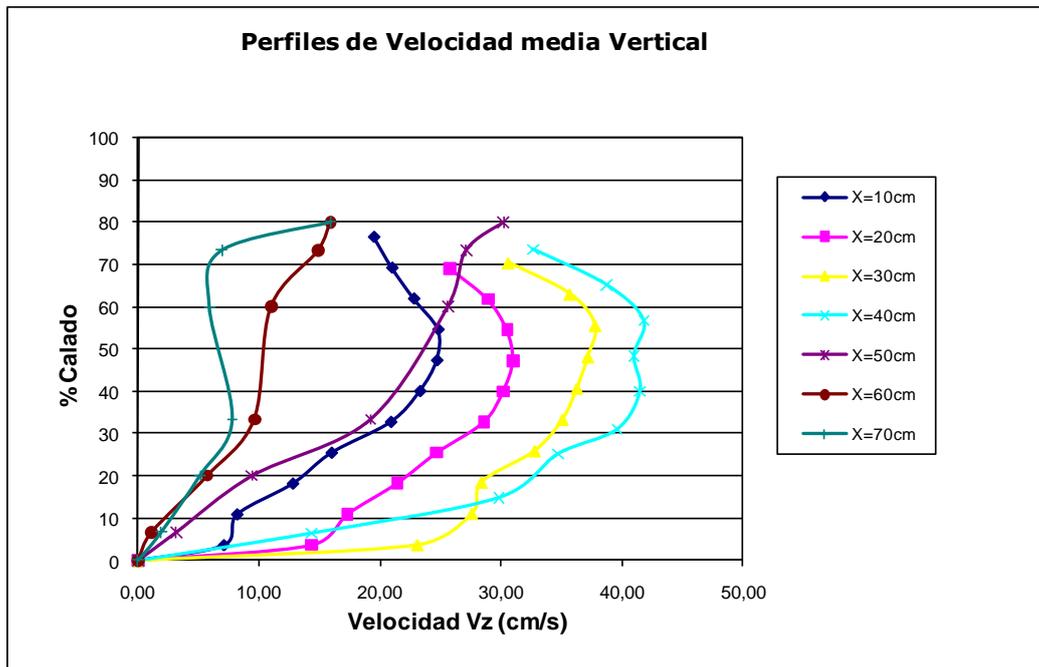


Figura 102: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=24.45 \text{ l/s}$, $Y=31\text{cm}$.

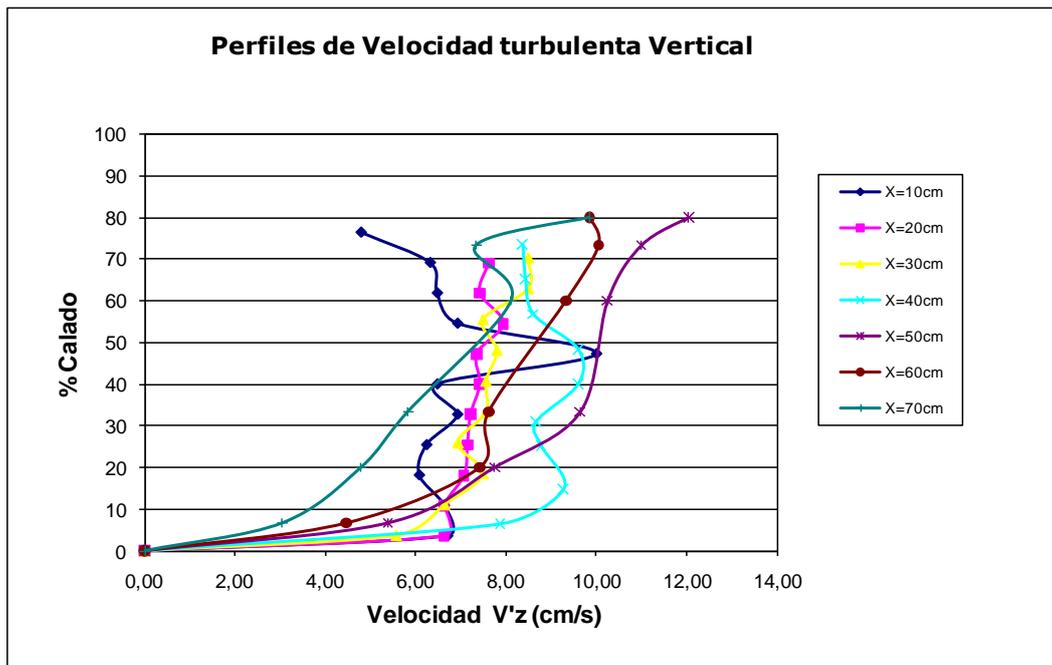


Figura 103: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=31$ cm.

Las cinco primeras secciones, las velocidades verticales presentan una distribución muy parecida, en cada sección la velocidad aumenta hacia la superficie. En las últimas secciones, $X=60$ cm y $X=70$ cm, se produce un descenso moderado de la velocidad.

Los valores de turbulencia vertical, se mantienen dentro del rango de 6-11cm/s, presentando pequeñas variaciones en cada perfil.

- **Colchón Y=40cm**

La figura 104 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

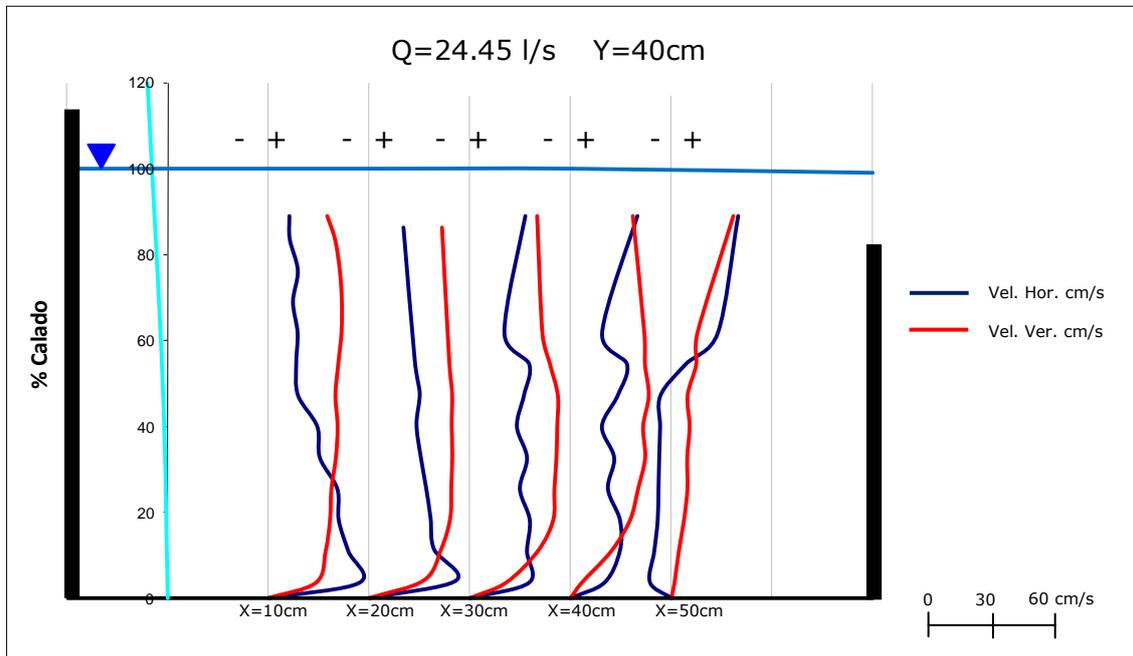


Figura 104: Perfiles de velocidad para un caudal de 24.45 l/s y un colchón de 40cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Para el colchón de 40cm se han medido los primeros 50cm desde el punto de impacto directo del chorro. Como se observa en la figura anterior, los efectos de la contrapresa se aprecian en la última sección medida.

Para un colchón de 31cm, los efectos producidos en las velocidades por el resalto son más apreciables que para colchones inferiores.

Las figuras 105 y 106 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

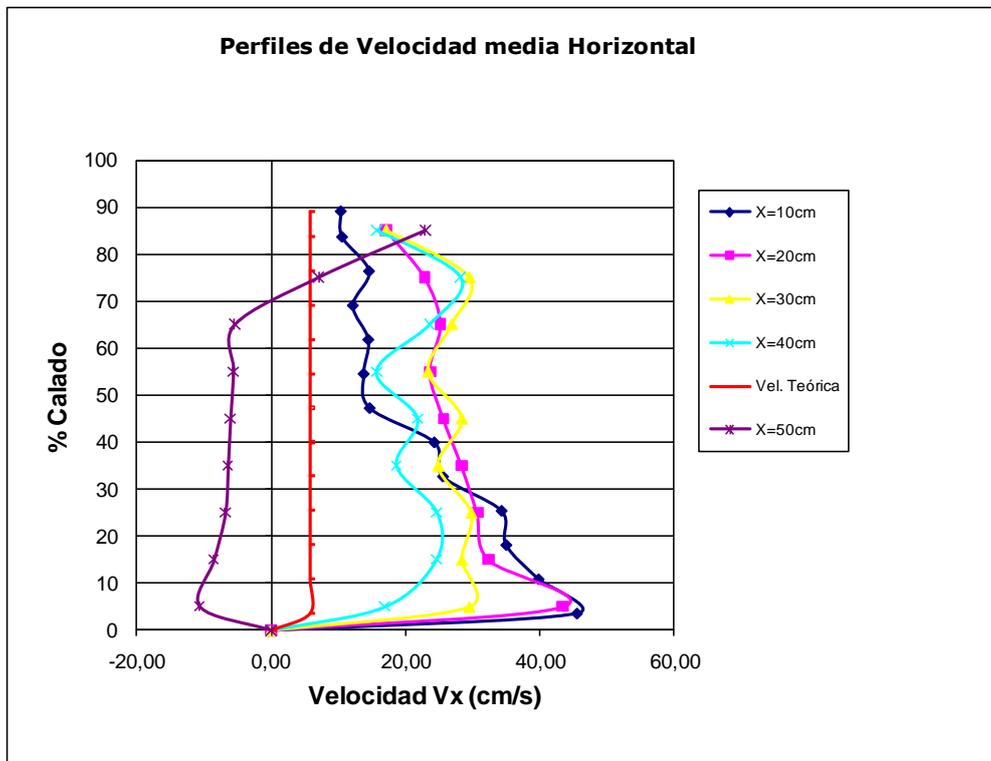


Figura 105: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=40$ cm.

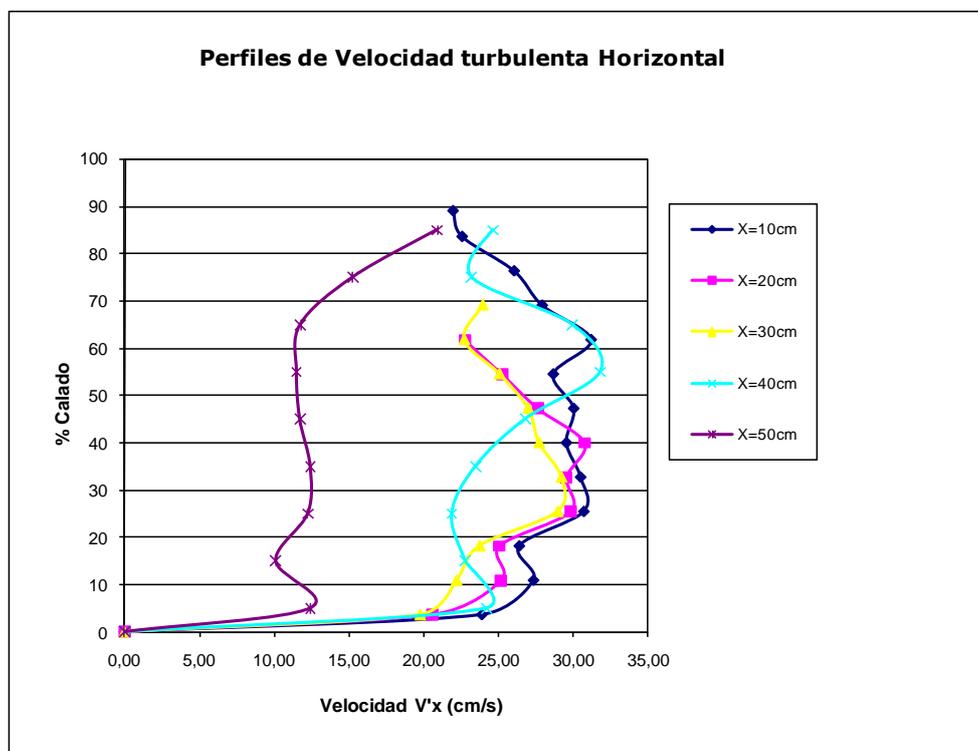


Figura 106: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=40$ cm.

En cuanto a las velocidades horizontales, los valores se mantienen aproximadamente constantes en las dos primeras secciones, en las cuales son apreciables los efectos del resalto. A partir de $X=30\text{cm}$, el perfil de velocidades de la sección se mantiene en toda la columna. Esta evolución se mantiene hasta que en la sección $X=50\text{cm}$ los efectos de la contrapresa están totalmente desarrollados.

Las figuras 107 y 108 muestran los perfiles de velocidad media vertical y turbulencia vertical respectivamente.

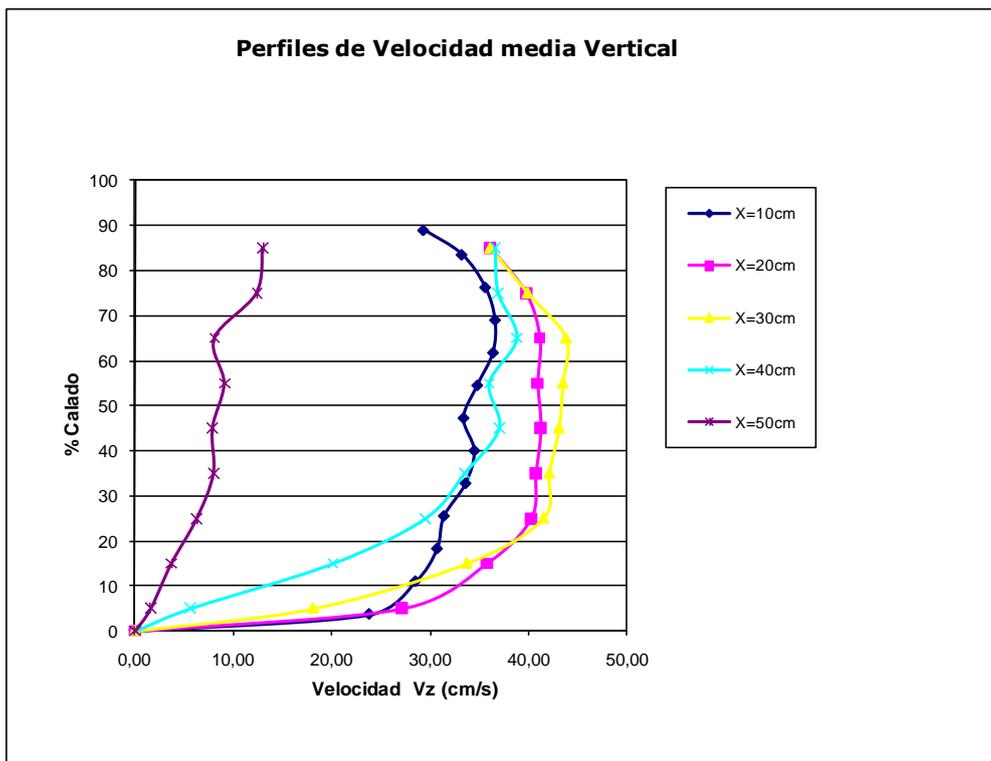


Figura 107: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=24.45\text{ l/s}$, $Y=40\text{cm}$.

Las cuatro primeras secciones mantiene la misma evolución. La velocidad aumenta hasta un valor que se mantiene constante, descendiendo ligeramente en la superficie. La última sección, al estar bajo el efecto de la contrapresa, presenta unos valores de velocidad vertical bajos respecto a las otras secciones.

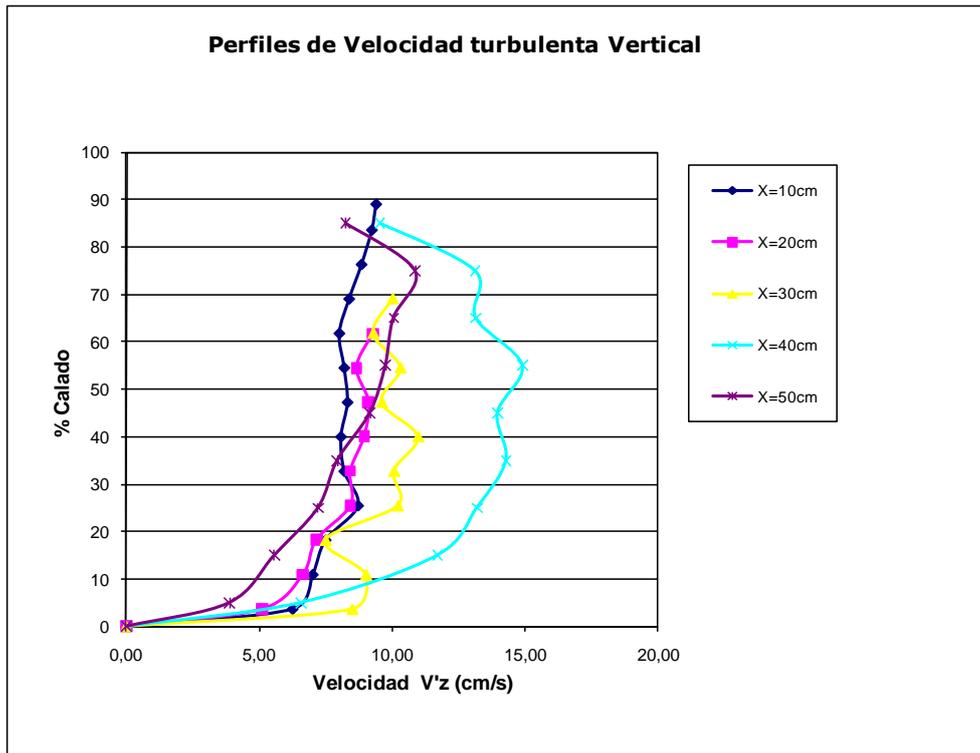


Figura 108: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=40$ cm.

Las turbulencias verticales se mantiene constantes en todas las secciones, si bien la sección $X=40$ presenta los máximos valores de turbulencia.

- **Colchón Y=48cm**

La figura 109 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

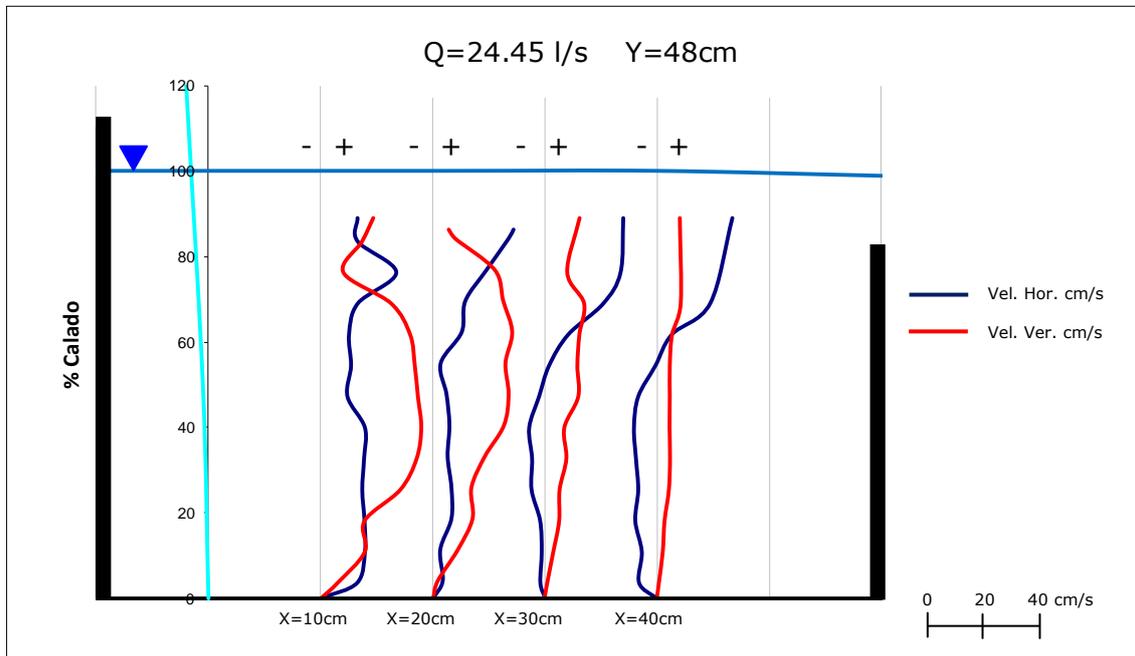


Figura 109: Perfiles de velocidad para un caudal de 24.45 l/s y un colchón de 48cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

El colchón de 48cm corresponde a una altura de barreras de 40 cm, más una sobreelevación de 8 cm. En este colchón se aprecia el efecto de la contrapresa a los 30cm, estando totalmente desarrollado a partir de los 40cm.

Las figuras 110 y 111 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

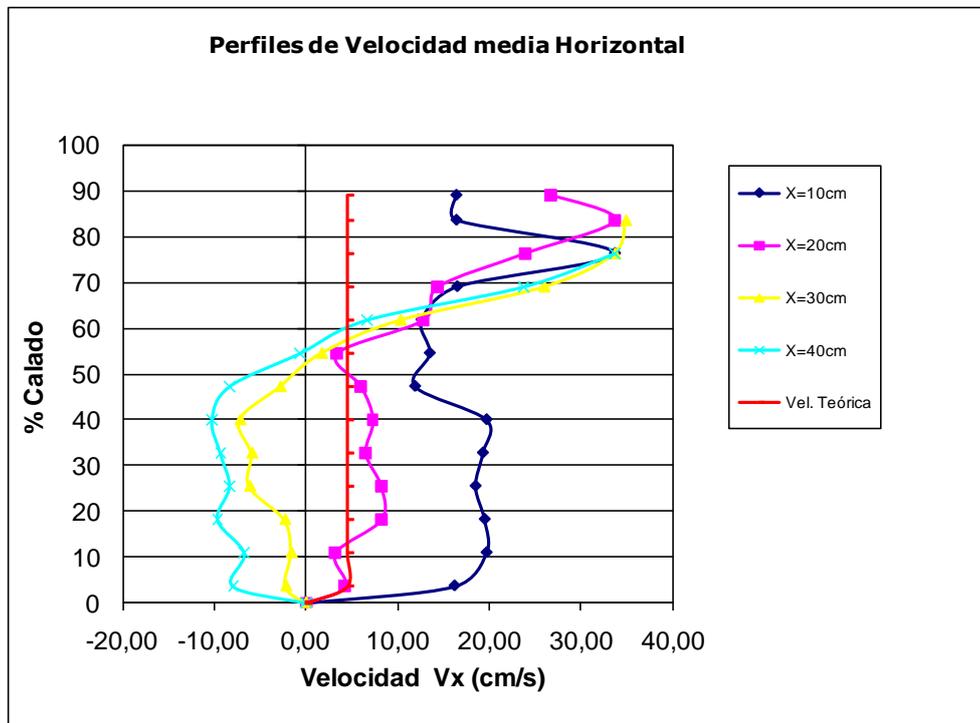


Figura 110: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=48$ cm.

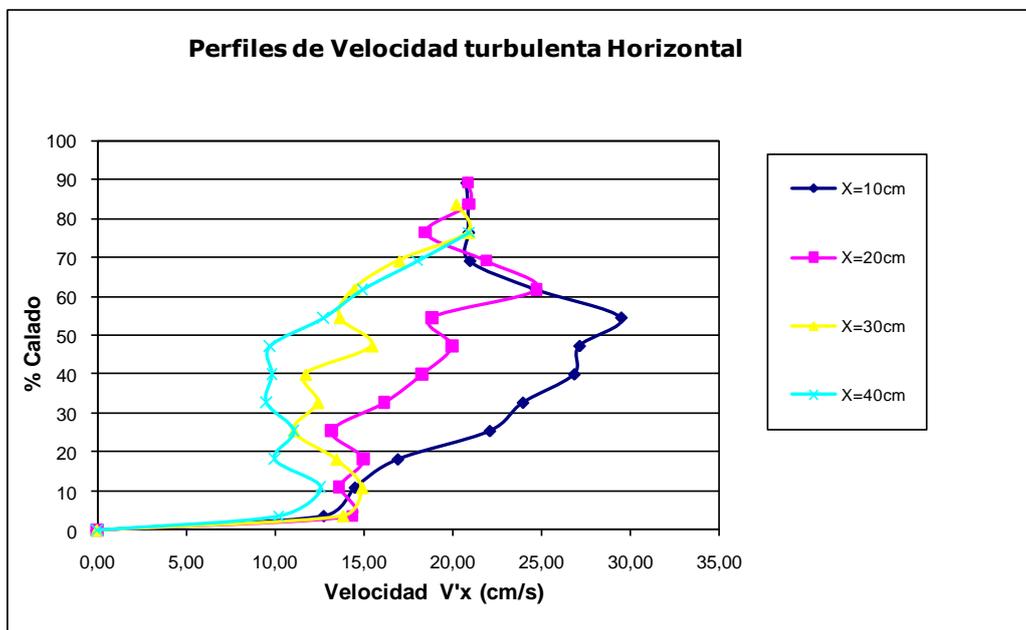


Figura 111: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=24.45$ l/s, $Y=48$ cm.

En cuanto a las velocidades medias horizontales, en la primera sección se observan variaciones producidas por el resalto, si bien la tendencia es a aumentar hacia la superficie. En la segunda sección se observan valores intermedios de velocidades entre la primera y la tercera secciones, siendo una sección de transición entre el resalto y los efectos de la contrapresa. En el resto de secciones son visibles los efectos de la contrapresa, acentuándose el efecto a partir de la tercera sección, es decir, aumentan las velocidades positivas en la superficie y las negativas en el fondo.

Respecto a la velocidad turbulenta, la mayor turbulencia la presenta la primera sección debido al resalto hidráulico producido en dicha sección, alcanzándose un máximo de 30cm/s para el 50% del calado. En las sucesivas secciones, la velocidad turbulenta disminuye en todo el perfil y su efecto tiende a aumentar desde el fondo hacia la superficie.

Las figuras 112 y 113, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

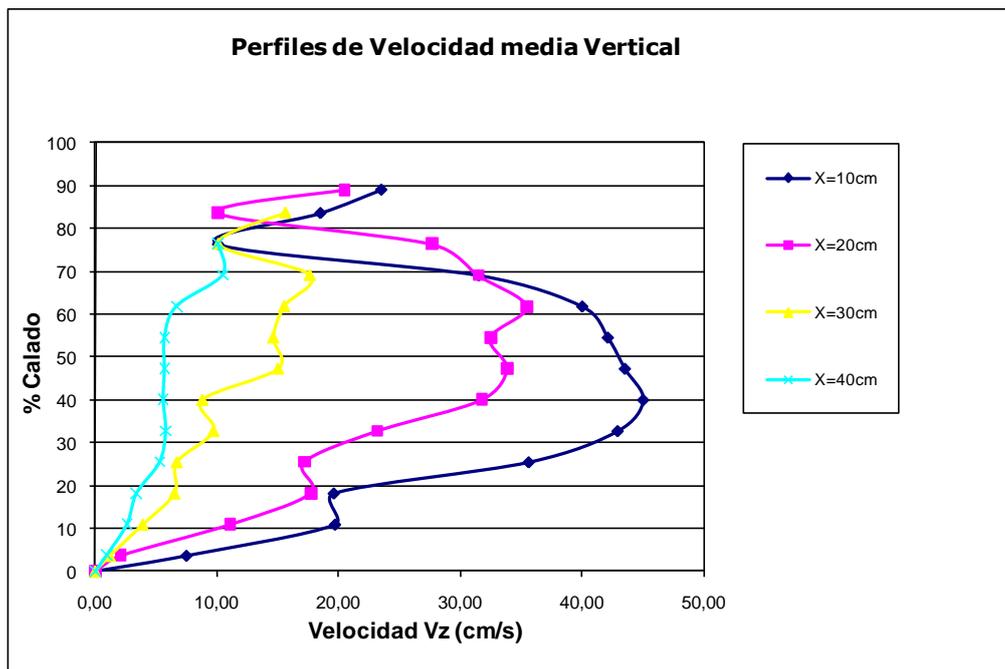


Figura 112: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=24.45 l/s, Y=48cm.

Las velocidades verticales alcanzan su máximo en el primer perfil. A partir de ahí, se produce un descenso progresivo de la velocidad vertical en cada perfil, visible hasta el 70% del calado, punto a partir del cual las velocidades verticales aproximadamente se igualan para todos los perfiles. La máxima velocidad se

produce en la primera sección para un calado del 40%, donde se alcanzan los 45cm/s.

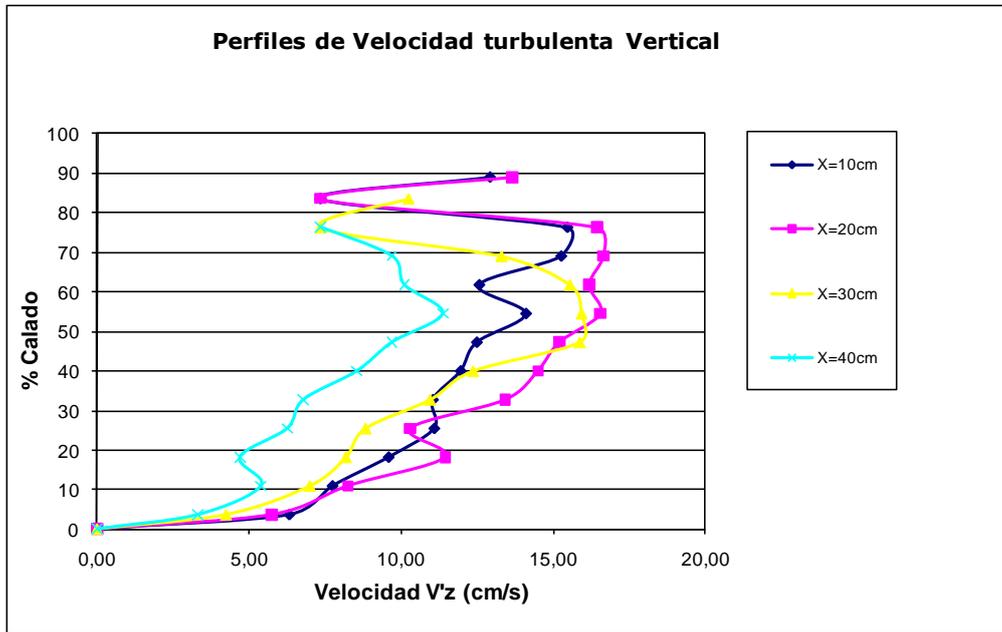


Figura 113: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=48$ cm.

Las velocidades turbulentas verticales aumentan progresivamente hasta la superficie. Entre el 70 y el 80% del calado se produce un descenso de la turbulencia vertical en todas las secciones, una vez se ha alcanzado el mínimo, vuelve a aumentar hasta el 90% del calado. La máxima turbulencia vertical se da a los 20cm del punto de impacto del chorro y, la mínima en la sección final.

- **Colchón Y=54cm**

La figura 114 muestra la distribución general de las velocidades medias horizontales y verticales

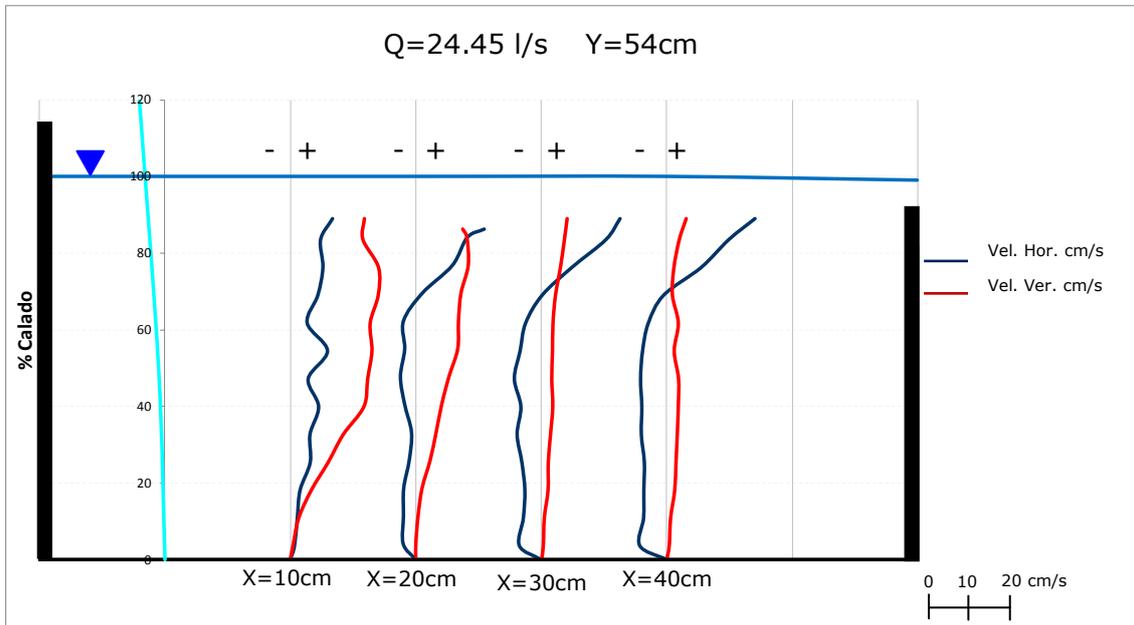


Figura 114: Perfiles de velocidad para un caudal de 24.45 l/s y un colchón de 54cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

El colchón de 54 cm es el más grande medido con el caudal de 24.45 l/s. Se corresponde con una altura de barreras de 48 cm, más una sobreelevación de 6 cm. Se observa que el efecto de las barreras comienza a notarse a partir de la segunda sección y, sus efectos se acentúan en las posteriores secciones.

Las figuras 115 y 116 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

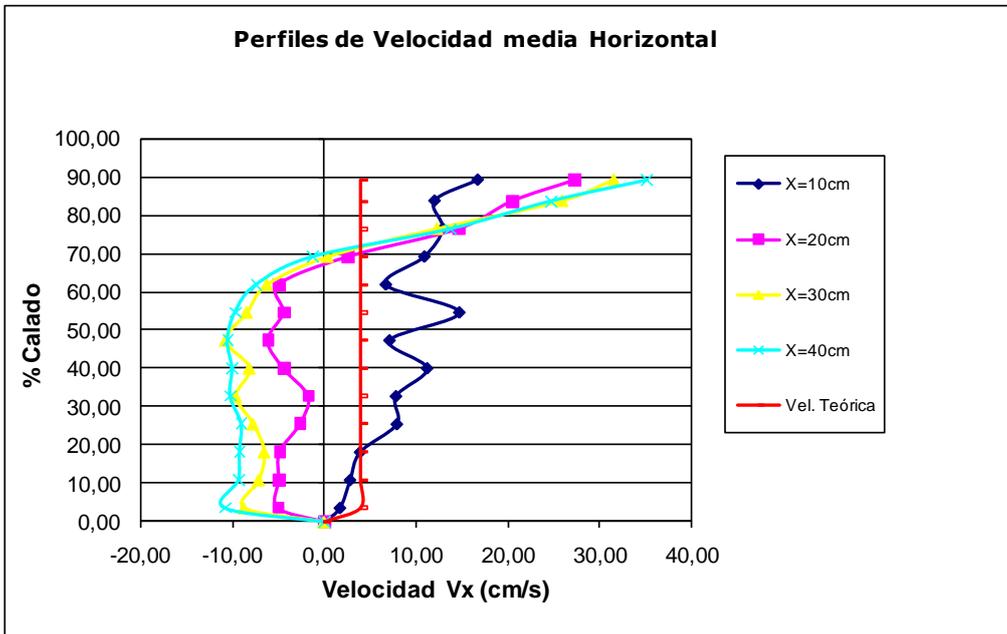


Figura 115: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=24.45 \text{ l/s}$, $Y=54\text{cm}$.

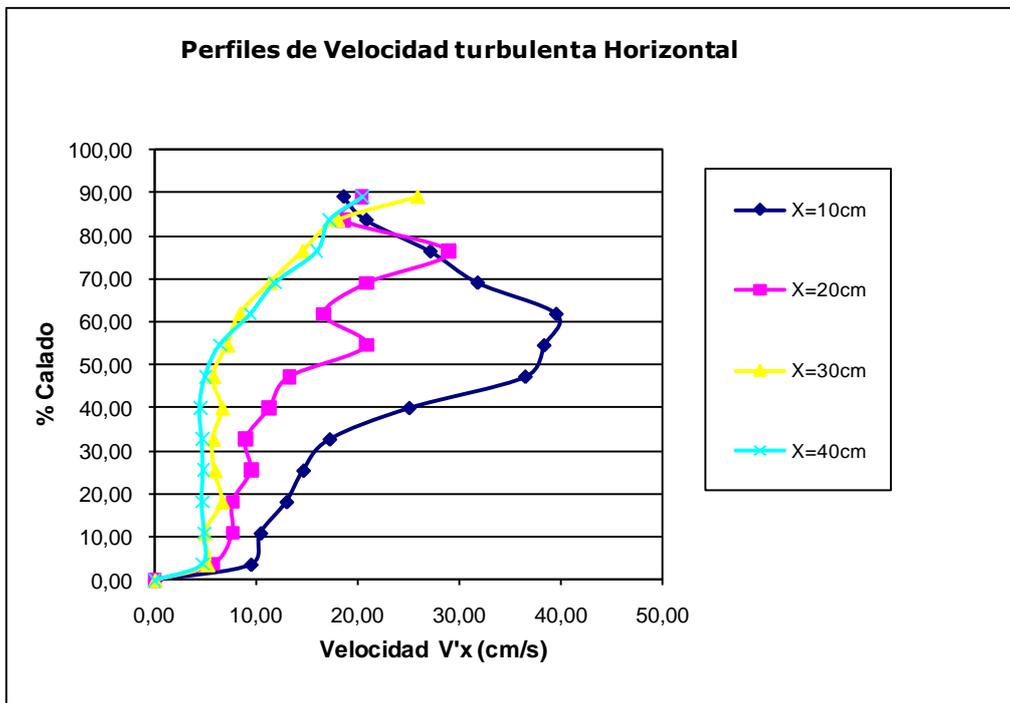


Figura 116: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=24.45 \text{ l/s}$, $Y=54\text{cm}$.

Las velocidades medias horizontales en la primera sección se observan variaciones producidas por el resalto, si bien la tendencia es a aumentar hacia la superficie. En el resto de secciones son visibles los efectos de la contrapresa, acentuándose el efecto a partir de la tercera sección, es decir.

Respecto a la velocidad turbulenta, la mayor turbulencia la presenta la primera sección debido al resalto hidráulico producido en dicha sección alcanzándose un máximo de 40cm/s para el 60% del calado. En las sucesivas secciones, la velocidad turbulenta disminuye en todo el perfil y su distribución es la siguiente: desde la solera presenta un valor constante, que se mantiene hasta el 50% del calado, punto a partir del cual aumenta hacia la superficie.

Las figuras 117 y 118, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

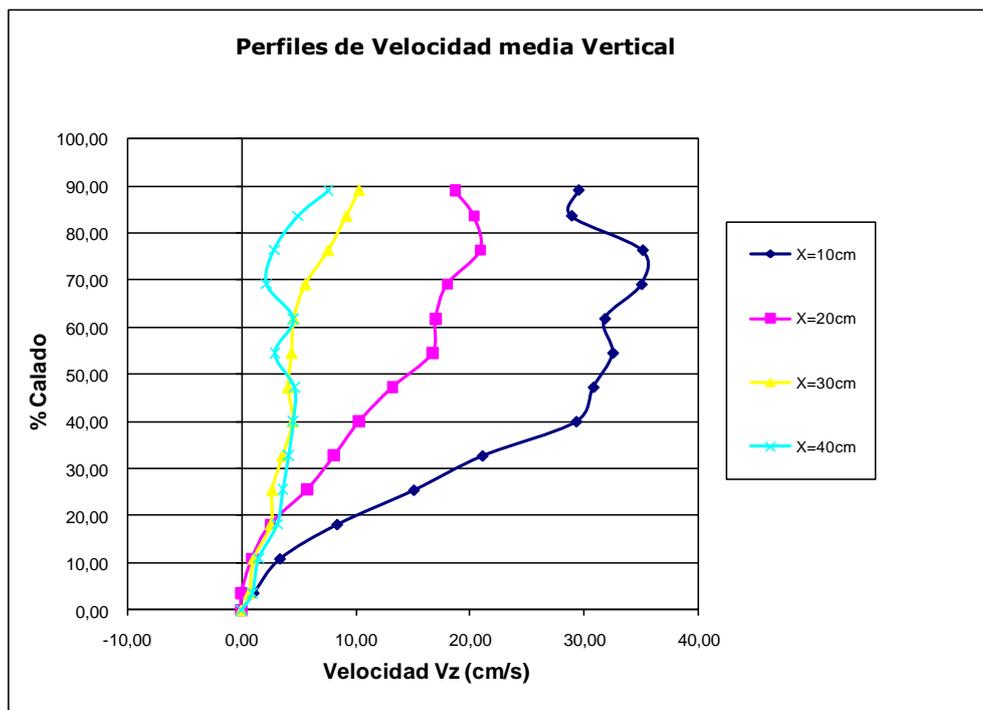


Figura 117: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=54$ cm.

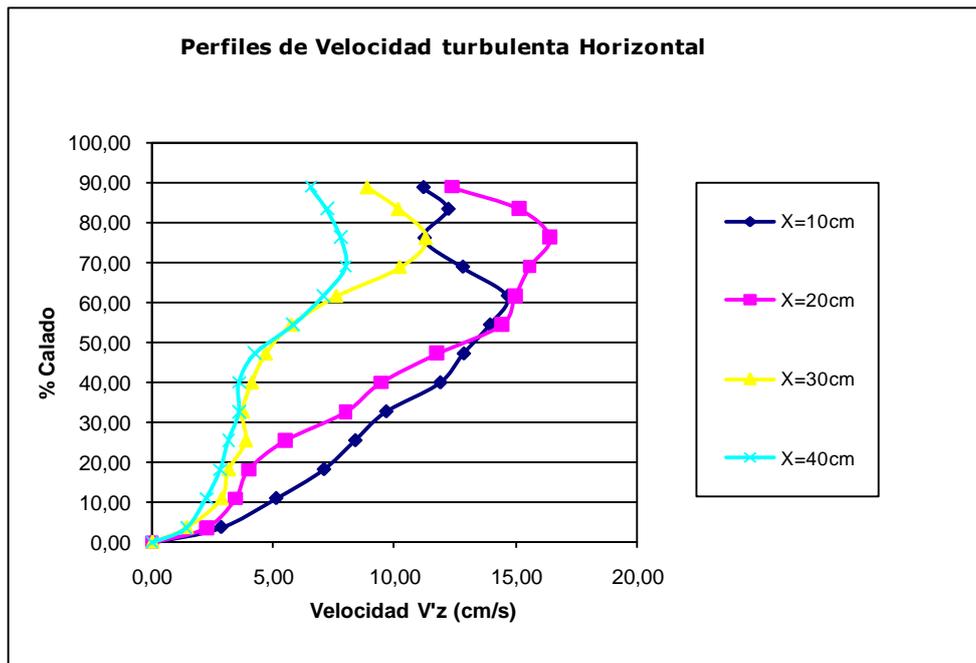


Figura 118: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=24.45$ l/s, $Y=54$ cm.

Las velocidades verticales son máximas en la primera y segunda secciones, donde hay mayor turbulencia debida al resalto. La tendencia a partir de la tercera sección y, en adelante, es a aumentar verticalmente cada vez menos y, a disminuir de forma progresiva longitudinalmente.

En cuanto a las velocidades turbulentas verticales, de forma general, aumentan hasta el máximo de cada sección, que se sitúa entorno al 75% del calado, excepto en la primera sección, en la que el máximo se alcanza para el 60% del calado. En todas las secciones, una vez alcanzado el máximo se produce un descenso de la turbulencia vertical hacia la superficie. La sección que presenta mayor turbulencia vertical es la situada a 20cm desde el punto de impacto del chorro.

6.3. CAUDAL 49 l/s

- Colchón Y=16 cm

La figura 119 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

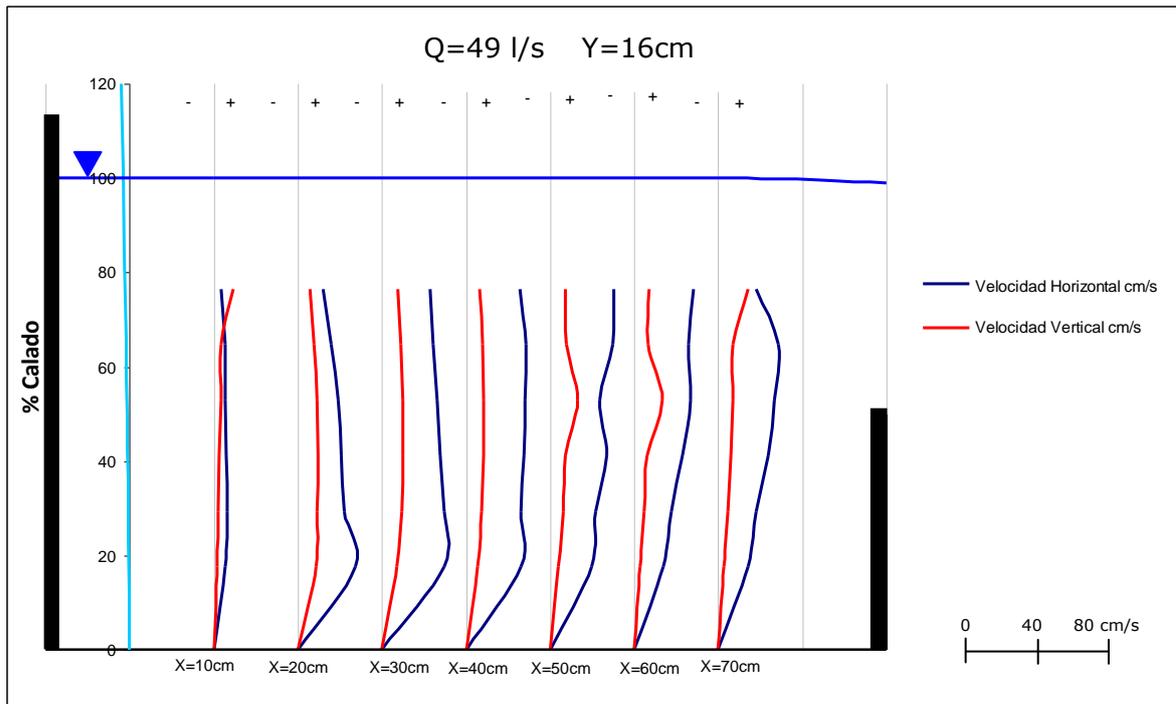


Figura 119: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 16cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se midió un colchón de 16cm de calado medio en el cuenco de amortiguación, de los cuales, 8cm, correspondían a la altura de la barrera que hace las funciones de contrapresa y, los 8cm restantes se corresponden con la sobreelevación que produce el caudal trasegado.

La distribución de velocidades, tanto horizontales como verticales, es similar en todas las secciones estudiadas, si bien hay pequeñas diferencias entre unas y otras.

Las figuras 120 y 121 muestran respectivamente los perfiles de velocidad horizontal media y velocidad turbulenta.

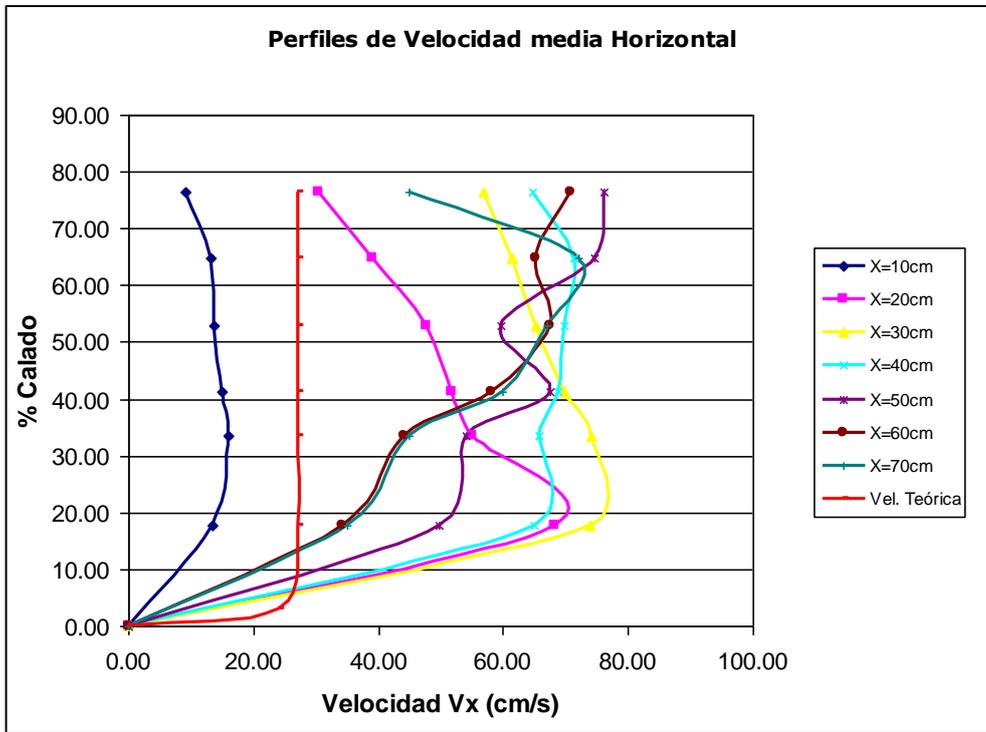


Figura 120: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=16$ cm.

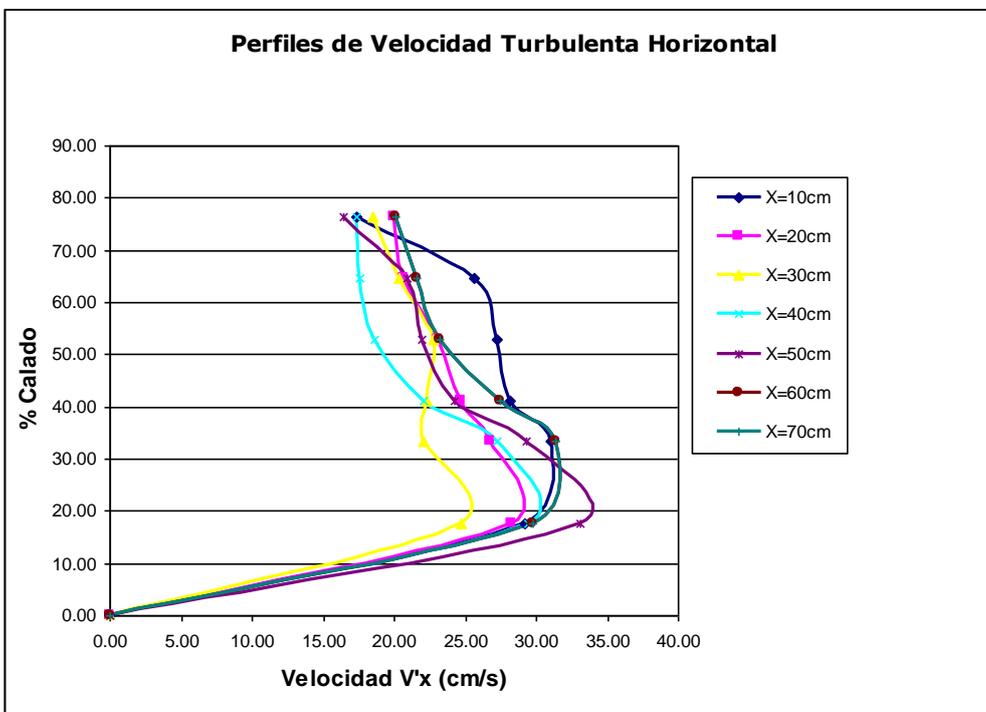


Figura 121: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=16$ cm.

En la sección X=30cm, la velocidad horizontal alcanza un máximo de 75 cm/s en el entorno del 20% del calado. A partir de este calado, la velocidad disminuye progresivamente hasta los 57 cm/s en el 80% del calado. En las siguientes secciones, la máxima velocidad se alcanza para calados cada vez mayores. Las distribuciones de velocidad se van alejando de la forma de la velocidad teórica al alejarse del punto de impacto del chorro, debido a los efectos de la contrapesa.

En general, la velocidad turbulenta horizontal se mantiene a lo largo de todo el cuenco entorno al 20% del calado, alcanzando valores de turbulencia entre 26 y 34 cm/s en las secciones X=30, X=50, respectivamente. Después de llegar al máximo, la velocidad turbulenta va disminuyendo hasta la superficie.

Las figuras 122 y 123 muestran respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

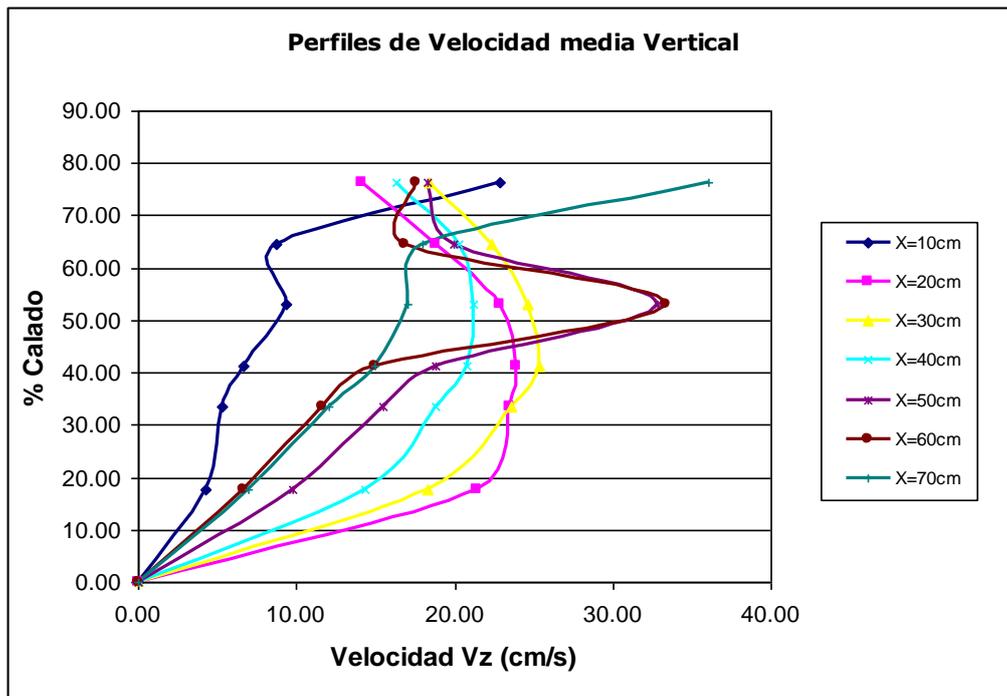


Figura 122: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=49 l/s, Y=16cm.

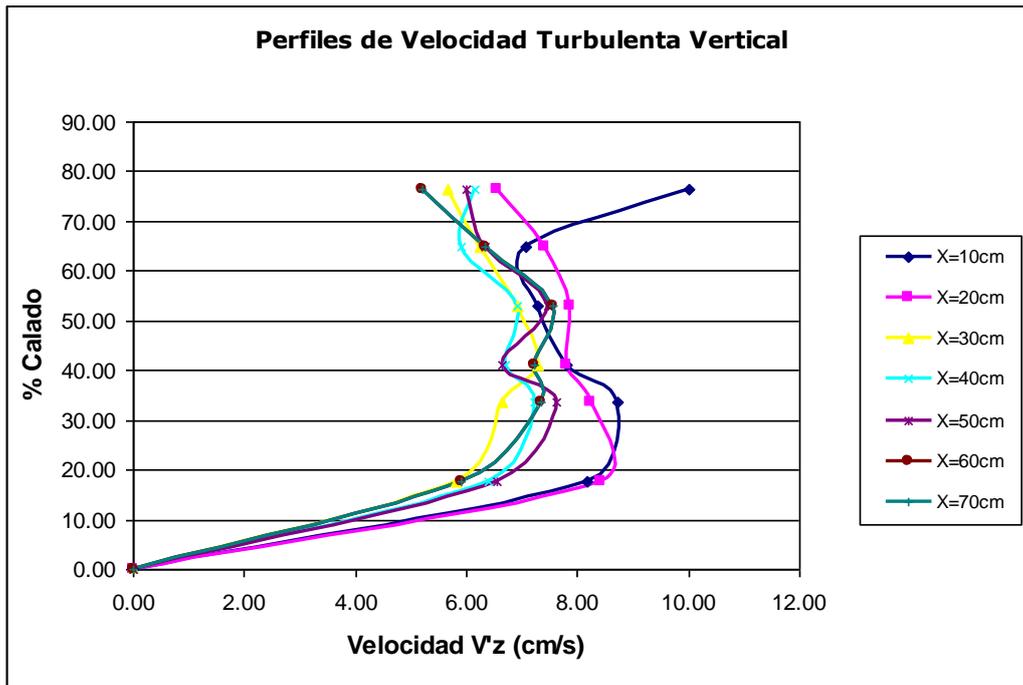


Figura 123: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49$ l/s, $Y=16$ cm.

Las velocidades verticales, en todas las secciones son inferiores a las velocidades horizontales. Son máximas en la sección $X=30$ cm, y decaen a partir de esta sección.

En cuanto a la turbulencia vertical, es prácticamente la misma en todos los perfiles y, al igual que le sucede a la turbulencia horizontal, los valores de desviación ascienden hasta un máximo, que se sitúa en torno al 30% del calado y, desciende en la superficie.

Los valores máximos de turbulencia se sitúan entre los 6.5 y los 9 cm/s, siendo inferiores que los de turbulencia horizontal (figura 62).

- **Colchón Y=24cm**

La figura 124 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

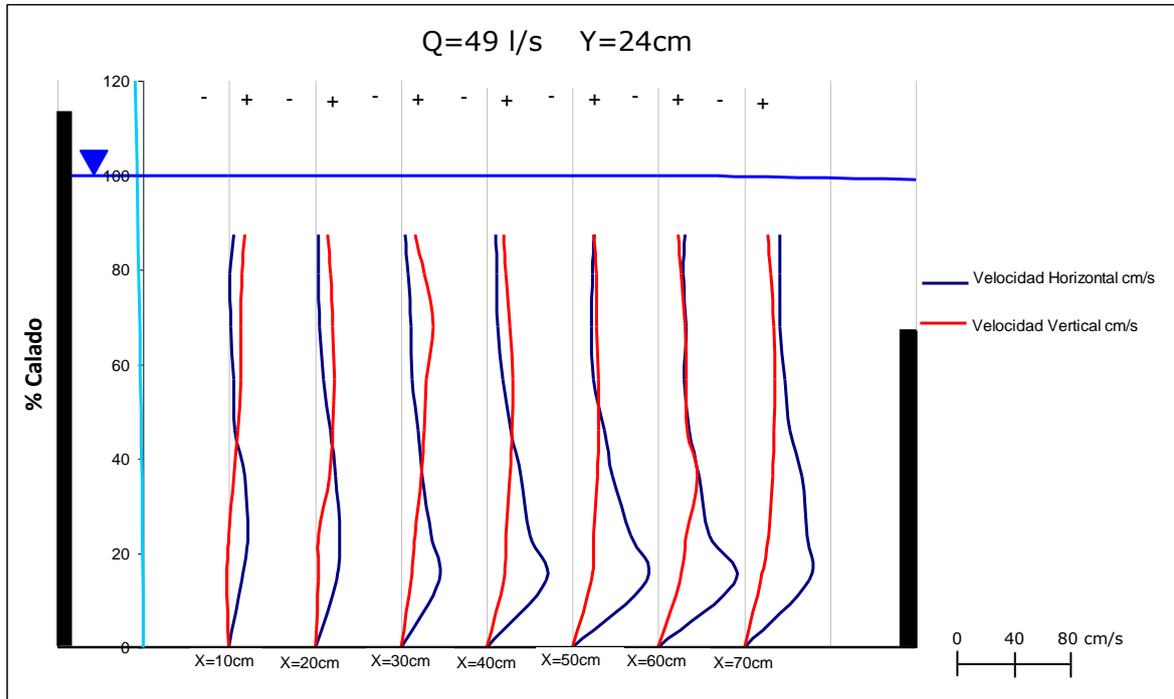


Figura 124: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 24cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Se midieron velocidades con un colchón de 24cm de calado medio en el cuenco de amortiguación, de los cuales, 16cm, correspondían a la altura de la barrera que hace las funciones de contrapresa.

Las figuras 125 y 126, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

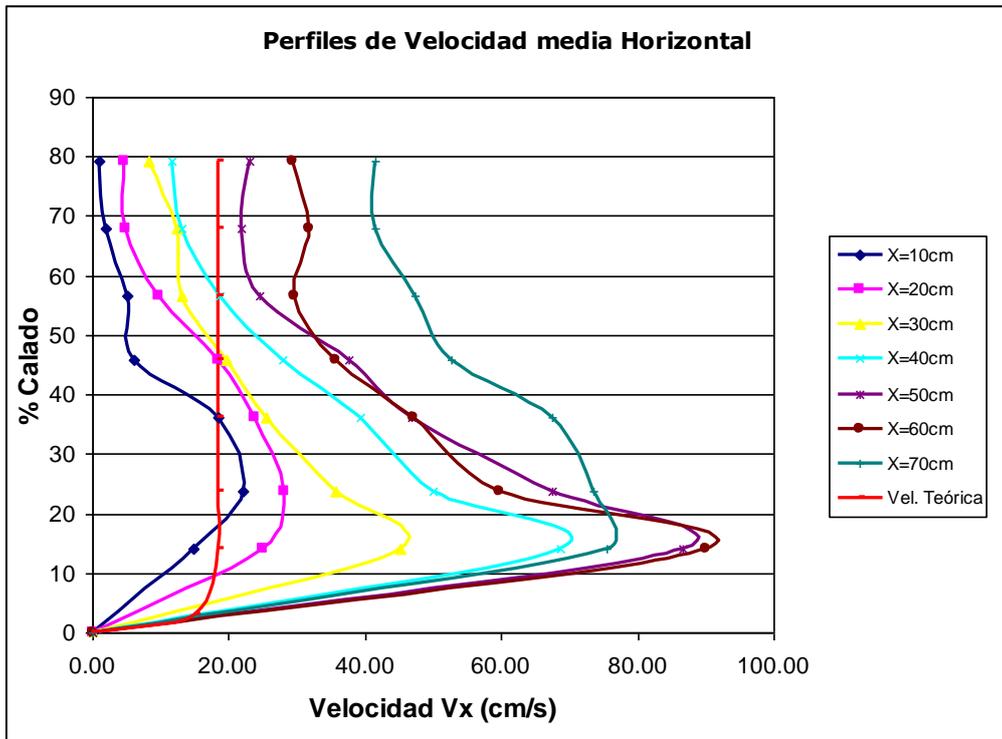


Figura 125: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=24$ cm.

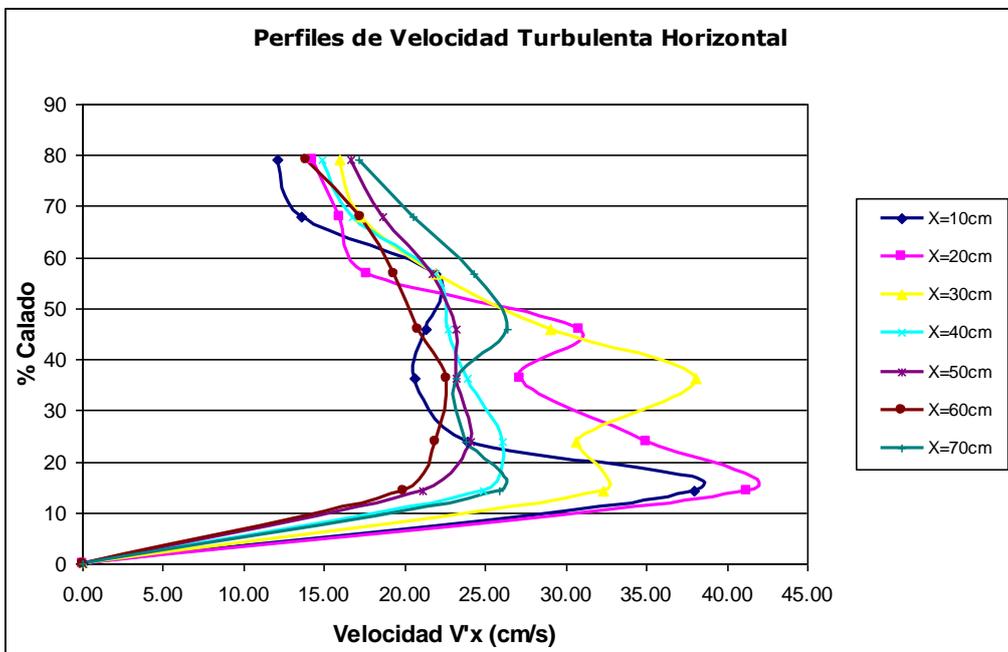


Figura 126: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=24$ cm.

Los efectos del resalto son visibles en todas las secciones estudiadas. Se producen velocidades máximas positivas en las proximidades de la solera que aumentan con la distancia al punto de impacto del chorro. Conforme aumenta el calado en la sección, la velocidad decae pero nunca llega a ser negativa.

La disminución de velocidad producida por efectos del resalto es cada vez menor cuanto más se aleja del punto de impacto del chorro.

No son visibles los efectos de las barreras. Esto es debido a que conforme disminuye el colchón de agua, los efectos de las barreras se empiezan a notar en secciones cada vez más alejadas.

En cuanto a las velocidades turbulentas horizontales, en las primeras secciones son apreciables las variaciones producidas por el resalto hidráulico. Al alejarse del punto de impacto del chorro, la evolución horizontal de las velocidades turbulentas presenta una distribución similar a la que se da para el colchón inferior. Se produce un aumento de la turbulencia en el fondo alcanzando el máximo, entorno al 15% del calado, para después disminuir lentamente hasta la superficie.

Las figuras 127y 128 muestran respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

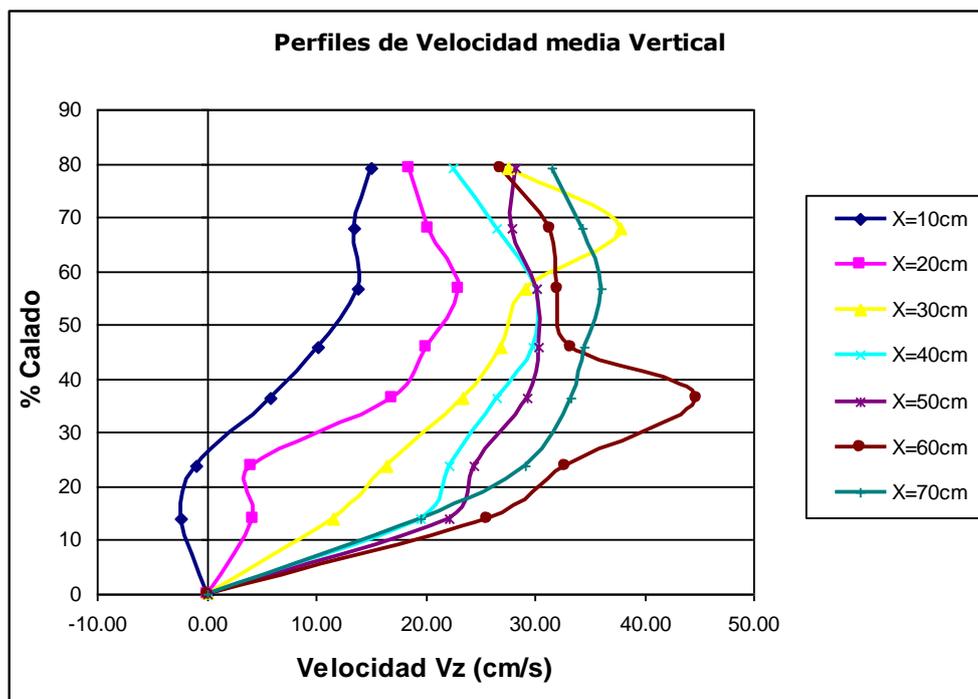


Figura 127: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=49 \text{ l/s}$, $Y=24\text{cm}$.

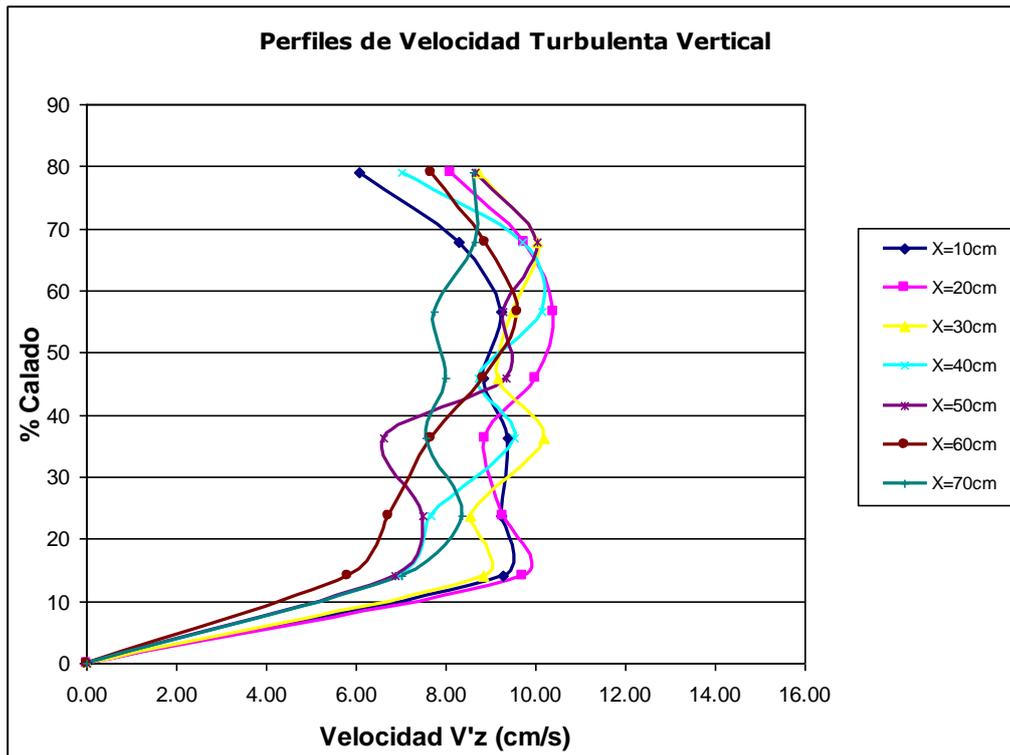


Figura 128: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49$ l/s, $Y=24$ cm.

Las velocidades verticales son mínimas en las proximidades de la solera y aumentan hacia la superficie. Los perfiles con menor velocidad vertical son los situados más cerca del punto de impacto del chorro.

Analizando las velocidades turbulentas verticales se observa que presentan características muy similares en todos los perfiles analizados dentro del cuenco, presentando un valor medio en todas las secciones analizadas del colchón de 9 cm/s.

- **Colchón Y=35cm**

La figura 129 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

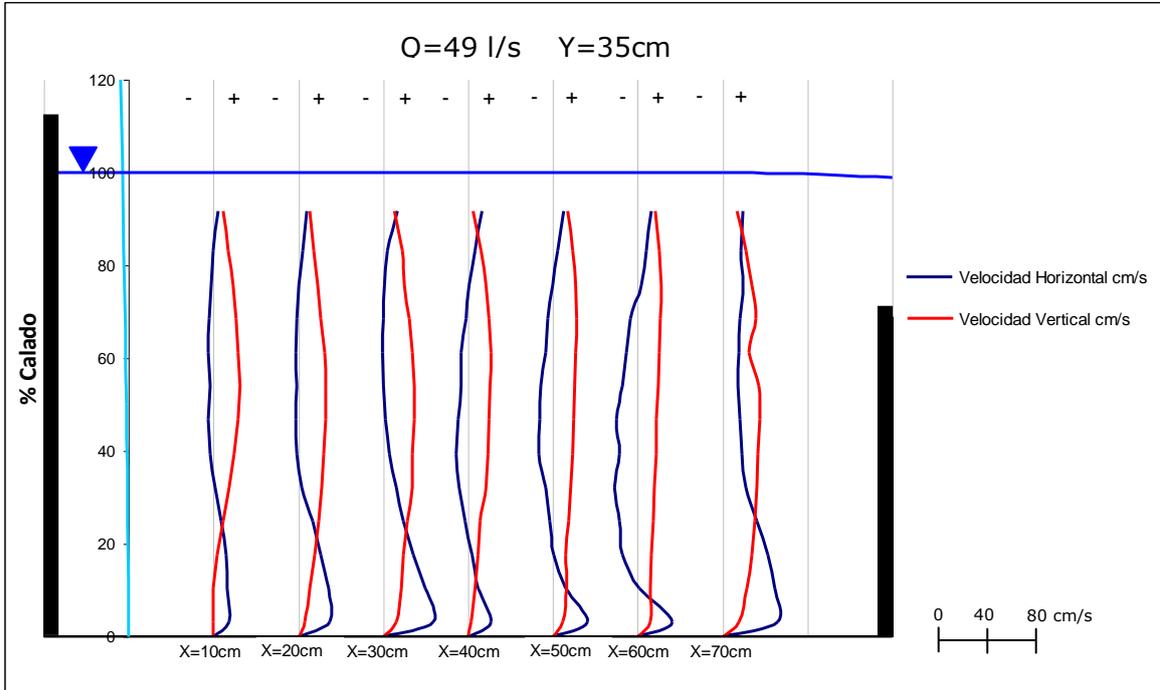


Figura 129: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 35cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Las figuras 130 y 131, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

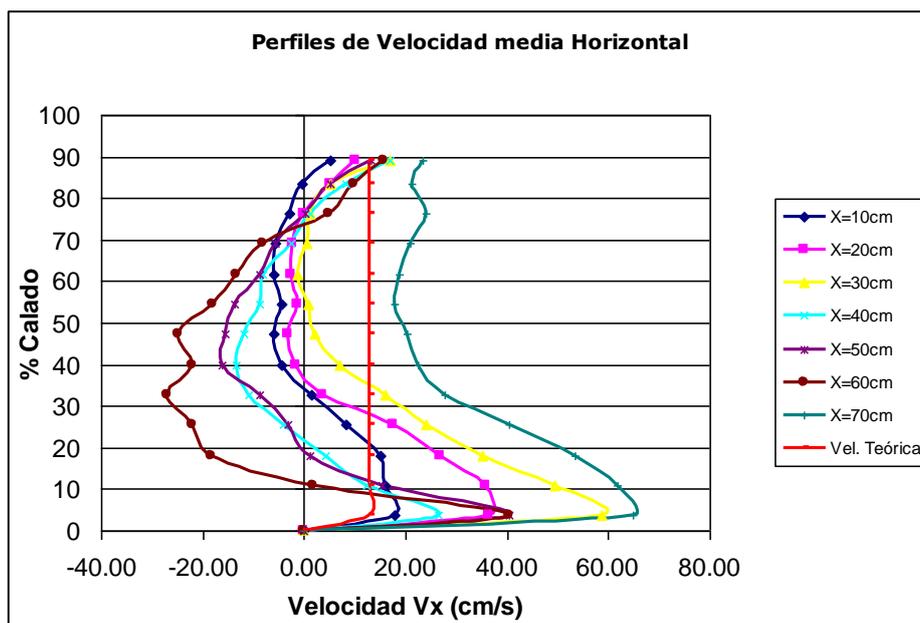


Figura 130: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para Q=49 l/s, Y=35cm.

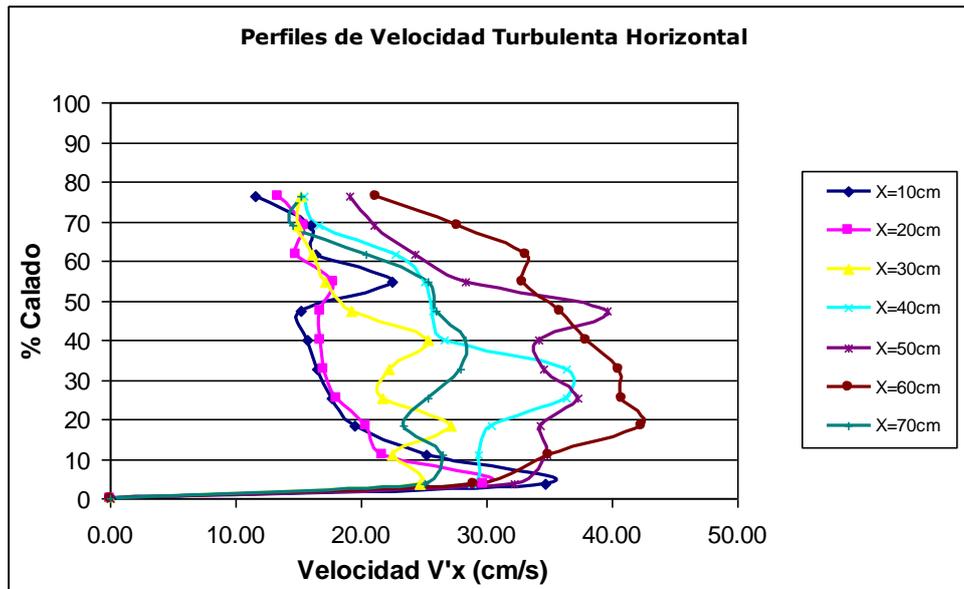


Figura 131: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=35$ cm.

Para el colchón de 35 cm, los efectos del resalto son visibles en todas las secciones estudiadas. Se producen velocidades máximas positivas en las proximidades de la solera y, conforme aumenta el calado la velocidad decae hasta ser negativa. En la parte superior se produce un aumento de velocidad que compensa el balance de masas en la sección.

En cuanto a las velocidades turbulentas horizontales, las dos primeras secciones alcanzan un máximo de entre 30-35cm/s para el 5% del calado, descendiendo de manera uniforme hasta el 80% del calado, donde se tienen velocidades turbulentas de 15cm/s. A partir de la tercera sección, y en adelante, el perfil de turbulencia se vuelve irregular, alcanzando numerosos máximos y mínimos relativos desde la solera del canal hasta la superficie.

Las figuras 132 y 133 muestran respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

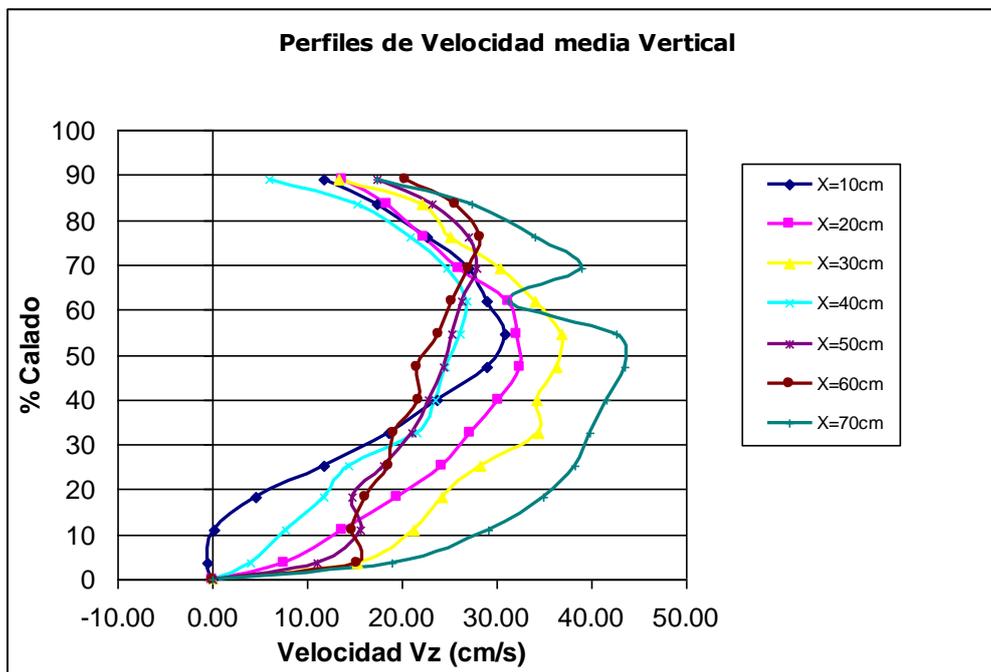


Figura 132: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=49$ l/s, $Y=35$ cm.

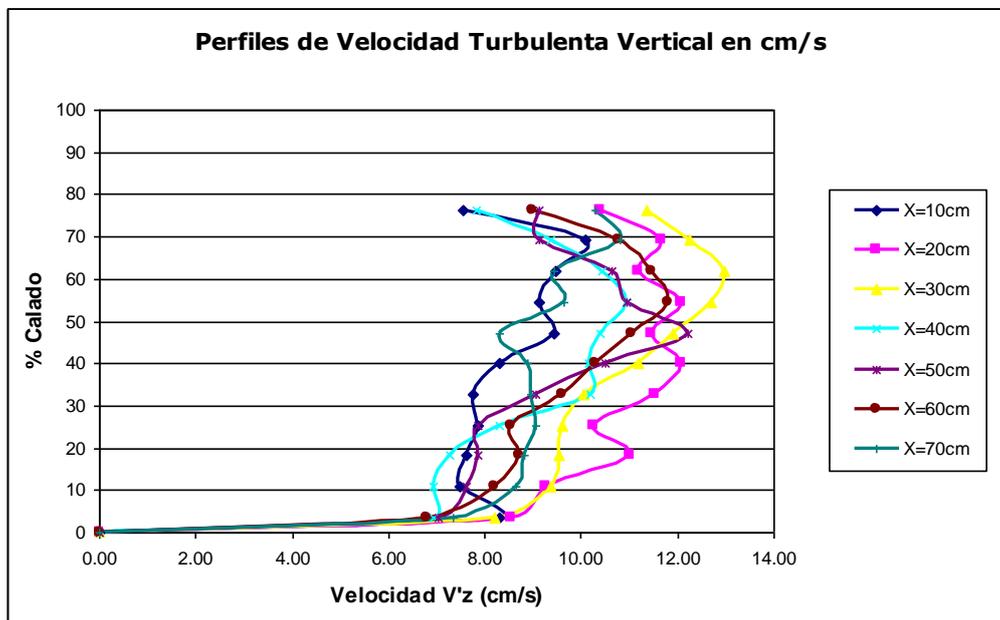


Figura 133: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49$ l/s, $Y=35$ cm.

Las velocidades verticales aumentan progresivamente hasta el 60-70% del calado, punto a partir del cual descienden hasta la superficie. El perfil de mayor velocidad vertical es el situado a 70cm del punto de impacto directo, en el que se llegan a superar los 40cm/s de velocidad vertical.

Las turbulencias verticales mantienen una tendencia uniforme de aumentar progresivamente hasta el 70% del calado, punto a partir del cual la turbulencia vuelve a disminuir. La diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo de turbulencia vertical, para calado a lo largo del cuenco, se sitúa entorno a los 2cm/s, lo que da una idea de la uniformidad en las turbulencias verticales.

- **Colchón Y=44cm**

La figura 134 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

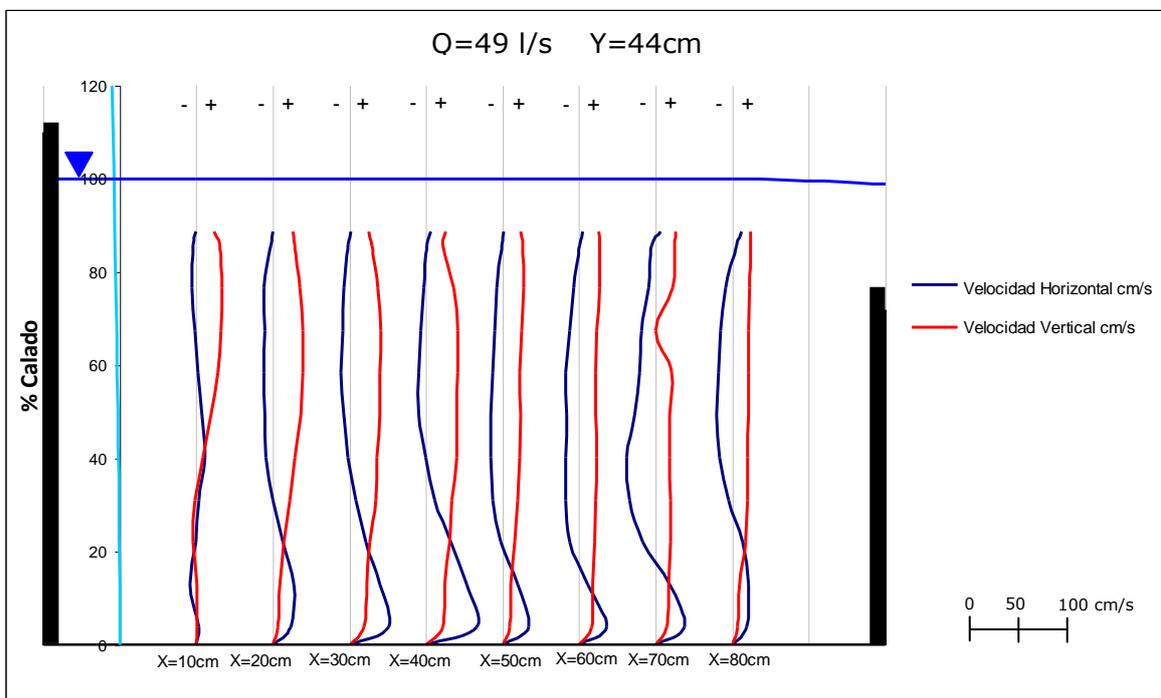


Figura 134: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 44cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

Para el colchón de 44cm se han medido perfiles hasta la distancia de 80cm del punto de impacto directo del chorro. Como se observa en la figura, los efectos de la contrapresa no son del todo visibles en la última sección.

Las figuras 135 y 136, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

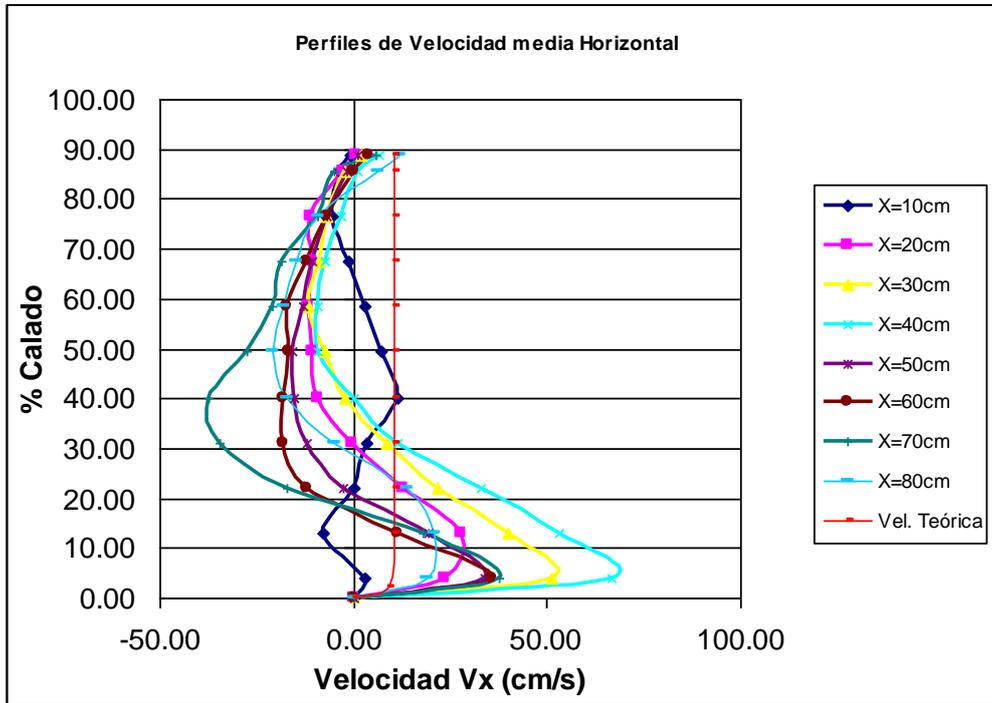


Figura 135: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=49 \text{ l/s}$, $Y=44 \text{ cm}$.

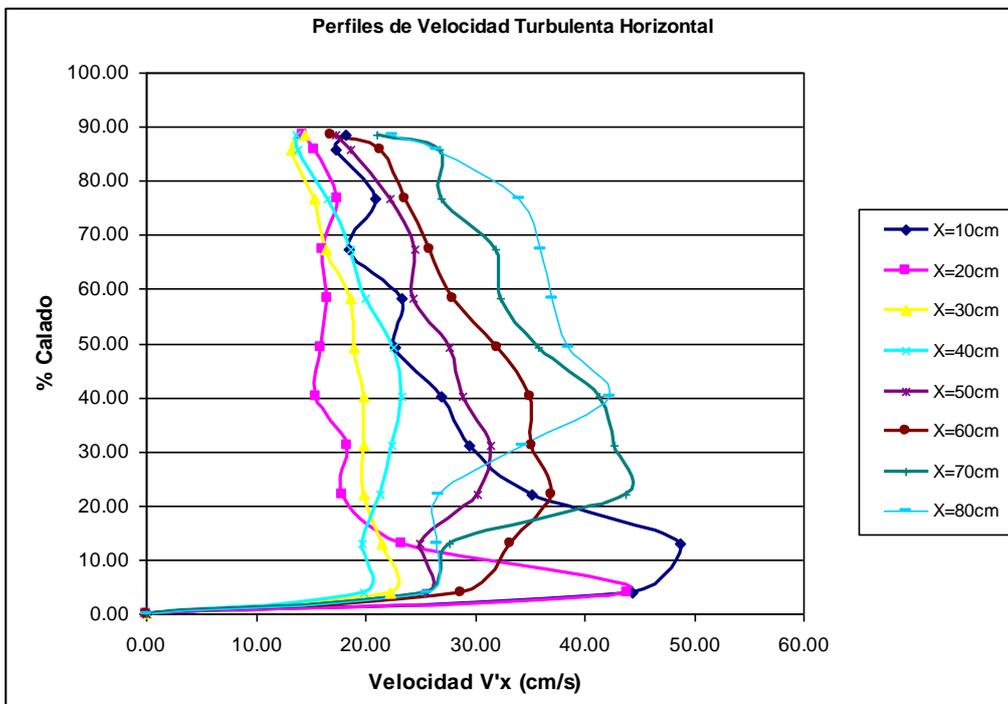


Figura 136: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49 \text{ l/s}$, $Y=44 \text{ cm}$.

En este colchón los efectos del resalto son visibles en la mayoría de las secciones estudiadas. Se producen velocidades máximas positivas en las proximidades de la solera y, conforme aumenta el calado, la velocidad decae hasta ser negativa. Cerca de la superficie se produce un aumento de velocidad. A priori no son visibles los efectos de las barreras.

La velocidad turbulenta en las dos primeras secciones presenta un máximo cerca del fondo del perfil y desciende hacia la superficie. En el resto de secciones la diferencia entre el máximo de turbulencia y el mínimo es menos acusada que en las dos primeras.

Las figuras 137 y 138 muestran respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

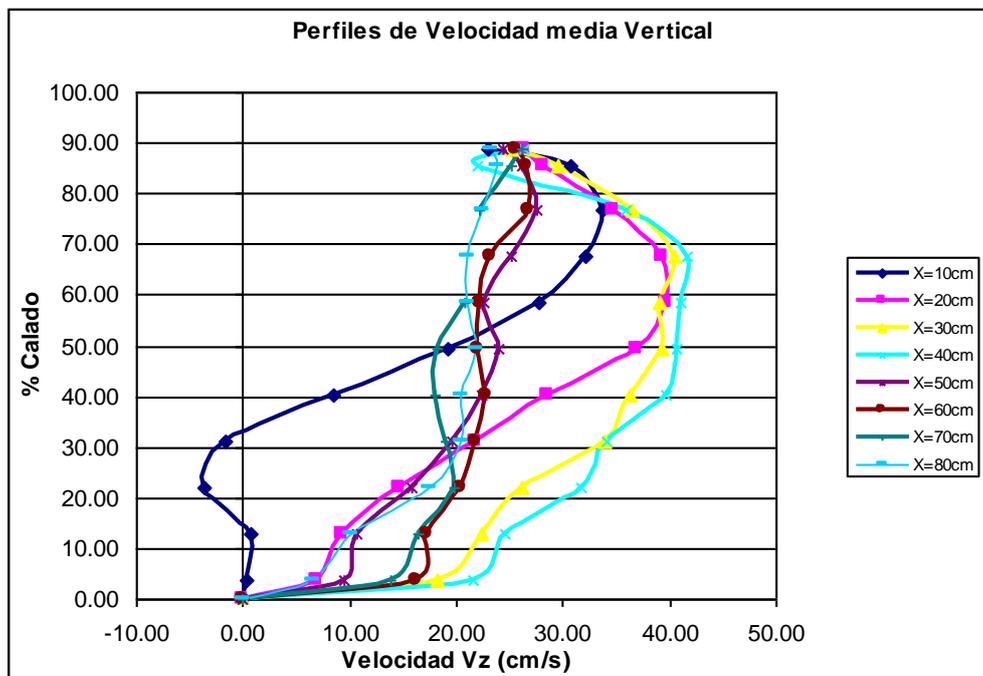


Figura 137: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=49$ l/s, $Y=44$ cm.

Las velocidades verticales aumentan progresivamente hasta la superficie. Se observa una tendencia inversa en su evolución respecto a los perfiles de velocidad horizontal, es decir, la velocidad horizontal tiende a disminuir cerca de la superficie, mientras que el flujo vertical tiende a aumentar.

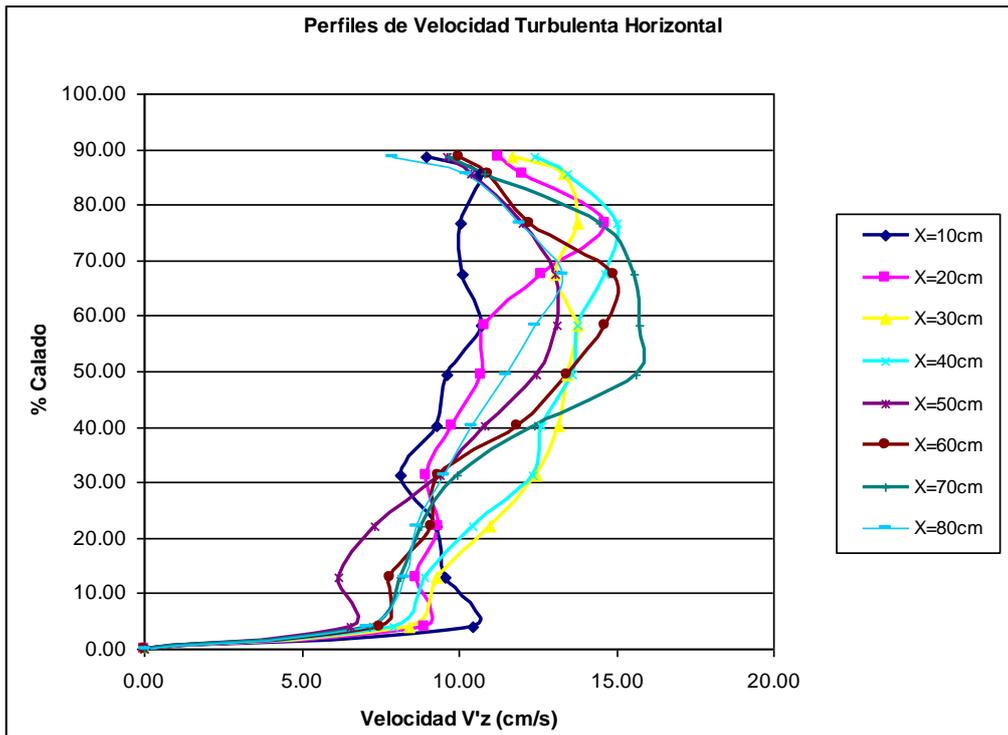


Figura 138: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49$ l/s, $Y=44$ cm.

Las turbulencias verticales mantienen una tendencia uniforme de aumentar progresivamente hasta el 70% del calado, punto a partir del cual la turbulencia vuelve a disminuir. Dentro de cada perfil de turbulencia, entre el valor mínimo y el máximo hay una diferencia de 5cm/s, lo que da una idea de la uniformidad en las turbulencias verticales, la cual se mantiene a lo largo de todo el cuenco.

- **Colchón Y=53cm**

La figura 139 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón.

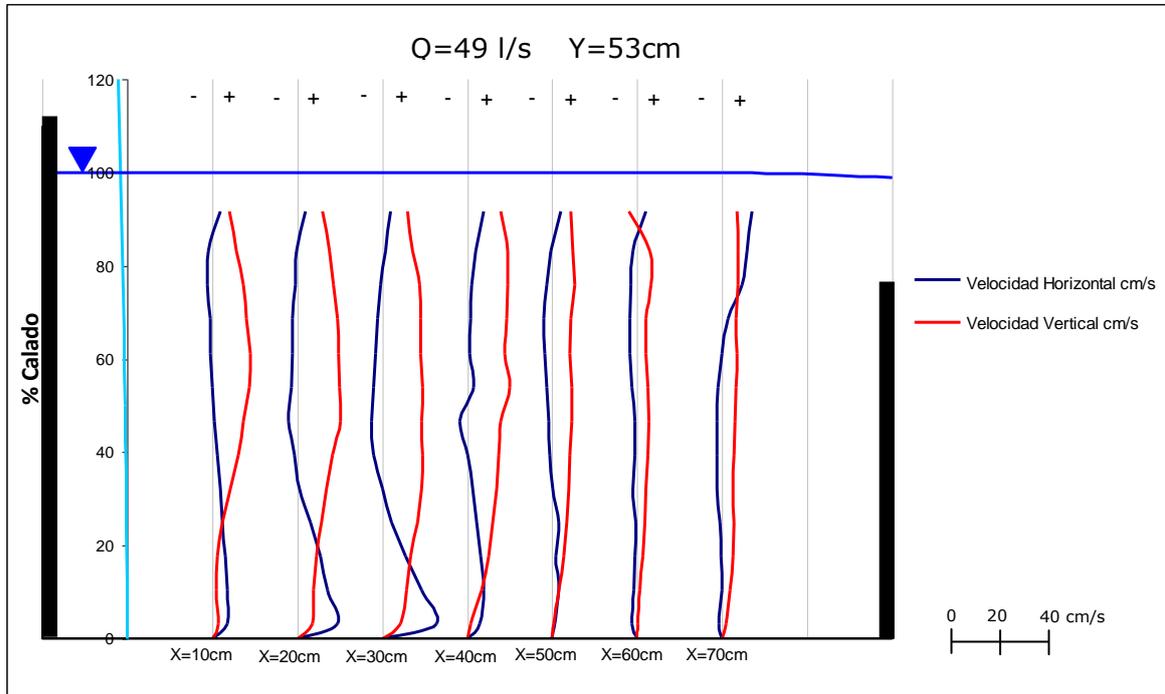


Figura 139: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 53cm, cada 10cm desde el punto de impacto.

El colchón de 53 cm se corresponde con una altura de barreras de 40 cm, más una sobre elevación de 13 cm. En este colchón se aprecia el efecto de la contrapresa a los 60 cm.

Las figuras 140 y 141, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

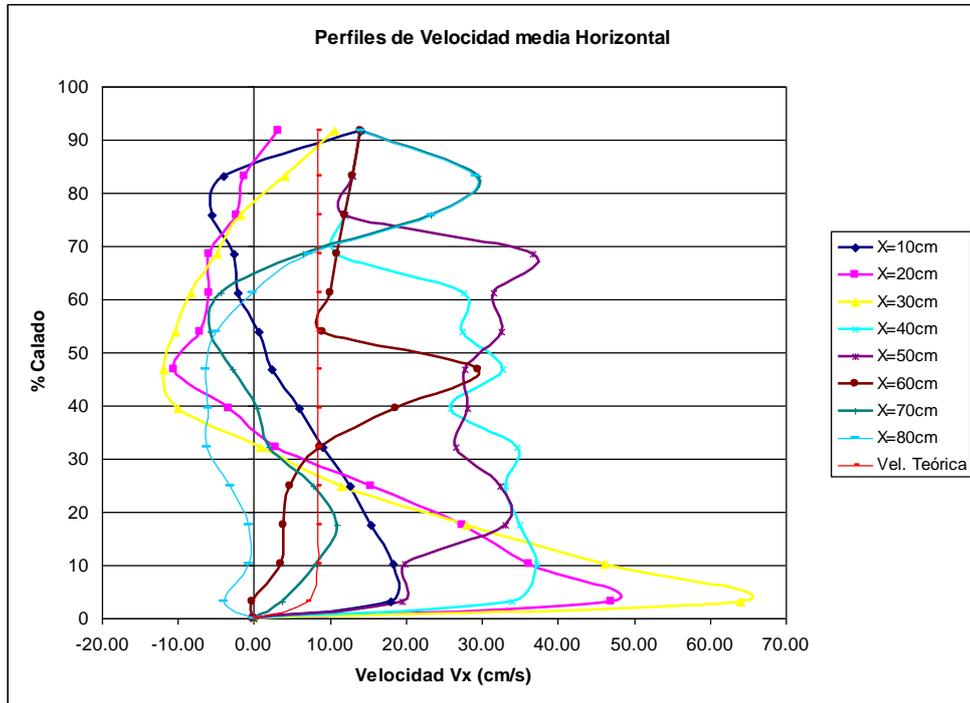


Figura 140: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=53$ cm.

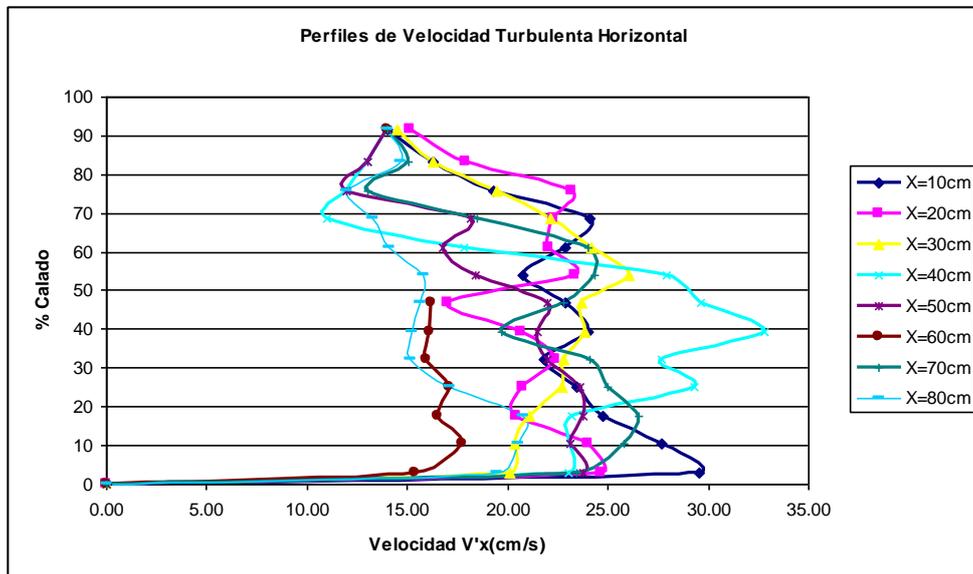


Figura 141: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=49$ l/s, $Y=53$ cm.

En este colchón los efectos del resalto se observa hasta la sección $X=50$ cm, si bien, son más intensos cuando el resalto está totalmente desarrollado, (en la segunda y tercera secciones). Al inicio se produce un máximo de velocidad horizontal positiva

en las proximidades de la solera, posteriormente la velocidad disminuye progresivamente hasta el 70% del calado, llegando a ser negativa en todas las secciones y, finalmente aumenta hasta ser positiva cerca de la superficie.

La velocidad turbulenta horizontal alcanza su máximo en la sección X=40cm del punto de impacto directo del chorro, con un valor de 33cm/s en el 40% del calado. En las demás secciones la velocidad turbulenta horizontal se mantiene homogénea en todas las secciones, situándose entorno al 15-25cm/s.

Las figuras 142 y 143 muestran respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

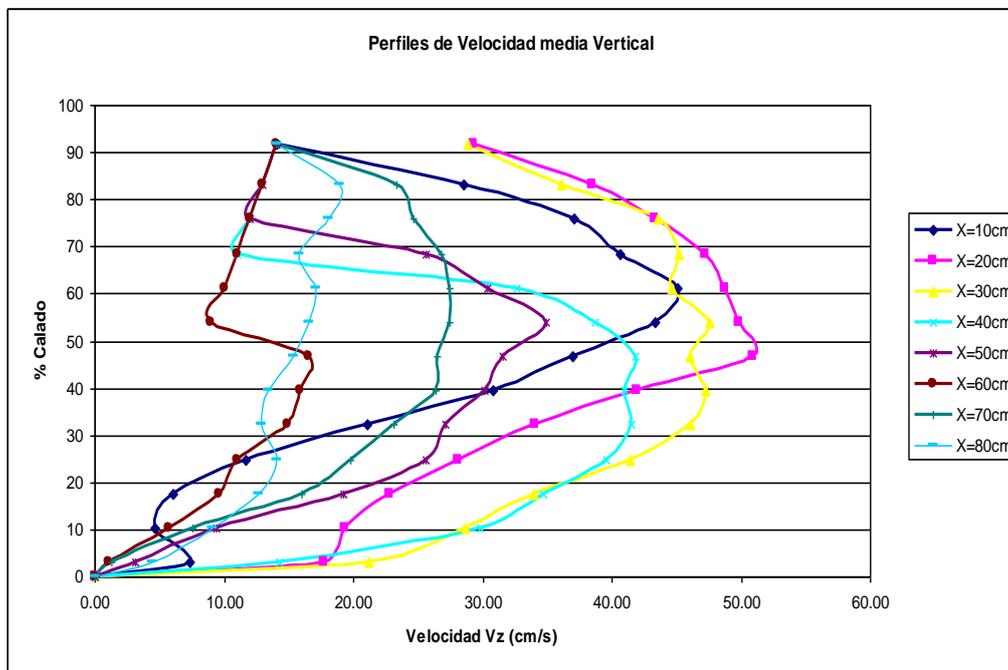


Figura 142: Comparación de perfiles de velocidad vertical para Q=49 l/s, Y=53cm.

Hasta la sección X=60cm, las velocidades verticales aumentan hasta alcanzar el máximo, que se sitúa entorno al 50% o 60% del calado, para descender progresivamente hacia la superficie. Por otro lado, de la sección X=70 en adelante, la tendencia de la velocidad vertical es a aumentar hacia la superficie.

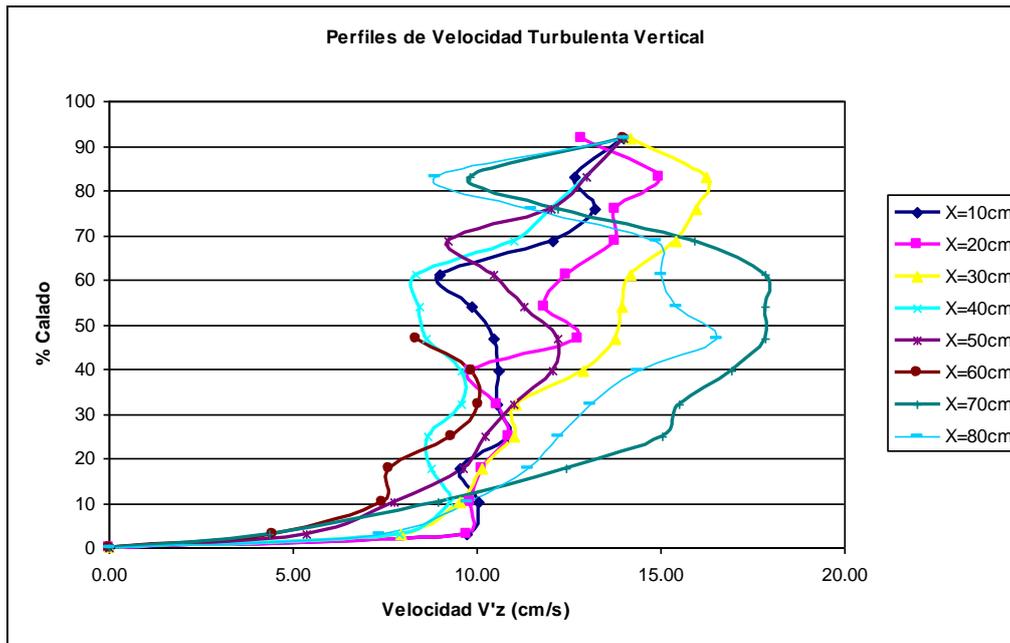


Figura 143: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49$ l/s, $Y=53$ cm.

Las turbulencias verticales mantienen una tendencia uniforme que aumenta progresivamente hacia la superficie, manteniéndose en el intervalo de 7-17cm/s. El máximo de velocidad turbulenta vertical se alcanza en la sección $X=70$ cm, donde para un calado del 50% se alcanzan 17cm/s.

- **Colchón Y=64cm**

La figura 144 muestra la distribución general de velocidades dentro del colchón

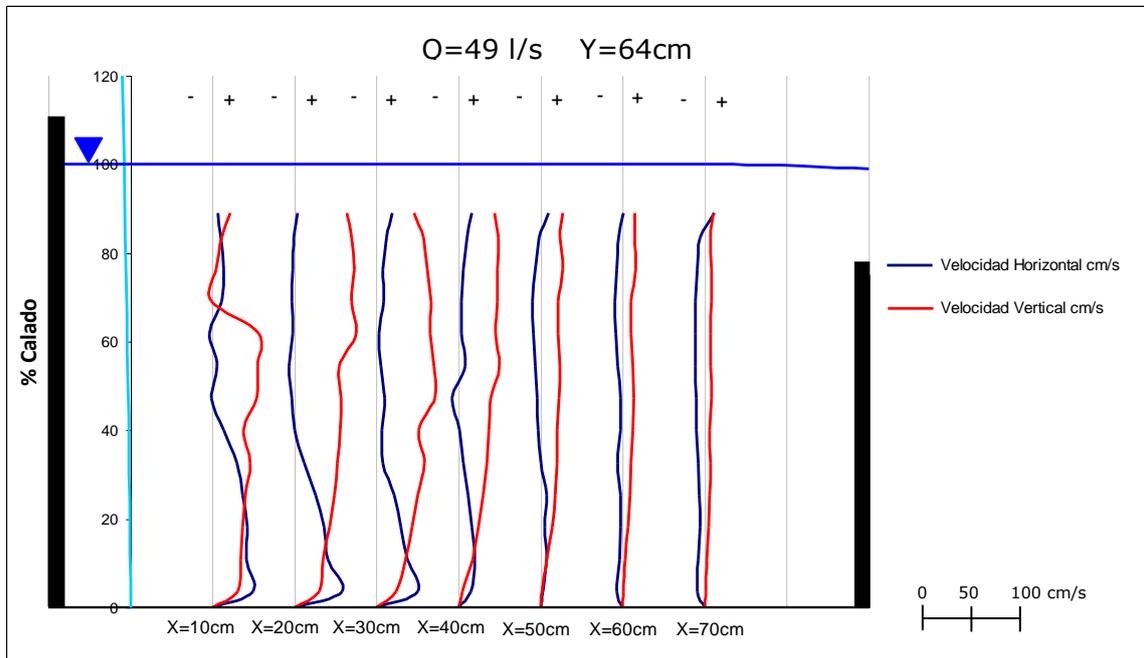


Figura 144: Perfiles de velocidad para un caudal de 49 l/s y un colchón de 63cm, obtenidos cada 10cm desde el punto de impacto directo.

El colchón de 64 cm es el más grande medido con el caudal de 49 l/s. Se corresponde con una altura de barreras de 48 cm, más una sobreelevación de 16 cm.

Las figuras 145 y 146, muestran los perfiles de velocidad media horizontal y velocidad turbulenta horizontal respectivamente.

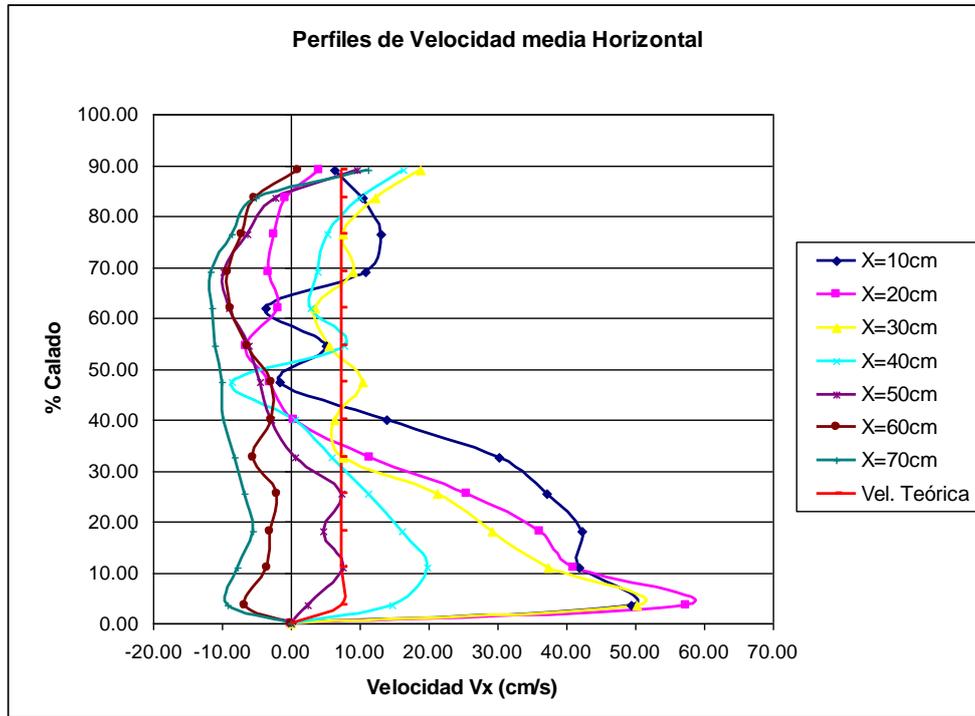


Figura 145: Comparación de perfiles de velocidad horizontal para $Q=49\text{ l/s}$, $Y=64\text{cm}$.

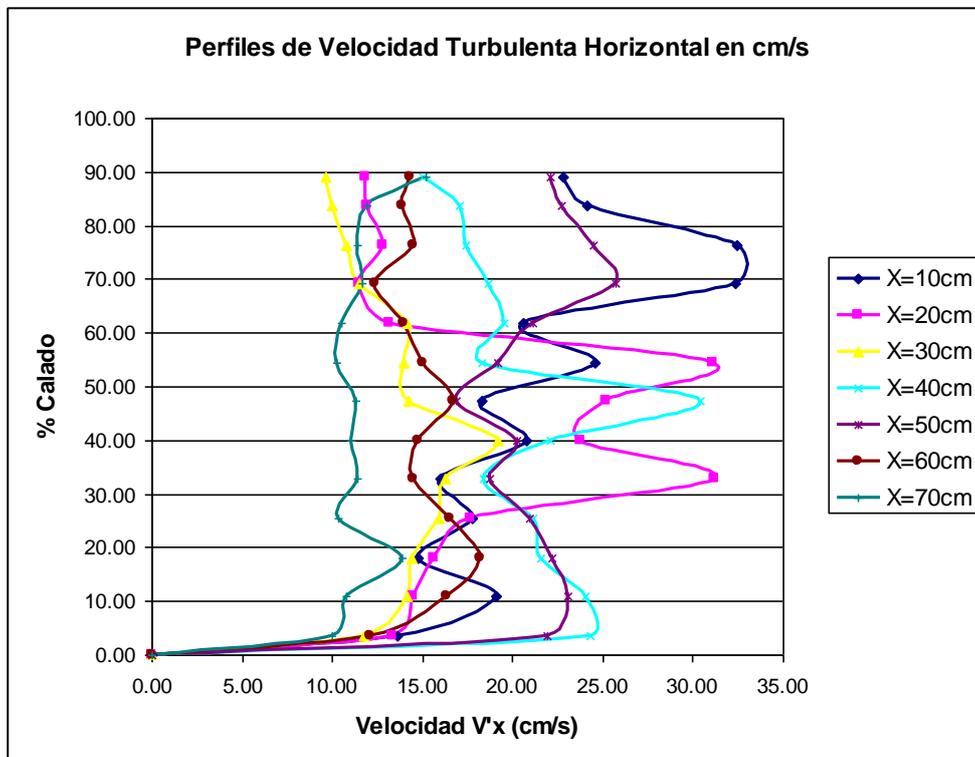


Figura 146: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta horizontal para $Q=49\text{ l/s}$, $Y=64\text{cm}$.

En este colchón los efectos del resalto se mantienen hasta la sección $X=40\text{cm}$, observándose perfectamente su evolución dentro del cuenco. En estas secciones se produce un máximo de velocidad horizontal positiva en las proximidades de la solera, entorno al 5% del calado y posteriormente la velocidad disminuye progresivamente hasta el 70% del calado, llegando a alcanzar valores negativos en todas las secciones y, finalmente aumenta hasta ser positiva cerca de la superficie. Los efectos de las barreras se perciben en este colchón a partir de los 60 cm del punto de impacto directo.

En la primera sección, la velocidad turbulenta horizontal sufre variaciones que se van haciendo cada vez más pronunciadas hasta alcanzar la turbulencia máxima en todo el colchón, que es de 33cm/s entorno al 70% del calado. Estas variaciones de velocidad turbulenta van disminuyendo en las sucesivas secciones, hasta que a los 70cm la turbulencia horizontal presenta un perfil uniforme.

Las figuras 147 y 148 muestran respectivamente los perfiles de velocidad vertical media y velocidad turbulenta vertical.

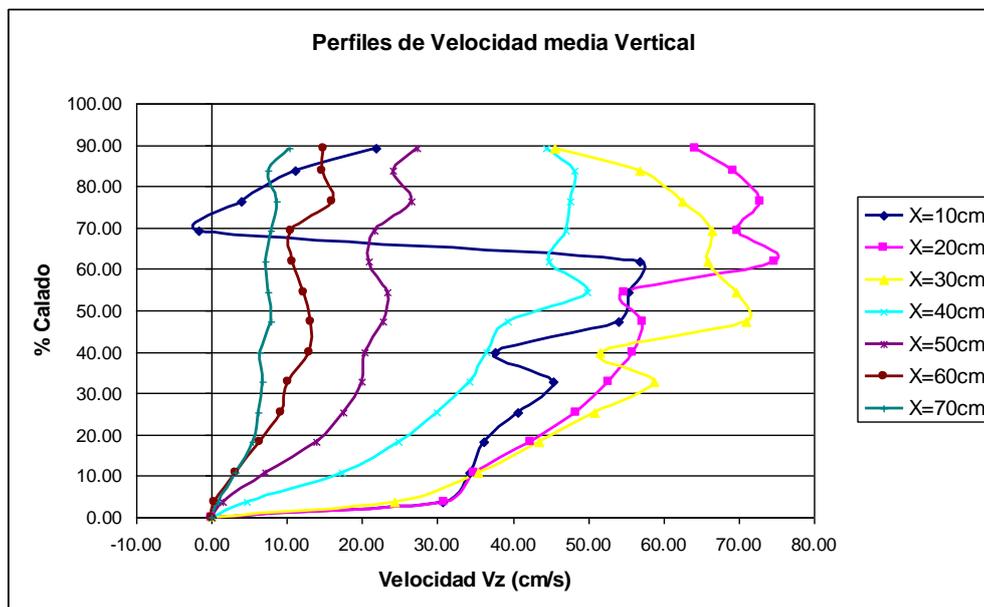


Figura 147: Comparación de perfiles de velocidad vertical para $Q=49\text{ l/s}$, $Y=64\text{cm}$.

Las velocidades verticales presentan una evolución contraria a las velocidades horizontales en todas las secciones afectadas por el resalto, es decir, mientras las velocidades horizontales disminuyen hacia la superficie debido al rulo del resalto, las velocidades verticales aumentan hacia la superficie. A partir de los 60 cm y, en

adelante, el flujo vertical se reduce disminuyendo de forma progresiva longitudinalmente.

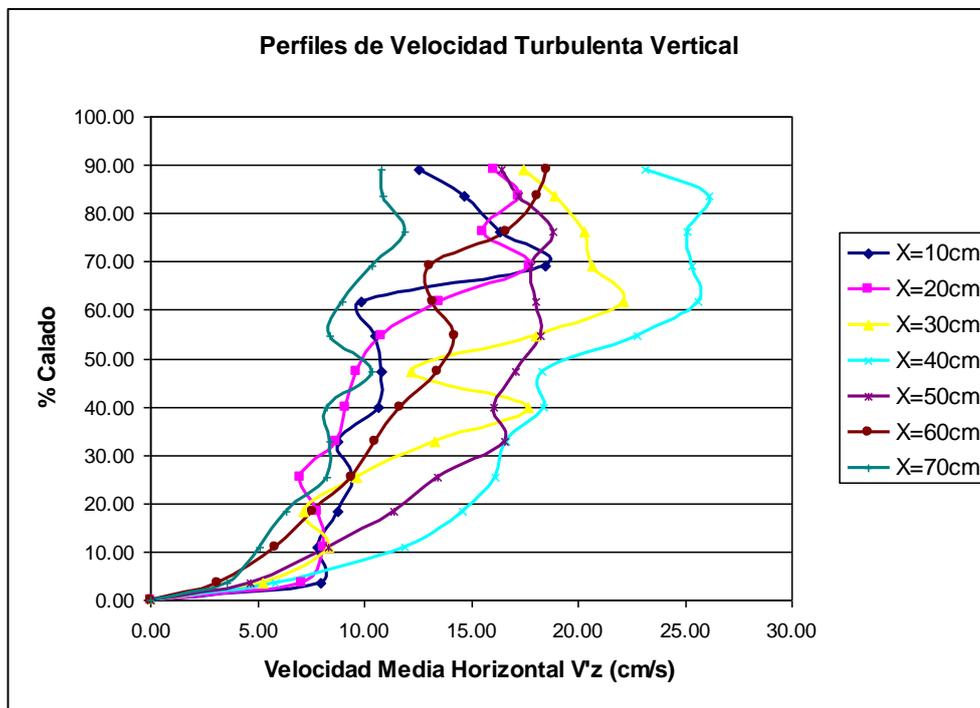


Figura 148: Comparación de perfiles de velocidad turbulenta vertical para $Q=49$ l/s, $Y=64$ cm.

Analizando las velocidades turbulentas verticales, se observa que la tendencia en todas las secciones es a aumentar hacia la superficie, al igual que sucede con las velocidades verticales. La sección de máxima turbulencia es la situada a 40cm del punto de impacto del chorro.

7. CONCLUSIONES

El objetivo buscado en la realización de este proyecto ha sido la obtención de distribuciones de velocidades medias y turbulentas dentro del cuenco de amortiguación de un aliviadero de vertido libre para distintos caudales y colchones de agua.

Los resultados que se destacan del estudio de los distintos perfiles de velocidad son los siguientes:

7.1. FILTRADO DE DATOS

- El método de Gorin y Nikkora, desvirtúa las series, al eliminar por lo general más del 10% de los datos de la serie original.
- El parámetro de umbral de aceleración λ , produce buenos resultados para series con poca turbulencia, pero funciona mal con series cuya desviación típica inicial es muy grande.
- Los filtros con Coef (Coeficiente de correlación). Cor son los que menor desviación típica presenta, en cambio, presentan el mayor número de spikes.
- El parámetro que mejores resultados presenta en todas las series, es el umbral de velocidad k . Se ha escogido como método de filtrado un valor de $k=2.5$ para series cuya desviación inicial sea inferior a 80 y, $k=2$ para series con elevada turbulencia.

7.2. VELOCIDADES MEDIAS

Del análisis de las distribuciones de velocidades medias se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Para un mismo caudal, la longitud durante la cual las distribuciones de velocidades son afectadas por el resalto hidráulico sumergido, es inversamente proporcional a la altura del colchón.
- Independientemente del caudal trasegado o de la altura del colchón, en las zonas del colchón afectadas por el resalto hidráulico sumergido, el punto de velocidad máxima se alcanza entre el 5% y el 15% del calado. Así mismo, la mínima velocidad, en valor absoluto, se da entre 60% y el 80% del calado.
- Para una correcta caracterización del chorro de fondo, se deben realizar medidas en las zonas próximas a la solera, debido al fuerte gradiente de velocidades observando en las medidas realizadas con un 5% -15% del calado.
- En las zonas afectadas por el resalto hidráulico, la evolución en el perfil de las velocidades vertical y horizontal es inversa, es decir, cuando la velocidad vertical aumenta, la horizontal disminuye y viceversa.
- Las barreras interfieren en las distribuciones de velocidad produciendo un flujo negativo desde la solera hasta el 60-70% del calado, a partir de este punto la velocidad se vuelve positiva, aumentando de manera progresiva hasta la superficie.

7.3. VELOCIDADES TURBULENTAS

Después del análisis de velocidades turbulentas se extrajeron las siguientes conclusiones:

- La velocidad turbulenta es un indicador de la turbulencia producida en el cuenco de amortiguación por el resalto hidráulico.

- Las distribuciones de velocidades turbulentas son semejantes para colchones iguales, independientemente del caudal trasegado.
- De forma general, las velocidades turbulentas horizontales siempre son mayores que las verticales.
- Las velocidades turbulentas horizontal y vertical tienden a igualarse aguas abajo del punto de impacto del chorro, es decir, los valores de turbulencia, tanto horizontal como vertical, no sufren cambios significativos a medida que van alejándose de la zona de impacto directo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bélanguer, J.B. (1838). *Résumé de leçons, Mémoire, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.* París.

Blanckaert, K., Lemmin, U. (2006). *Means of noise reduction in acoustic turbulence measurements.* Journal of Hydraulic Research Vol. 44, No. 1, pp. 3-17.

Canal de flujo. Ref. FL5.1 de 5m. *Manual de usuario y Prácticas de laboratorio.*

Carrillo, J.M. (2004). *Determinación experimental de distribuciones de velocidades e índices turbulentos de algunos tipos de resaltos hidráulicos.* Proyecto de Fin de Carrera. Ingeniería Técnica de Obras Públicas-Especialidad Hidrología. Universidad Politécnica de Cartagena, UPCT.

Castillo, L (1989). *Metodología experimental y numérica para la caracterización del campo de presiones en los disipadores de energía hidráulica. Aplicación al vertido libre en presas bóveda.* Tesis doctoral. Escuela Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC

Castillo, L. (2002). *Apuntes de Obras y Aprovechamientos Hidráulicos.* UPCT.

Castillo, L. (2008). *Validation of instantaneous velocities measurements with ADV equipment in turbulent high two-phase flows.* The Eight Int. Conf. on Hydro-Science and Engineering (ICHE 2008). Nagoya, Japan, Sep 8-12.

Castillo, L. (2009a). *Measurement of velocities and characterization of some parameters of free and submerged hydraulic jumps.* 33rd International Association of Hydraulic Engineering & Research Congress, IAHR. Vancouver, Canada, August 10-14.

Castillo, L. (2009b). *Filtrado de velocidades y caracterización de parámetros dentro de resaltos hidráulicos libres y sumergidos.* I Jornadas de Ingeniería del Agua. España, Madrid, Oct. 27-28.

Castillo, L. (2009c). *Filtering and validation of velocities obtained with ADV equipment inside of hydraulic jumps.* International Workshop on Environmental Hydraulics, IWHE. Valencia, October 28-29.

García, S. (2008). *Caracterización de resaltos hidráulicos libres a partir de velocidades instantáneas con equipo Doppler. Flujo aguas abajo de un aliviadero.* Proyecto Fin de Carrera. Ingeniería Técnica de Obras Públicas-Especialidad Hidrología. UPCT.

Goring, G., Nikora, V. (2002). *Despiking acoustic Doppler velocimeter data.* Proc. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 128, Nº 1, January 1. pp. 117-126.

Márquez, A.M. (2006). *Adaptación de un canal de laboratorio, medida de velocidades instantáneas y filtrado de datos en algunos tipos de resaltos hidráulicos.* Proyecto de Fin de Carrera. Ingeniería Técnica de Obras Públicas-Especialidad Hidrología. UPCT.

Márquez, M.C. (2006). *Caracterización paramétrica de resaltos hidráulicos libres y sumergidos a partir de medidas de velocidades instantáneas con equipo Doppler.* Proyecto de Fin de Carrera. Ingeniería Técnica de Obras Públicas-Especialidad Hidrología. UPCT.

Molina Miñano, B (2010). *Caracterización de resaltos hidráulicos a través de medidas de velocidades instantáneas con equipo Doppler. Análisis, validación y métodos de filtrado de datos.* Proyecto de Fin de Carrera. Ingeniería Técnica de Obras Públicas-Especialidad Hidrología. Universidad Politécnica de Cartagena, UPCT

Moore W. L *Energy loss at the base of a free overall.* Transactions, American Society of Civil Engineers, vol 108, pp. 1343-1360.

Nikora, V.I., Goring, D.G. (2000). *Flow turbulence over fixed and weakly mobile gravel beds.* Journal of Hydraulic Engineering, 126(9), pp. 679-690.

Nortek (2003). *User Guide.* Technical Documentation.

Ohtsu, F., Yasuda, Y., Awazu, S. (1990). *Free and submerged hydraulic jumps in rectangular channels.* Research Inst. of Science and Technology, Nihon University, No 35.

Rajaratnam, N. (1965). *The hydraulic jump as wall jet.* Proc. ASCE, Journal of Hydraulic Division., 91(HY5),pp. 107-132.

Sontek ADV Field (2001). *Acoustic Doppler Velocimeter.* Technical Documentation.

Ven Te Chow (1998). *Hidráulica de canales abiertos.* Ed. McGraw-Hill.

ANEXO 1: TABLAS DE DATOS

**Tabla A.1: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s,
Y=13cm.**

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	V_x (cm/s)	V_y (cm/s)	V_z (cm/s)	V'_x (cm/s)	V'_y (cm/s)	V'_z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	2	15.38	38.5	-0.02	15.40	12.81	10.81	5.20
	3.2	24.62	39.80	-0.01	19.90	11.83	9.83	5.66
	4.4	33.85	37.30	-0.02	23.00	12.25	10.25	5.83
	5.6	43.08	36.6	-0.01	22.30	11.75	9.75	6.00
	6.8	53.31	34.80	0.00	21.60	10.72	8.72	5.10
	8	61.54	10.0	0.00	21.60	10.00	8.00	4.00
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	15.38	41.90	0.00	5.60	11.00	9.00	3.74
	3.2	24.62	45.60	0.00	10.30	11.22	9.22	4.58
	4.4	33.85	48.80	0.02	13.40	10.05	8.05	4.58
	5.6	43.08	51.30	-0.01	16.10	10.00	8.00	4.24
	6.8	53.31	51.50	0.02	17.60	9.27	7.27	3.87
	8	61.54	29.50	0.03	21.20	11.00	9.00	3.00
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	15.38	43.20	0.01	3.90	10.00	8.00	3.32
	3.2	24.62	47.30	0.01	6.60	10.49	8.49	3.74
	4.4	33.85	51.60	0.00	10.30	10.00	8.00	4.00
	5.6	43.08	53.60	0.02	13.80	9.49	7.49	3.61
	6.8	53.31	53.60	0.03	18.10	10.25	8.25	3.16
	8	61.54	51.00	0.00	20.00	12.00	10.00	2.50
X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	15.38	32.10	0.00	2.90	14.32	12.32	3.46
	3.2	24.62	40.90	0.01	4.80	11.40	9.40	3.61
	4.4	33.85	44.20	0.03	7.50	10.68	8.68	4.00
	5.6	43.08	47.40	0.02	11.70	9.49	7.49	4.36
	6.8	53.31	42.90	0.01	19.10	14.04	12.04	5.10
	8	61.54	53.00	0.01	22.00	10.50	8.50	5.00
X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	15.38	19.10	0.00	1.46	15.59	13.59	3.61
	3.2	24.62	27.30	0.01	2.70	14.42	12.42	4.12
	4.4	33.85	32.80	0.03	3.50	13.42	11.42	4.00
	5.6	43.08	36.50	0.02	5.10	12.61	10.61	4.24
	6.8	53.31	39.70	0.01	10.20	11.18	9.18	5.29
	8	61.54	42.00	0.01	19.00	11.40	9.40	5.30

Tabla A.2: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=21cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	14.29	13.78	-0.02	18.60	22.00	19.00	10.77
	5.7	27.14	14.10	-0.02	27.50	21.98	18.98	12.57
	8.4	40.00	11.90	-0.02	30.10	20.76	17.76	13.42
	11	52.38	14.40	-0.01	35.50	20.45	17.45	12.65
	13.6	64.76	14.10	0.00	39.50	19.39	16.39	12.08
	16.3	77.62	14.60	0.00	39.20	18.19	15.19	11.66
	18	85.71	14.30	-0.01	37.50	18.17	15.17	11.45
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	14.29	9.80	0.00	2.50	18.36	15.36	6.86
	5.7	27.14	14.20	0.00	8.10	17.78	14.78	9.70
	8.4	40.00	17.10	0.02	13.20	17.38	14.38	11.62
	11	52.38	16.90	-0.01	17.70	16.19	13.19	12.69
	13.6	64.76	14.40	0.02	18.75	19.39	16.39	12.08
	16.3	77.62	17.20	0.03	19.80	16.49	13.49	14.39
	18	85.71	20.40	0.00	24.10	15.10	12.10	13.15
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	14.29	8.70	0.01	1.10	13.86	10.86	6.63
	5.7	27.14	13.70	0.01	2.00	13.00	10.00	7.42
	8.4	40.00	15.30	0.00	3.50	12.41	9.41	7.42
	11	52.38	18.80	0.02	6.20	13.64	10.64	7.81
	13.6	64.76	20.20	0.03	5.60	12.25	9.25	8.19
	16.3	77.62	26.80	0.00	8.40	11.83	8.83	8.12
	18	85.71	32.00	0.04	13.30	13.42	10.42	7.81
X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	14.29	11.80	0.00	1.30	16.31	13.31	6.40
	5.7	27.14	12.00	0.01	2.30	15.94	12.94	8.06
	8.4	40.00	19.50	0.03	7.30	16.09	13.09	8.89
	11	52.38	20.60	0.02	10.00	15.81	12.81	9.85
	13.6	64.76	22.00	0.01	12.30	13.96	10.96	10.15
	16.3	77.62	23.20	0.01	14.00	13.00	10.00	10.82
	18	85.71	29.50	0.02	17.60	12.88	9.88	7.40
X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	14.29	3.80	0.00	0.23	11.18	8.18	5.83
	5.7	27.14	3.80	0.01	0.10	11.18	8.18	5.83
	8.4	40.00	7.50	0.03	1.00	11.45	8.45	5.74
	11	52.38	11.00	0.02	2.00	12.49	9.49	6.71
	13.6	64.76	15.40	0.01	2.90	11.75	8.75	6.86
	16.3	77.62	26.50	0.01	5.30	12.17	9.17	6.32
	18	85.71	42.00	0.01	19.00	11.40	9.40	5.30

Tabla A.3: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=29cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.4	6.90	32.00	-0.02	29.40	20.15	13.68	7.21
	5.7	15.86	25.20	-0.02	40.30	14.90	10.49	6.08
	8.7	24.83	17.10	-0.02	48.10	14.46	10.22	5.97
	11	33.79	8.60	-0.01	52.00	14.18	10.25	6.32
	13.3	42.76	2.20	0.00	52.50	14.53	11.10	7.68
	16.3	51.72	-0.06	0.00	51.20	13.11	11.08	9.05
	19	60.69	-1.20	-0.01	48.80	13.23	11.46	9.69
	21	69.66	0.10	0.00	43.40	13.00	12.02	11.05
	24.3	78.62	0.20	0.01	36.90	13.60	12.99	12.37
27	87.59	3.25	0.01	27.80	13.15	12.62	12.08	
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.4	6.90	18.70	0.00	23.70	14.83	13.14	11.45
	5.7	15.86	14.90	0.00	30.60	16.09	14.85	13.60
	8.7	24.83	14.50	0.02	37.60	15.20	14.72	14.25
	11	33.79	12.70	-0.01	41.10	14.46	15.09	15.72
	13.3	42.76	11.20	0.02	42.20	13.45	15.05	16.64
	16.3	51.72	15.90	0.03	44.40	14.87	15.18	15.49
	19	60.69	19.10	0.00	41.80	13.49	14.36	15.23
	21	69.66	26.07	0.03	38.30	12.92	13.21	13.49
	24.3	78.62	29.30	0.03	30.40	11.66	11.55	11.45
27	87.59	30.210	0.02	24.10	12.2	10.54	11.23	
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.4	6.90	10.80	0.01	28.80	18.65	12.11	5.57
	5.7	15.86	12.90	0.01	8.40	19.60	14.27	8.94
	8.7	24.83	11.50	0.00	12.40	16.40	13.61	10.82
	11	33.79	11.20	0.02	16.50	15.68	13.69	11.70
	13.3	42.76	12.20	0.03	19.50	13.96	13.33	12.69
	16.3	51.72	10.90	0.00	20.40	13.42	13.80	14.18
	19	60.69	14.40	0.04	22.90	12.96	13.80	14.63
	21	69.66	20.30	0.00	23.90	13.04	14.00	14.97
	24.3	78.62	33.60	0.01	28.30	12.37	12.43	12.49
27	87.59	38.90	0.02	22.60	18.36	13.42	8.49	

**Tabla A.3: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=29cm.
(continuación).**

X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.4	6.90	12.80	0.00	8.24	19.60	13.77	7.94
	5.7	15.86	11.70	0.01	2.60	18.71	15.29	11.87
	8.7	24.83	11.30	0.03	16.60	17.38	15.09	12.81
	11	33.79	12.30	0.02	19.50	16.25	15.05	13.86
	13.3	42.76	11.00	0.01	20.50	15.46	15.44	15.43
	16.3	51.72	14.40	0.01	23.00	15.30	15.63	15.97
	19	60.69	20.32	0.02	24.04	15.56	14.18	12.81
	21	69.66	33.00	0.01	25.80	17.23	15.56	13.89
	24.3	78.62	39.02	0.02	25.65	18.36	13.42	8.49
27	87.59	39.50	0.02	17.60	12.88	9.88	7.40	
X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.4	6.90	-11.30	0.00	2.30	7.07	5.27	3.46
	5.7	15.86	-9.90	0.01	5.72	8.43	6.81	5.20
	8.7	24.83	-8.40	0.03	9.30	8.37	6.78	5.20
	11	33.79	-7.10	0.02	11.30	7.00	6.42	5.83
	13.3	42.76	-7.60	0.01	11.28	7.07	6.62	6.16
	16.3	51.72	-8.10	0.01	10.70	7.08	6.93	6.78
	19	60.69	-7.80	0.02	8.40	7.87	8.09	8.31
	21	69.66	-6.00	0.01	5.50	8.37	8.12	7.87
	24.3	78.62	4.90	0.02	6.20	11.14	8.85	6.56
27	87.59	4.00	0.01	7.00	11.40	9.40	5.30	
X=60cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.4	6.90	-11.30	0.00	2.30	7.07	5.27	3.46
	5.7	15.86	-9.00	0.01	7.80	6.78	5.57	4.36
	8.7	24.83	-8.10	0.03	10.40	6.93	6.11	5.29
	11	33.79	-7.83	0.02	12.30	6.78	6.22	5.66
	13.3	42.76	-7.70	0.01	12.90	6.56	6.24	5.92
	16.3	51.72	-8.60	0.01	11.30	7.00	6.96	6.93
	19	60.69	-8.00	0.02	8.24	7.75	8.17	8.60
	21	69.66	-5.97	0.01	5.40	10.77	10.21	9.64
	24.3	78.62	4.80	0.02	4.90	9.43	9.41	9.38
27	87.59	4.20	0.01	6.10	9.23	9.46	9.12	

Tabla A.4: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=39cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.6	5.2	7.30	-0.02	3.60	13.95	10.52	7.09
	7.2	12.10	10.30	-0.02	9.80	15.03	12.26	9.50
	9.8	18.94	12.10	-0.02	16.20	14.39	12.37	10.34
	12.4	25.78	8.38	-0.01	17.90	15.65	13.85	12.05
	15	32.63	8.71	0.00	24.10	16.66	15.30	13.94
	17.6	39.47	9.20	0.00	28.90	18.26	16.71	15.16
	20.2	46.31	8.40	-0.01	33.60	21.43	18.75	16.08
	22.8	53.15	9.80	0.00	34.60	22.63	20.34	18.04
	25.4	60.00	13.01	0.01	32.79	25.39	21.76	18.14
	28	66.84	16.70	0.01	32.60	25.52	21.11	16.71
	30.6	75.00	22.60	0.00	31.30	21.57	19.10	16.63
	33.2	78.94	23.68	0.01	24.10	21.13	17.13	13.13
	35.8	85.78	24.80	-0.01	20.10	22.86	16.77	10.68
X=20cm	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.6	5.2	7.40	0.00	3.50	12.48	9.39	6.30
	7.2	12.10	1.35	0.00	1.37	14.32	9.43	4.54
	9.8	18.94	0.65	0.02	6.20	15.03	12.08	9.14
	12.4	25.78	2.38	-0.01	8.30	14.56	12.71	10.86
	15	32.63	1.13	0.02	10.40	15.10	13.95	12.81
	17.6	39.47	-1.06	0.03	10.60	14.03	13.55	13.08
	20.2	46.31	0.77	0.00	12.20	14.25	14.23	14.21
	22.8	53.15	2.37	0.03	10.61	14.93	14.92	14.90
	25.4	60.00	4.67	0.03	12.10	16.82	15.84	14.87
	28	66.84	14.60	0.02	14.40	20.62	17.84	15.07
	30.6	75.00	27.30	0.00	17.50	17.92	15.72	13.53
	33.2	78.94	33.70	0.01	16.30	19.47	14.86	10.25
	35.8	85.78	31.90	0.01	15.00	21.93	15.66	9.38

Tabla A.4: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=39cm (continuación).

X=30cm	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.6	5.2	-6.30	0.01	1.00	13.60	9.09	4.58
	7.2	12.10	-6.27	0.01	3.10	13.64	9.90	6.16
	9.8	18.94	-3.40	0.00	4.70	14.14	10.43	6.71
	12.4	25.78	-3.50	0.02	5.80	13.34	11.01	8.67
	15	32.63	-4.08	0.03	7.10	13.46	10.88	8.31
	17.6	39.47	-5.40	0.00	6.41	12.33	10.80	9.27
	20.2	46.31	-4.76	0.04	5.70	11.36	11.02	10.68
	22.8	53.15	-3.20	0.00	5.90	12.61	12.09	11.58
	25.4	60.00	2.10	0.01	6.80	14.83	13.25	11.66
	28	66.84	8.30	0.02	6.70	18.08	14.45	10.82
	30.6	75.00	25.10	0.01	9.20	19.87	14.35	8.83
	33.2	78.94	34.40	0.01	13.00	18.84	13.26	7.68
35.8	85.78	38.90	0.02	12.60	19.87	14.35	8.83	
X=40cm	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.6	5.2	-12.60	0.00	1.10	8.12	5.59	3.07
	7.2	12.10	-11.20	0.01	1.84	7.73	5.97	4.22
	9.8	18.94	-10.90	0.03	3.48	9.46	7.23	5.00
	12.4	25.78	-10.00	0.02	3.90	8.12	6.75	5.39
	15	32.63	-9.00	0.01	4.30	8.06	6.90	5.74
	17.6	39.47	-10.10	0.01	4.80	7.87	7.06	6.24
	20.2	46.31	-9.10	0.02	4.98	9.00	8.14	7.28
	22.8	53.15	-7.40	0.01	3.90	10.82	9.65	8.49
	25.4	60.00	-4.00	0.02	2.40	12.81	11.01	9.22
	28	66.84	4.40	0.03	4.30	14.59	11.66	8.72
	30.6	75.00	14.40	0.04	5.90	17.52	12.43	7.35
	33.2	78.94	25.00	0.02	9.70	17.90	12.20	6.50
35.8	85.78	29.50	0.02	9.60	17.52	12.43	7.35	
X=50cm	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.6	5.2	-14.20	0.00	1.27	6.25	4.39	2.53
	7.2	12.10	-13.50	0.01	3.40	5.83	4.50	3.16
	9.8	18.94	-10.90	0.03	3.50	9.43	7.22	5.00
	12.4	25.78	-10.00	0.02	3.90	8.19	6.79	5.39
	15	32.63	-9.00	0.01	4.30	8.06	6.90	5.74
	17.6	39.47	-10.10	0.01	4.80	8.89	7.91	6.93
	20.2	46.31	-9.10	0.02	4.40	9.00	8.14	7.28
	22.8	53.15	-7.40	0.01	3.60	10.82	9.65	8.49
	25.4	60.00	-4.00	0.02	3.95	12.81	11.01	9.22
	28	66.84	4.60	0.03	4.30	15.49	12.38	9.27
	30.6	75.00	14.40	0.04	5.90	17.52	12.43	7.35

Tabla A.5: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=46cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	4.30	1.47	-0.02	0.03	10.93	7.37	3.81
	6	12.90	6.82	-0.02	4.32	10.54	7.89	5.23
	10	21.51	5.30	-0.02	6.80	9.85	7.77	5.68
	14	30.11	6.80	-0.01	10.20	9.60	8.22	6.85
	18	38.71	3.30	0.00	12.76	9.73	8.92	8.10
	22	47.31	1.80	0.00	14.03	10.77	10.68	10.59
	26	55.91	1.01	-0.01	17.40	12.45	12.96	13.47
	30	64.52	2.56	0.00	19.68	17.32	17.35	17.38
	34	73.12	4.67	0.01	15.40	21.18	18.92	16.66
	38	81.72	20.20	0.01	16.21	27.00	21.07	15.14
	42	90.32	20.86	0.00	13.70	36.02	23.59	11.17
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	4.30	-4.63	0.00	0.28	9.52	6.63	3.74
	6	12.90	-5.28	0.00	0.86	8.14	6.02	3.90
	10	21.51	-4.46	0.02	2.30	9.57	7.17	4.77
	14	30.11	-4.71	-0.01	4.07	9.09	7.01	4.93
	18	38.71	-3.06	0.02	5.50	8.93	7.22	5.51
	22	47.31	-5.46	0.03	5.62	8.64	7.22	5.81
	26	55.91	-5.25	0.00	5.79	8.91	8.57	8.23
	30	64.52	0.67	0.03	2.40	12.46	10.78	9.09
	34	73.12	12.46	0.03	4.53	18.29	14.00	9.71
	38	81.72	30.05	0.02	7.96	20.85	14.66	8.46
	42	90.32	27.40	0.00	11.48	22.92	14.12	5.32
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	4.30	-10.20	0.01	0.70	5.88	4.00	2.12
	6	12.90	-9.80	0.01	1.40	6.24	4.51	2.79
	10	21.51	-8.10	0.00	2.60	6.39	5.32	4.25
	14	30.11	-8.67	0.02	3.08	5.92	5.05	4.17
	18	38.71	-6.50	0.03	4.48	8.39	6.74	5.09
	22	47.31	-8.50	0.00	4.00	8.02	6.90	5.78
	26	55.91	-6.30	0.04	2.40	9.50	8.71	7.91
	30	64.52	2.96	0.00	0.70	13.62	11.44	9.25
	34	73.12	14.10	0.01	3.04	16.68	12.18	7.67
	38	81.72	28.20	0.02	4.50	17.89	12.55	7.20
	42	90.32	32.20	0.01	8.10	18.74	12.99	7.23

Tabla A.5: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=46cm (continuación).

X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	4.30	-11.80	0.00	1.02	6.28	4.25	2.21
	6	12.90	-9.90	0.01	2.50	6.15	4.53	2.92
	10	21.51	-13.00	0.03	3.60	5.44	4.28	3.11
	14	30.11	-13.40	0.02	4.10	5.17	4.45	3.74
	18	38.71	-6.50	0.01	4.18	8.39	6.74	5.09
	22	47.31	-10.60	0.01	3.60	7.94	7.36	6.77
	26	55.91	-8.20	0.02	3.10	9.65	8.59	7.53
	30	64.52	-0.95	0.01	2.50	13.40	11.15	8.89
	34	73.12	10.50	0.02	1.80	15.88	12.13	8.38
	38	81.72	25.63	0.03	2.95	16.61	12.04	7.47
	42	90.32	28.03	0.04	3.40	15.21	11.11	7.02

Tabla A.6: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=55cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	4.29	-0.02	1.83	11.20	10.23	9.26
	6	10.91	10.19	-0.02	5.21	9.61	6.67	3.73
	10	18.18	4.92	-0.02	6.60	9.92	7.64	5.35
	14	25.45	4.10	-0.01	8.30	9.63	7.55	5.47
	18	32.73	1.87	0.00	8.78	8.36	6.67	4.98
	22	40.00	-1.05	0.00	8.68	7.95	6.76	5.58
	26	47.27	-2.05	-0.01	8.62	10.86	8.67	6.48
	30	54.55	-1.18	0.00	12.43	9.20	8.82	8.44
	34	61.82	-5.13	0.01	11.70	9.51	9.78	10.05
	38	69.09	-5.71	0.01	11.35	10.01	10.85	11.70
	42	76.36	1.24	0.00	15.66	16.60	16.04	15.47
	46	83.64	16.41	0.02	18.50	20.91	17.30	13.69
	50	89.09	24.02	-0.02	17.50	21.74	16.44	11.14
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-2.88	0.00	0.20	7.48	4.93	2.39
	6	10.91	-1.14	0.00	1.30	7.87	5.82	3.77
	10	18.18	-3.84	0.02	2.00	8.19	5.95	3.70
	14	25.45	-2.03	-0.01	3.70	8.25	6.12	3.99
	18	32.73	-0.92	0.02	5.03	7.85	6.24	4.63
	22	40.00	0.01	0.03	5.73	8.06	6.43	4.80
	26	47.27	-2.94	0.00	4.90	6.26	5.36	4.46
	30	54.55	-3.65	0.03	5.32	7.10	6.21	5.31
	34	61.82	-6.23	0.03	3.91	6.27	6.04	5.81
	38	69.09	0.39	0.02	2.39	8.33	8.03	7.72
	42	76.36	8.15	0.00	2.04	12.27	9.38	6.49
	46	83.64	22.27	0.01	5.15	21.12	13.74	6.37
	50	89.09	26.68	0.02	7.85	21.49	14.06	6.62

Tabla A.6: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=15.57 l/s Y=55cm (continuación).

X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-7.20	0.01	0.23	6.12	4.18	2.24
	6	10.91	-6.88	0.01	0.76	4.43	3.69	2.96
	10	18.18	-4.62	0.00	1.41	5.59	4.57	3.56
	14	25.45	-4.15	0.02	2.64	6.38	5.17	3.97
	18	32.73	-6.92	0.03	2.73	7.02	5.34	3.66
	22	40.00	-4.11	0.00	3.68	6.32	5.22	4.12
	26	47.27	-6.42	0.04	3.38	6.14	5.27	4.39
	30	54.55	-6.35	0.00	3.37	6.01	5.81	5.61
	34	61.82	-3.65	0.01	3.10	7.28	6.85	6.43
	38	69.09	0.69	0.02	1.28	10.99	9.69	8.40
	42	76.36	13.07	0.01	0.08	12.88	10.38	7.87
	46	83.64	24.41	0.01	3.06	15.75	11.25	6.74
	50	89.09	27.27	0.00	7.71	16.18	11.40	6.61
X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-8.66	0.00	0.71	5.29	3.35	1.41
	6	10.91	-7.13	0.01	1.33	4.22	3.25	2.28
	10	18.18	-8.18	0.03	1.50	4.72	4.01	3.29
	14	25.45	-6.10	0.02	2.71	5.16	4.33	3.49
	18	32.73	-6.90	0.01	3.68	5.08	4.33	3.58
	22	40.00	-8.31	0.01	3.30	5.38	4.38	3.39
	26	47.27	-8.10	0.02	2.90	5.14	4.48	3.82
	30	54.55	-8.81	0.01	1.90	5.82	5.58	5.33
	34	61.82	-4.71	0.02	1.60	8.92	7.97	7.02
	38	69.09	-4.04	0.03	1.07	11.24	9.55	7.86
	42	76.36	8.87	0.04	0.77	13.13	10.59	8.06
	46	83.64	23.74	0.00	1.89	16.97	12.35	7.73
	50	89.09	26.46	0.02	1.60	12.58	9.18	5.78

Tabla A.7: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s Y=13cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	V_x (cm/s)	V_y (cm/s)	V_z (cm/s)	V'_x (cm/s)	V'_y (cm/s)	V'_z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	10.30	-0.02	3.50	36.85	21.59	6.32
	4.4	40	1.90	-0.02	7.30	29.60	17.58	5.57
	6.6	60	-1.20	-0.02	9.50	24.58	14.63	4.69
	8.8	80	-1.30	-0.01	10.20	29.63	7.55	5.47
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	15.50	0.00	6.30	40.99	23.81	6.63
	4.4	40	22.30	0.00	8.50	40.07	22.91	5.74
	6.6	60	16.10	0.02	10.30	32.97	19.40	5.83
	8.8	80	8.13	-0.01	10.90	27.98	16.68	5.39
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	36.10	0.01	12.40	38.94	22.67	6.40
	4.4	40	37.80	0.01	14.60	31.94	19.05	6.16
	6.6	60	27.70	0.00	15.20	27.42	16.31	5.20
	8.8	80	24.10	0.02	16.70	29.03	17.12	5.20
X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	60.10	0.00	14.20	25.36	15.02	4.69
	4.4	40	56.70	0.01	16.70	23.02	13.91	4.80
	6.6	60	51.20	0.03	17.90	25.79	15.59	5.39
	8.8	80	43.10		17.60	25.16	14.33	3.49
X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	66.00	0.00	11.50	19.90	11.95	4.00
	4.4	40	68.00	0.01	15.00	23.43	14.11	4.80
	6.6	60	61.30	0.03	15.80	21.00	13.05	5.10
	8.8	80	45.50	0.02	11.50	25.38	15.47	5.57
X=60cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	61.70	0.00	7.70	20.22	12.23	4.24
	4.4	40	66.50	0.01	11.50	26.63	15.91	5.20
	6.6	60	66.40	0.03	12.50	22.74	13.87	5.00
	8.8	80	53.20	0.02	11.20	25.88	15.73	5.57
X=70cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.2	20	55.00	0.00	5.00	18.22	10.98	3.74
	4.4	40	61.90	0.01	9.50	20.95	12.98	5.00
	6.6	60	64.80	0.03	12.60	22.72	13.81	4.90
	8.8	80	44.30	0.02	15.20	22.20	14.49	6.78

Tabla A.8: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s Y=21cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	13.60	-0.02	6.80	32.19	19.01	5.83
	4.6	21.90	11.30	-0.02	10.10	34.16	20.12	6.08
	7.2	34.29	3.50	-0.02	14.30	25.48	15.82	6.16
	9.8	46.67	-2.50	-0.01	18.10	29.51	17.80	6.08
	12.4	59.05	2.00	0.00	27.70	23.58	14.71	5.83
	15	71.43	-4.82	0.00	20.20	19.34	12.45	5.57
	17.6	80.95	-3.80	-0.01	18.40	18.41	11.55	4.69
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	26.50	0.00	12.50	35.86	20.93	6.00
	4.6	21.90	20.40	0.00	16.30	29.78	17.89	6.00
	7.2	34.29	14.40	0.02	20.50	28.11	16.84	5.57
	9.8	46.67	16.00	-0.01	23.60	32.08	19.04	6.00
	12.4	59.05	11.40	0.02	26.60	22.07	13.91	5.74
	15	71.43	5.60	0.03	25.30	21.40	13.94	6.48
	17.6	80.95	2.40	0.00	23.10	21.95	13.53	5.10
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	45.10	0.01	20.40	28.91	17.01	5.10
	4.6	21.90	36.80	0.01	25.20	33.38	19.77	6.16
	7.2	34.29	29.70	0.00	26.80	34.55	20.32	6.08
	9.8	46.67	28.50	0.02	29.30	30.36	18.01	5.66
	12.4	59.05	24.50	0.03	31.30	27.13	16.44	5.74
	15	71.43	22.80	0.00	31.00	21.17	13.67	6.16
	17.6	80.95	14.60	0.04	26.60	17.80	11.70	5.60
X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	41.70	0.00	13.00	19.80	13.02	6.24
	4.6	21.90	46.50	0.01	25.80	20.54	13.74	6.93
	7.2	34.29	44.70	0.03	32.00	22.47	14.44	6.40
	9.8	46.67	40.90	0.02	34.00	21.73	14.10	6.48
	12.4	59.05	40.40	0.01	34.60	29.98	18.70	7.42
	15	71.43	41.30	0.01	33.40	17.52	11.72	5.92
	17.6	80.95	33.10	0.02	28.70	19.26	12.50	5.74
X=50cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	35.70	0.00	4.20	17.94	11.52	5.10
	4.6	21.90	44.20	0.01	12.70	18.17	12.51	6.86
	7.2	34.29	44.20	0.03	18.80	19.39	13.79	8.19
	9.8	46.67	49.20	0.02	26.60	18.41	13.39	8.37
	12.4	59.05	48.20	0.01	26.80	17.23	12.71	8.19
	15	71.43	51.40	0.01	28.50	15.17	10.90	6.63
	17.6	80.95	45.20	0.02	23.30	16.28	11.10	5.92

**Tabla A.8: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s Y=21cm
(continuación).**

X=60cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	21.50	0.00	1.00	17.18	11.14	5.10
	4.6	21.90	30.10	0.01	5.80	18.25	12.73	7.21
	7.2	34.29	40.90	0.03	12.40	18.57	13.26	7.94
	9.8	46.67	40.60	0.02	14.00	15.97	12.11	8.25
	12.4	59.05	50.60	0.01	19.60	16.85	11.74	6.63
	15	71.43	55.60	0.01	20.40	15.17	10.71	6.24
	17.6	80.95	49.00	0.02	18.00	20.74	13.28	5.83
X=70cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	9.52	20.20	0.00	1.40	19.00	11.90	4.80
	4.6	21.90	30.10	0.01	5.60	18.25	12.73	7.21
	7.2	34.29	40.90	0.03	12.40	18.57	13.26	7.94
	9.8	46.67	42.60	0.02	14.00	15.97	12.11	8.25
	12.4	59.05	50.60	0.01	19.60	16.85	12.10	7.35
	15	71.43	55.60	0.01	20.40	15.17	10.71	6.24
	17.6	80.95	49.60	0.02	18.18	16.97	10.83	4.69

Tabla A.9: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s Y=31cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	6.06	17.50	-0.02	7.10	40.44	23.57	6.71
	4.6	13.94	10.80	-0.02	8.20	35.09	20.86	6.63
	7.2	21.82	4.60	-0.02	12.80	35.44	20.76	6.08
	9.8	29.70	-0.90	-0.01	16.00	31.08	18.66	6.24
	12.4	45.45	-3.00	0.00	20.90	34.01	20.47	6.93
	15	53.33	-2.90	0.00	23.30	28.25	17.36	6.48
	17.6	61.21	-1.70	-0.01	24.70	28.77	19.39	10.00
	20.2	69.09	-0.50	0.00	24.80	29.77	18.35	6.93
	22.8	77.58	2.50	0.01	22.80	30.81	18.64	6.48
	25.4	84.85	-1.50	0.01	21.00	23.13	14.73	6.32
	28	89.09	6.40	0.00	19.50	15.20	10.00	4.80
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	6.06	21.50	0.00	14.36	36.06	21.34	6.63
	4.6	13.94	14.40	0.00	17.30	35.82	21.23	6.63
	7.2	21.82	11.30	0.02	21.40	35.03	21.05	7.07
	9.8	29.70	9.30	-0.01	24.70	34.04	20.59	7.14
	12.4	45.45	10.80	0.02	28.60	35.03	21.12	7.21
	15	53.33	8.70	0.03	30.20	35.90	21.66	7.42
	17.6	61.21	7.50	0.00	31.00	33.84	20.59	7.35
	20.2	69.09	5.10	0.03	30.50	31.86	19.90	7.94
	22.8	77.58	6.10	0.03	28.90	24.17	15.79	7.42
	25.4	84.85	5.20	0.02	25.80	26.44	17.03	7.62
	28	89.09	2.40	0.00	23.10	21.95	13.53	5.10
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	6.06	43.10	0.01	23.10	27.40	16.49	5.57
	4.6	13.94	32.10	0.01	27.60	30.27	18.45	6.63
	7.2	21.82	20.30	0.00	28.40	48.48	27.98	7.48
	9.8	29.70	27.90	0.02	32.80	29.93	18.43	6.93
	12.4	45.45	19.20	0.03	35.10	37.68	22.62	7.55
	15	53.33	17.10	0.00	36.30	35.37	21.46	7.55
	17.6	61.21	14.60	0.04	37.20	33.45	20.62	7.79
	20.2	69.09	15.80	0.00	37.80	29.70	18.59	7.48
	22.8	77.58	15.60	0.01	35.70	26.29	17.39	8.49
	25.4	84.85	15.20	0.02	30.60	19.44	13.96	8.49
	28	89.09	14.60	0.04	26.60	17.80	11.70	5.60

Tabla A.9: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s Y=31cm (continuación).

X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	6.06	33.90	0.00	14.30	23.07	15.47	7.87
	4.6	13.94	37.20	0.01	29.80	23.15	16.21	9.27
	7.2	21.82	35.00	0.03	34.70	23.22	16.00	8.77
	9.8	29.70	33.10	0.02	39.60	29.31	18.98	8.66
	12.4	45.45	34.60	0.01	41.50	27.71	18.65	9.59
	15	53.33	25.80	0.01	41.00	32.82	21.20	9.59
	17.6	61.21	32.80	0.02	41.80	29.63	19.12	8.60
	20.2	69.09	27.40	0.01	38.70	27.89	18.16	8.43
	22.8	77.58	27.60	0.02	32.60	17.80	13.09	8.37
	25.4	84.85	41.30	0.01	33.40	17.52	11.72	5.92
	28	89.09	33.10	0.02	28.70	19.26	12.50	5.74
X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	6.06	19.50	0.00	3.15	23.77	14.58	5.39
	4.6	13.94	19.90	0.01	9.40	23.11	15.43	7.75
	7.2	21.82	33.00	0.03	19.20	23.75	16.70	9.64
	9.8	29.70	32.30	0.02	25.60	23.60	16.92	10.25
	12.4	45.45	26.60	0.01	27.10	21.98	16.49	11.00
	15	53.33	28.15	0.01	30.20	21.52	16.78	12.04
	17.6	61.21	27.70	0.02	31.60	21.95	17.08	12.21
	20.2	69.09	32.50	0.01	34.90	18.38	14.83	11.27
	22.8	77.58	31.60	0.02	30.40	16.73	13.59	10.44
	25.4	84.85	36.60	0.02	25.60	18.14	13.68	9.22
	28	89.09	45.20	0.02	23.30	16.28	11.10	5.92
X=60cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	6.06	-0.30	0.00	1.10	15.36	9.92	4.47
	4.6	13.94	3.50	0.01	5.70	17.72	12.57	7.42
	7.2	21.82	3.80	0.03	9.60	16.52	12.07	7.62
	9.8	29.70	4.80	0.02	11.00	17.06	13.19	9.33
	12.4	45.45	8.70	0.01	14.90	15.97	13.01	10.05
	15	53.33	18.70	0.01	15.90	16.16	13.00	9.85
	17.6	61.21	29.50	0.02	16.50	16.19	12.28	8.37
	20.2	69.09	40.60	0.02	14.00	15.97	12.11	8.25
	22.8	77.58	50.60	0.01	19.60	16.85	11.74	6.63
	25.4	84.85	55.60	0.01	20.40	15.17	10.71	6.24
	28	89.09	49.00	0.02	18.00	20.74	13.28	5.83

**Tabla A.10: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s
Y=40cm.**

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	V_x (cm/s)	V_y (cm/s)	V_z (cm/s)	V'_x (cm/s)	V'_y (cm/s)	V'_z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	45.50	-0.02	23.80	23.87	15.06	6.24
	6	10.91	39.80	-0.02	28.50	27.33	17.17	7.00
	10	18.18	35.00	-0.02	30.70	26.38	16.93	7.48
	14	25.45	34.30	-0.01	31.40	30.69	19.70	8.70
	18	32.73	25.60	0.00	33.60	30.48	19.33	8.19
	22	40.00	24.30	0.00	34.50	29.53	18.80	8.06
	26	47.27	14.70	-0.01	33.40	30.02	19.16	8.31
	30	54.55	13.80	0.00	34.80	28.65	18.42	8.19
	34	61.82	14.50	0.01	36.40	31.18	19.59	8.00
38	89.09	12.20	0.01	36.60	27.91	18.14	8.37	
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	43.40	0.00	27.10	20.59	12.85	5.10
	6	10.91	32.30	0.00	35.70	25.16	15.90	6.63
	10	18.18	30.60	0.02	40.20	25.06	16.10	7.14
	14	25.45	28.30	-0.01	40.70	29.78	19.10	8.43
	18	32.73	25.60	0.02	41.20	29.53	18.98	8.43
	22	40.00	23.60	0.03	40.90	30.72	19.83	8.94
	26	47.27	25.20	0.00	41.10	27.62	18.37	9.11
	30	54.55	22.80	0.03	39.70	25.22	16.94	8.66
	34	61.82	17.10	0.03	36.10	22.72	15.99	9.27
38	89.09	15.20	0.02	35.80	26.44	17.03	7.62	
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	29.40	0.01	18.10	19.77	14.13	8.49
	6	10.91	28.30	0.01	33.70	22.20	15.60	9.00
	10	18.18	29.70	0.00	41.50	23.75	15.62	7.48
	14	25.45	24.80	0.02	42.10	28.97	19.58	10.20
	18	32.73	28.30	0.03	43.10	29.22	19.64	10.05
	22	40.00	23.30	0.00	43.50	27.73	19.34	10.95
	26	47.27	26.80	0.04	43.80	27.00	18.30	9.59
	30	54.55	29.40	0.00	39.90	25.08	17.69	10.30
	34	61.82	17.10	0.01	36.10	22.72	15.99	9.27
38	89.09	27.50	0.02	33.50	23.96	16.98	10.00	

**Tabla A.10: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s
Y=40cm (continuación).**

X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	16.90	0.00	5.60	24.17	15.36	6.56
	6	10.91	24.50	0.01	20.10	22.76	17.23	11.70
	10	18.18	24.60	0.03	29.50	21.86	17.53	13.19
	14	25.45	18.60	0.02	33.50	23.45	18.87	14.28
	18	32.73	21.70	0.01	37.00	26.78	20.37	13.96
	22	40.00	15.60	0.01	36.00	31.80	23.35	14.90
	26	47.27	23.50	0.02	38.80	29.92	21.53	13.15
	30	54.55	28.10	0.01	36.90	23.19	18.15	13.11
	34	61.82	15.70	0.02	36.60	24.60	17.07	9.54
38	89.09	33.30	0.03	30.90	29.95	21.18	12.41	
X=50cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-10.70	0.00	1.60	12.41	8.14	3.87
	6	10.91	-8.60	0.01	3.70	10.10	7.83	5.57
	10	18.18	-6.90	0.03	6.30	12.25	9.73	7.21
	14	25.45	-6.50	0.02	8.00	12.41	10.17	7.94
	18	32.73	-6.15	0.01	7.90	11.70	10.43	9.17
	22	40.00	-5.70	0.01	9.10	11.49	10.62	9.75
	26	47.27	-5.50	0.02	8.10	11.75	10.90	10.05
	30	54.55	7.00	0.01	12.40	15.26	13.06	10.86
	34	61.82	22.90	0.02	13.00	20.90	14.58	8.25
38	89.09	33.00	0.03	30.90	29.95	21.18	12.41	

**Tabla A.11: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s
Y=48cm.**

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	16.20	-0.02	7.50	12.77	9.55	6.32
	6	10.91	19.70	-0.02	19.70	14.53	11.14	7.75
	10	18.18	19.50	-0.02	19.60	16.94	13.27	9.59
	14	25.45	18.50	-0.01	35.60	22.11	16.60	11.09
	18	32.73	19.30	0.00	42.90	23.98	17.51	11.05
	22	40.00	19.70	0.00	45.00	26.87	19.41	11.96
	26	47.27	11.90	-0.01	43.50	27.17	19.83	12.49
	30	54.55	13.50	0.00	42.10	29.51	21.81	14.11
	34	61.82	12.60	0.01	40.00	24.72	18.64	12.57
	38	69.09	16.50	0.01	31.50	21.00	18.13	15.26
	42	76.36	33.70	0.00	10.10	20.93	18.20	15.47
46	83.64	16.41	0.02	18.50	20.91	14.13	7.35	
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	4.30	0.00	2.10	14.39	10.07	5.74
	6	10.91	3.20	0.00	11.10	13.64	10.94	8.25
	10	18.18	8.20	0.02	17.70	15.00	13.22	11.45
	14	25.45	8.20	-0.01	17.20	13.23	11.76	10.30
	18	32.73	6.50	0.02	23.20	16.19	14.80	13.42
	22	40.00	7.30	0.03	31.80	18.30	16.40	14.49
	26	47.27	6.00	0.00	33.90	19.97	17.59	15.20
	30	54.55	3.40	0.03	32.50	18.84	17.70	16.55
	34	61.82	12.80	0.03	35.50	24.76	20.47	16.19
	38	69.09	14.40	0.02	31.50	21.93	19.29	16.64
	42	76.36	23.90	0.00	27.70	18.52	17.48	16.43
46	83.64	33.70	0.01	10.10	20.93	14.14	7.35	
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-2.20	0.01	1.20	13.86	9.05	4.24
	6	10.91	-1.60	0.01	3.90	14.93	10.97	7.00
	10	18.18	-2.30	0.00	6.50	13.49	10.84	8.19
	14	25.45	-6.14	0.02	6.70	11.09	9.96	8.83
	18	32.73	-5.90	0.03	9.70	12.45	11.70	10.95
	22	40.00	-7.20	0.00	8.80	11.75	12.06	12.37
	26	47.27	-2.80	0.04	15.00	15.49	15.68	15.87
	30	54.55	1.70	0.00	14.60	13.67	14.81	15.94
	34	61.82	10.30	0.01	15.50	14.49	15.02	15.56
	38	69.09	26.00	0.02	17.60	17.03	15.17	13.30
	42	76.36	33.70	0.01	10.10	20.93	14.14	7.35

**Tabla A.11: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s
Y=48cm (continuación).**

X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-7.90	0.00	0.90	10.25	6.78	3.32
	6	10.91	-6.70	0.01	2.60	12.61	9.00	5.39
	10	18.18	-9.60	0.03	3.40	10.00	7.35	4.69
	14	25.45	-8.30	0.02	5.30	11.09	8.67	6.24
	18	32.73	-9.30	0.01	5.80	9.54	8.16	6.78
	22	40.00	-10.20	0.01	5.60	9.85	9.20	8.54
	26	47.27	-8.30	0.02	5.70	9.75	9.72	9.70
	30	54.55	-0.60	0.01	5.70	12.77	12.06	11.36
	34	61.82	6.70	0.02	6.70	14.97	12.53	10.10
	38	69.09	23.80	0.03	10.50	18.03	13.86	9.70
	42	76.36	33.70	0.04	10.10	20.93	14.14	7.36
	46	83.64	15.70	0.02	36.60	24.60	17.07	9.54

**Tabla A.12: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s
Y=54cm.**

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	V_x (cm/s)	V_y (cm/s)	V_z (cm/s)	V'_x (cm/s)	V'_y (cm/s)	V'_z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	1.70	-0.02	1.10	9.49	6.16	2.83
	6	10.91	2.80	-0.02	3.40	10.44	7.77	5.10
	10	18.18	3.90	-0.02	8.40	13.00	10.04	7.07
	14	25.45	7.90	-0.01	15.10	14.66	11.51	8.37
	18	32.73	7.80	0.00	21.10	17.26	13.45	9.64
	22	40.00	11.20	0.00	29.30	25.12	18.50	11.87
	26	47.27	7.10	-0.01	30.80	36.59	24.72	12.85
	30	54.55	14.70	0.00	32.50	38.44	26.19	13.93
	34	61.82	6.70	0.01	31.80	39.65	27.16	14.66
	38	69.09	10.90	0.01	35.00	31.87	22.34	12.81
	42	76.36	12.90	0.00	35.10	27.20	19.21	11.22
	46	83.64	12.00	0.02	28.90	20.88	16.54	12.21
	50	89.09	16.70	-0.02	29.50	18.63	14.90	11.18
51	92.34	13.50	0.01	20.50	16.09	13.19	10.30	
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-5.00	0.00	0.00	5.74	3.99	2.24
	6	10.91	-4.90	0.00	0.90	7.68	5.57	3.46
	10	18.18	-4.80	0.02	2.50	7.68	5.84	4.00
	14	25.45	-2.60	-0.01	5.70	9.49	7.48	5.48
	18	32.73	-1.70	0.02	8.10	9.00	8.50	8.00
	22	40.00	-4.40	0.03	10.30	11.31	10.37	9.43
	26	47.27	-6.10	0.00	13.20	13.27	12.51	11.75
	30	54.55	-4.40	0.03	16.70	20.83	17.63	14.42
	34	61.82	-4.90	0.03	17.00	16.70	15.85	15.00
	38	69.09	2.60	0.02	18.00	20.93	18.26	15.59
	42	76.36	14.60	0.00	20.90	28.91	22.67	16.43
	46	83.64	20.50	0.01	20.36	18.55	16.86	15.17
	50	89.09	27.26	0.02	18.70	20.42	16.39	12.37
51	92.34	24.90	0.03	14.90	22.43	15.74	9.06	

**Tabla A.12: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=24.45 l/s
Y=54cm (continuación).**

X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-8.70	0.01	0.70	5.20	3.31	1.41
	6	10.91	-7.10	0.01	1.10	4.90	3.88	2.86
	10	18.18	-6.50	0.00	2.60	6.63	4.90	3.16
	14	25.45	-7.70	0.02	2.70	5.92	4.89	3.87
	18	32.73	-9.60	0.03	3.60	5.74	4.74	3.74
	22	40.00	-8.10	0.00	4.50	6.63	5.37	4.12
	26	47.27	-10.70	0.04	4.10	5.74	5.22	4.69
	30	54.55	-8.40	0.00	4.40	7.14	6.44	5.74
	34	61.82	-6.20	0.01	4.60	8.37	7.99	7.62
	38	69.09	0.40	0.02	5.60	11.31	10.78	10.25
	42	76.36	12.30	0.01	7.60	14.53	12.92	11.31
	46	83.64	25.90	0.01	9.20	18.00	14.09	10.17
	50	89.09	31.50	0.00	10.30	25.85	17.37	8.89
51	92.34	36.10	0.01	12.50	26.27	17.23	8.19	
X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	3.64	-10.80	0.00	0.96	4.69	3.05	1.41
	6	10.91	-9.30	0.01	1.50	4.90	3.57	2.24
	10	18.18	-9.20	0.03	3.10	4.69	3.76	2.83
	14	25.45	-9.00	0.02	3.60	4.80	3.98	3.16
	18	32.73	-10.20	0.01	4.10	4.69	4.15	3.61
	22	40.00	-10.00	0.01	4.50	4.47	4.04	3.61
	26	47.27	-10.50	0.02	4.60	5.00	4.62	4.24
	30	54.55	-9.70	0.01	2.90	6.40	6.12	5.83
	34	61.82	-7.40	0.02	4.50	9.43	8.25	7.07
	38	69.09	-1.30	0.03	2.20	11.87	9.94	8.00
	42	76.36	13.70	0.04	2.80	15.97	11.89	7.81
	46	83.64	24.70	0.00	4.90	17.20	12.21	7.21
	50	89.09	35.10	0.02	7.60	20.49	13.53	6.56
51	92.34	15.70	0.02	36.60	26.27	17.23	8.19	

Tabla A.13: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=17cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	13.40	-0.02	4.30	29.15	18.67	8.19
	5	33.53	16.10	-0.02	5.30	31.03	19.88	8.72
	7	41.18	15.10	-0.02	6.70	28.14	17.98	7.81
	9	52.94	13.60	-0.01	9.40	27.18	17.23	7.28
	11	64.71	13.30	0.00	8.70	25.65	16.36	7.07
	13	76.47	9.15	0.00	22.90	17.35	13.67	10.00
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	68.30	0.00	21.40	28.32	18.37	8.43
	5	33.53	55.10	0.00	23.50	26.74	17.49	8.25
	7	41.18	51.80	0.02	23.90	24.66	16.23	7.81
	9	52.94	47.60	-0.01	22.90	23.09	15.48	7.87
	11	64.71	39.20	0.02	18.80	20.66	14.04	7.42
	13	76.47	30.50	0.03	14.10	20.05	13.30	6.56
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	73.90	0.00	18.30	24.76	15.29	5.83
	5	33.53	74.20	0.03	23.60	22.11	14.37	6.63
	7	41.18	69.90	0.03	25.30	22.32	14.80	7.28
	9	52.94	65.20	0.02	24.60	22.80	14.87	6.93
	11	64.71	61.40	0.01	22.30	20.40	13.32	6.24
	13	76.47	56.90	0.02	18.40	18.47	12.06	5.66
X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	64.90	0.00	14.30	29.44	17.92	6.40
	5	33.53	65.70	0.01	18.80	27.24	17.23	7.21
	7	41.18	68.80	0.03	20.80	22.02	14.37	6.71
	9	52.94	69.80	0.02	21.20	18.63	12.78	6.93
	11	64.71	71.20	0.01	20.30	17.58	11.75	5.92
	13	76.47	64.70	0.01	16.30	17.35	11.76	6.16
X=50cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	49.70	0.00	9.80	33.08	19.82	6.56
	5	33.53	54.10	0.01	15.50	29.26	18.44	7.62
	7	41.18	67.60	0.03	18.80	24.21	15.42	6.63
	9	52.94	59.60	0.02	32.80	21.95	14.72	7.48
	11	64.71	74.50	0.01	19.90	20.93	13.63	6.32
	13	76.47	76.10	0.01	18.30	16.40	11.20	6.00

**Tabla A.13: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=17cm
(continuación).**

X=60cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	34.30	0.00	6.60	29.78	17.85	5.92
	5	33.53	44.10	0.01	11.60	31.35	19.35	7.35
	7	41.18	58.10	0.03	15.00	27.51	17.36	7.21
	9	52.94	67.40	0.02	33.30	23.19	15.37	7.55
	11	64.71	65.30	0.01	16.80	21.61	13.97	6.32
	13	76.47	70.90	0.01	17.60	20.10	12.65	5.20
X=70cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	17.65	35.00	0.16	7.00	29.78	17.85	5.92
	5	33.53	45.00	0.13	12.00	31.35	19.35	7.35
	7	41.18	60.00	0.13	15.00	27.51	17.36	7.21
	9	52.94	67.00	0.07	17.00	23.19	15.37	7.55
	11	64.71	72.00	0.02	18.00	21.61	13.97	6.32
	13	76.47	45.00	0.08	36.00	20.10	12.65	5.20

Tabla A.14: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=24cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	14.90	-0.02	-2.30	37.95	23.61	9.27
	5.7	22.80	22.20	-0.02	-0.90	23.85	16.54	9.22
	8.4	33.60	18.40	-0.02	5.90	20.62	15.00	9.38
	11.1	44.00	6.10	-0.01	10.10	21.33	15.08	8.83
	13.8	54.40	5.10	0.00	13.80	21.89	15.55	9.22
	16.5	65.20	2.00	0.00	13.50	13.60	10.95	8.31
	19.2	76.00	1.00	-0.01	15.10	12.12	9.10	6.08
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	25.10	0.00	4.20	41.21	25.45	9.70
	5.7	22.80	28.20	0.00	4.10	34.94	22.11	9.27
	8.4	33.60	23.80	0.02	16.90	27.13	18.01	8.89
	11.1	44.00	18.40	-0.01	20.00	30.82	20.41	10.00
	13.8	54.40	9.80	0.02	23.10	17.66	14.03	10.39
	16.5	65.20	4.90	0.03	20.20	15.94	12.84	9.75
	19.2	76.00	4.50	0.00	18.50	14.28	11.20	8.12
X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	45.10	0.01	11.60	32.34	20.59	8.83
	5.7	22.80	35.60	0.01	16.50	30.66	19.60	8.54
	8.4	33.60	25.40	0.00	23.40	38.04	24.12	10.20
	11.1	44.00	19.70	0.02	26.80	29.02	19.09	9.17
	13.8	54.40	13.20	0.03	29.20	21.89	15.69	9.49
	16.5	65.20	12.40	0.00	37.80	17.23	13.64	10.05
	19.2	76.00	8.30	0.04	27.50	15.97	12.34	8.72
X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	68.70	0.00	19.50	24.90	15.91	6.93
	5.7	22.80	49.90	0.01	22.10	26.12	16.90	7.68
	8.4	33.60	39.40	0.03	26.60	23.90	16.72	9.54
	11.1	44.00	27.80	0.02	29.90	22.69	15.71	8.72
	13.8	54.40	18.70	0.01	30.10	21.95	16.05	10.15
	16.5	65.20	13.10	0.01	26.60	16.70	13.20	9.70
	19.2	76.00	11.60	0.02	22.60	14.87	10.93	7.00
X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	86.70	0.00	22.10	21.14	14.00	6.86
	5.7	22.80	67.50	0.01	24.40	24.12	15.80	7.48
	8.4	33.60	46.80	0.03	29.30	23.24	14.94	6.63
	11.1	44.00	37.50	0.02	30.40	23.24	16.28	9.33
	13.8	54.40	24.40	0.01	30.20	21.70	15.49	9.27
	16.5	65.20	21.80	0.01	27.90	18.68	14.37	10.05

**Tabla A.14: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=24cm
(continuación).**

X=60cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	90.10	0.00	25.70	19.95	12.89	5.83
	5.7	22.80	59.60	0.01	32.80	21.95	14.35	6.75
	8.4	33.60	47.10	0.03	44.80	22.56	15.12	7.68
	11.1	44.00	35.60	0.02	33.30	20.81	14.82	8.83
	13.8	54.40	29.70	0.01	32.10	19.29	14.44	9.59
	16.5	65.20	31.90	0.01	31.40	17.20	13.05	8.89
	19.2	76.00	29.30	0.02	26.90	13.86	10.77	7.68
X=70cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	12.00	75.50	0.00	19.60	25.83	16.41	7.00
	5.7	22.80	73.60	0.01	29.10	23.77	16.07	8.37
	8.4	33.60	67.40	0.03	33.30	23.19	15.37	7.55
	11.1	44.00	52.70	0.02	34.50	26.34	17.17	8.00
	13.8	54.40	47.40	0.01	36.10	24.31	16.03	7.75
	16.5	65.20	41.60	0.01	34.40	20.52	14.59	8.66
	19.2	76.00	41.40	0.01	31.50	17.18	12.89	8.60

Tabla A.15: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=35cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	V_x (cm/s)	V_y (cm/s)	V_z (cm/s)	V'_x (cm/s)	V'_y (cm/s)	V'_z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	17.90	-0.02	-0.50	34.64	21.47	8.31
	5.7	10.91	15.90	-0.02	0.10	25.18	16.33	7.48
	7.8	18.18	15.10	-0.02	4.60	19.54	13.58	7.62
	9.9	25.45	8.40	-0.01	11.70	17.69	12.78	7.87
	12	32.73	1.40	0.00	18.60	16.49	12.12	7.75
	14.1	40.00	-4.30	0.00	23.70	15.72	12.01	8.31
	16.2	47.27	-6.00	-0.01	28.90	15.20	12.32	9.43
	18.3	54.55	-4.50	0.00	30.80	22.43	15.77	9.11
	20.4	61.82	-6.10	0.01	28.90	16.31	12.90	9.49
	22.5	69.09	-5.60	0.01	27.10	16.00	13.05	10.10
	24.6	76.36	-2.80	0.00	22.60	11.53	9.54	7.55
	26.7	83.64	-0.50	0.01	17.40	13.60	10.95	8.31
	28.8	89.09	5.30	-0.01	11.70	12.12	9.10	6.08
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	36.40	-0.02	7.50	29.70	19.12	8.54
	5.7	10.91	35.70	-0.02	13.70	21.66	15.47	9.27
	7.8	18.18	26.70	-0.02	19.40	20.37	15.69	11.00
	9.9	25.45	17.43	-0.01	24.20	18.11	14.18	10.25
	12	32.73	3.60	0.00	27.20	17.06	14.30	11.53
	14.1	40.00	-1.60	0.00	30.20	16.76	14.42	12.08
	16.2	47.27	-3.10	-0.01	32.40	16.76	14.10	11.45
	18.3	54.55	-1.30	0.00	32.10	17.78	14.93	12.08
	20.4	61.82	-2.70	0.01	31.20	14.76	12.97	11.18
	22.5	69.09	-2.40	0.01	26.00	15.43	13.54	11.66
	24.6	76.36	0.00	0.00	22.20	13.34	11.87	10.39
	26.7	83.64	5.30	0.01	18.40	15.94	12.84	9.75
	28.8	89.09	10.10	-0.01	13.60	14.28	11.20	8.12
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	58.70	0.01	15.30	24.64	16.41	8.19
	5.7	10.91	49.50	0.01	21.30	22.49	15.94	9.38
	7.8	18.18	35.30	0.00	24.20	27.13	18.33	9.54
	9.9	25.45	24.10	0.02	28.20	21.66	15.62	9.59
	12	32.73	15.90	0.03	34.40	22.23	16.14	10.05
	14.1	40.00	7.10	0.00	34.20	25.28	18.23	11.18
	16.2	47.27	2.10	0.04	36.30	19.16	15.54	11.92
	18.3	54.55	0.80	0.00	36.80	17.18	14.93	12.69
	20.4	61.82	-1.20	0.01	34.10	16.12	14.54	12.96
	22.5	69.09	0.40	0.02	30.30	14.93	13.59	12.25
	24.6	76.36	1.00	0.04	25.10	15.13	13.25	11.36

Tabla A.15: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=35cm (continuación).

X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	26.50	0.00	4.00	28.86	17.89	6.93
	5.7	10.91	12.30	0.01	7.70	29.41	18.17	6.93
	7.8	18.18	4.30	0.03	11.70	30.36	18.82	7.28
	9.9	25.45	-4.00	0.02	14.30	36.36	22.33	8.31
	12	32.73	-10.90	0.01	21.60	36.43	23.31	10.20
	14.1	40.00	-13.50	0.01	23.50	26.57	18.36	10.15
	16.2	47.27	-11.90	0.02	24.50	25.69	18.04	10.39
	18.3	54.55	-8.80	0.01	26.20	25.08	18.02	10.95
	20.4	61.82	-8.10	0.02	26.90	22.78	16.61	10.44
	22.5	69.09	-2.50	0.00	24.70	16.61	13.00	9.38
	24.6	76.36	1.20	0.00	20.80	15.46	11.63	7.81
	26.7	83.64	8.20	0.01	15.20	16.70	13.20	9.70
	28.8	89.09	16.80	0.03	5.90	14.87	10.93	7.00
X=50cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	40.40	0.00	10.98	32.16	19.59	7.02
	5.7	10.91	15.30	0.01	15.70	34.77	21.19	7.62
	7.8	18.18	1.20	0.03	14.70	34.31	21.09	7.87
	9.9	25.45	-3.30	0.02	18.10	37.34	22.61	7.87
	12	32.73	-8.90	0.01	21.10	34.57	21.81	9.06
	14.1	40.00	-16.30	0.01	22.80	34.12	22.30	10.49
	16.2	47.27	-15.60	0.02	24.30	39.66	25.93	12.21
	18.3	54.55	-13.80	0.01	25.30	28.25	19.60	10.95
	20.4	61.82	-8.90	0.02	26.40	24.31	17.47	10.63
	22.5	69.09	-5.60	0.00	27.90	21.00	15.06	9.11
	24.6	76.36	0.20	0.00	27.10	19.03	14.07	9.11
	26.7	83.64	5.30	0.01	23.20	18.68	14.37	10.05
	28.8	89.09	13.20	0.03	17.30	16.61	12.64	8.66
X=60cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	40.30	0.00	15.20	29.02	17.90	6.78
	5.7	10.91	1.90	0.01	14.80	34.87	21.53	8.19
	7.8	18.18	-18.40	0.03	16.10	42.39	25.55	8.72
	9.9	25.45	-22.00	0.02	18.60	40.78	24.66	8.54
	12	32.73	-27.00	0.01	19.20	40.55	25.07	9.59
	14.1	40.00	-22.00	0.01	21.70	37.97	24.13	10.30
	16.2	47.27	-25.00	0.02	21.60	35.86	23.45	11.05
	18.3	54.55	-18.00	0.00	23.90	32.88	22.33	11.79
	20.4	61.82	-13.50	0.00	25.20	33.11	22.28	11.45
	22.5	69.09	-8.20	0.01	27.10	27.62	19.20	10.77
	24.6	76.36	4.70	0.03	28.20	21.14	15.07	9.00
	26.7	83.64	9.70	0.02	25.70	17.20	13.05	8.89
	28.8	89.09	15.60	0.02	20.30	13.86	10.77	7.68

**Tabla A.15: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=35cm
(continuación).**

X=70cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.6	3.64	64.90	0.00	18.90	25.10	16.22	7.35
	5.7	10.91	61.70	0.01	29.10	26.46	17.56	8.66
	7.8	18.18	53.40	0.03	34.90	23.35	16.09	8.83
	9.9	25.45	40.30	0.02	38.20	25.36	17.21	9.06
	12	32.73	27.80	0.01	39.80	27.98	18.46	8.94
	14.1	40.00	22.60	0.01	41.50	28.30	18.60	8.89
	16.2	47.27	20.20	0.02	43.50	26.04	17.17	8.31
	18.3	54.55	17.70	0.00	42.70	25.28	17.46	9.64
	20.4	61.82	18.90	0.00	31.30	20.42	14.93	9.43
	22.5	69.09	20.90	0.01	38.90	14.59	12.71	10.82
	24.6	76.36	24.10	0.03	34.10	15.17	12.73	10.30
	26.7	83.64	21.30	0.02	27.30	20.52	14.59	8.66
	28.8	89.09	23.40	0.01	17.40	17.18	12.89	8.60

Tabla A.16: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=44cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	3.10	-0.02	0.40	44.38	27.41	10.44
	5.7	12.95	-7.60	-0.02	0.79	48.66	29.10	9.54
	9.7	22.05	0.20	-0.02	-3.74	35.16	22.22	9.27
	13.7	31.14	3.40	-0.01	-1.57	29.44	18.78	8.12
	17.7	40.23	11.58	0.00	8.50	26.89	18.08	9.27
	21.7	49.32	7.40	0.00	19.30	22.78	16.19	9.59
	25.7	58.41	2.80	-0.01	27.70	23.28	17.00	10.72
	29.7	67.50	-1.30	0.00	32.10	18.55	14.32	10.10
	33.7	76.59	-5.30	0.01	33.80	20.88	15.47	10.05
	37.7	85.68	-3.80	0.01	30.80	17.35	14.01	10.68
41.7	88.64	-0.60	0.00	22.90	18.19	13.57	8.94	
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	23.70	0.00	6.90	43.90	26.39	8.89
	5.7	12.95	27.90	0.00	9.30	23.24	15.95	8.66
	9.7	22.05	12.90	0.02	14.70	17.86	13.59	9.33
	13.7	31.14	-0.40	-0.01	21.70	18.36	13.65	8.94
	17.7	40.23	-9.10	0.02	28.50	15.56	12.68	9.80
	21.7	49.32	-10.50	0.03	36.80	15.91	13.31	10.72
	25.7	58.41	-11.60	0.00	39.60	16.49	13.65	10.82
	29.7	67.50	-10.50	0.03	39.20	16.16	14.40	12.65
	33.7	76.59	-11.20	0.03	34.70	17.49	16.08	14.66
	37.7	85.68	-2.50	0.02	28.20	15.33	13.66	12.00
41.7	88.64	0.40	0.01	26.40	14.21	12.74	11.27	
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	51.30	0.01	18.30	22.20	15.31	8.43
	5.7	12.95	40.10	0.01	22.40	21.47	15.37	9.27
	9.7	22.05	21.60	0.00	26.10	19.87	15.44	11.00
	13.7	31.14	8.60	0.02	33.90	19.90	16.17	12.45
	17.7	40.23	-2.20	0.03	36.30	19.80	16.49	13.19
	21.7	49.32	-7.50	0.00	39.30	18.95	16.20	13.45
	25.7	58.41	-11.70	0.04	39.10	18.68	16.23	13.78
	29.7	67.50	-8.70	0.00	40.50	16.34	14.71	13.08
	33.7	76.59	-6.80	0.01	36.50	15.30	14.52	13.75
	37.7	85.68	-2.30	0.02	29.60	13.23	13.29	13.34
41.7	88.64	2.10	0.02	25.20	14.49	13.10	11.70	

Tabla A.16: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=44cm (continuación).

X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	66.50	0.00	21.60	19.85	13.89	7.94
	5.7	12.95	53.20	0.01	24.50	19.72	14.32	8.92
	9.7	22.05	32.80	0.03	31.70	21.31	15.87	10.44
	13.7	31.14	11.30	0.02	34.20	22.45	17.41	12.37
	17.7	40.23	0.20	0.01	39.70	23.28	17.95	12.61
	21.7	49.32	-9.00	0.01	40.70	22.58	18.09	13.60
	25.7	58.41	-9.30	0.02	41.00	20.02	16.89	13.75
	29.7	67.50	-7.30	0.01	41.60	18.71	16.69	14.66
	33.7	76.59	-3.10	0.02	35.80	16.58	15.79	15.00
	37.7	85.68	1.30	0.02	21.90	13.89	13.67	13.45
	41.7	88.64	6.50	0.01	26.30	13.64	13.02	12.41
X=50cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	34.10	0.00	9.50	25.53	16.05	6.56
	5.7	12.95	19.30	0.01	10.70	25.02	15.59	6.16
	9.7	22.05	-2.50	0.03	15.90	30.28	18.82	7.35
	13.7	31.14	-12.20	0.02	19.70	31.37	20.37	9.38
	17.7	40.23	-15.13	0.01	22.40	28.84	19.83	10.82
	21.7	49.32	-15.80	0.01	23.90	27.73	20.09	12.45
	25.7	58.41	-13.10	0.02	22.60	24.41	18.76	13.11
	29.7	67.50	-10.80	0.01	25.10	24.49	18.77	13.04
	33.7	76.59	-7.10	0.02	27.60	22.25	17.15	12.04
	37.7	85.68	-1.50	0.03	26.10	18.63	14.51	10.39
	41.7	88.64	1.00	-0.02	24.30	17.26	13.45	9.64
X=60cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	35.80	0.00	16.30	28.69	18.10	7.50
	5.7	12.95	11.50	0.01	17.20	33.27	20.54	7.81
	9.7	22.05	-11.80	0.03	20.40	36.99	23.05	9.11
	13.7	31.14	-18.00	0.02	21.80	35.24	22.28	9.33
	17.7	40.23	-18.00	0.01	22.70	35.10	23.47	11.83
	21.7	49.32	-16.90	0.01	22.00	32.08	22.75	13.42
	25.7	58.41	-17.00	0.02	22.20	28.04	21.35	14.66
	29.7	67.50	-11.80	0.02	23.10	25.88	20.41	14.93
	33.7	76.59	-6.90	0.01	26.70	23.62	17.93	12.25
	37.7	85.68	0.30	0.01	26.60	21.35	16.15	10.95
	41.7	88.64	4.10	0.02	25.50	16.85	13.43	10.00

Tabla A.16: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=44cm (continuación).

X=70cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	37.80	0.00	13.80	25.38	16.26	7.14
	5.7	12.95	18.20	0.01	16.50	27.66	17.89	8.12
	9.7	22.05	-17.10	0.03	19.80	43.73	26.25	8.77
	13.7	31.14	-34.30	0.02	19.10	42.66	26.31	9.95
	17.7	40.23	-37.50	0.01	18.10	41.29	26.85	12.41
	21.7	49.32	-27.30	0.01	18.30	35.82	25.72	15.62
	25.7	58.41	-21.10	0.02	20.70	32.36	24.04	15.72
	29.7	67.50	-18.50	0.02	21.70	31.95	23.75	15.56
	33.7	76.59	-9.40	0.01	22.10	26.93	20.69	14.46
	37.7	85.68	-5.20	0.01	25.10	26.74	18.78	10.82
	41.7	88.64	5.80	0.02	26.20	21.07	15.38	9.70
X=80cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	18.80	0.00	6.50	25.50	16.28	7.07
	5.7	12.95	20.80	0.01	10.10	26.51	17.38	8.25
	9.7	22.05	13.80	0.03	17.50	26.66	17.66	8.66
	13.7	31.14	-4.80	0.02	20.40	34.34	21.91	9.49
	17.7	40.23	-17.20	0.01	20.30	42.21	26.30	10.39
	21.7	49.32	-20.90	0.01	21.80	38.55	25.02	11.49
	25.7	58.41	-18.10	0.02	20.90	36.97	24.69	12.41
	29.7	67.50	-14.80	0.02	20.90	35.96	24.63	13.30
	33.7	76.59	-9.30	0.01	22.30	34.04	22.98	11.92
	37.7	85.68	6.10	0.01	23.70	26.40	18.30	10.20
	41.7	88.64	12.10	0.02	23.20	22.47	15.17	7.87

Tabla A.17: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=53cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	Vx (cm/s)	Vy (cm/s)	Vz (cm/s)	V'x (cm/s)	V'y (cm/s)	V'z (cm/s)
X=10 cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	18.00	-0.02	7.30	29.56	19.66	9.75
	5.7	12.95	18.30	-0.02	4.70	27.68	18.86	10.05
	9.7	22.05	15.40	-0.02	6.10	24.78	17.16	9.54
	13.7	31.14	12.60	-0.01	11.70	23.43	17.15	10.86
	17.7	40.23	9.10	0.00	21.10	21.79	16.17	10.54
	21.7	49.32	5.90	0.00	30.80	24.04	17.31	10.58
	25.7	58.41	2.40	-0.01	37.00	22.87	16.65	10.44
	29.7	67.50	0.62	0.00	43.30	20.74	15.29	9.85
	33.7	76.59	-2.20	0.01	45.10	22.85	15.92	9.00
	37.7	85.68	-2.60	0.01	40.60	24.08	18.08	12.08
41.7	88.64	-5.50	0.00	37.10	19.31	16.27	13.23	
X=20cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	46.90	0.00	17.70	24.64	17.19	9.75
	5.7	12.95	36.10	0.00	19.40	24.00	16.90	9.80
	9.7	22.05	27.40	0.02	22.80	20.40	15.27	10.15
	13.7	31.14	15.40	-0.01	28.10	20.74	15.80	10.86
	17.7	40.23	2.90	0.02	34.10	22.36	16.45	10.54
	21.7	49.32	-3.30	0.03	41.90	20.71	15.26	9.80
	25.7	58.41	-10.50	0.00	50.90	17.00	14.88	12.77
	29.7	67.50	-7.20	0.03	49.80	23.37	17.60	11.83
	33.7	76.59	-6.00	0.03	48.80	22.02	17.24	12.45
	37.7	85.68	-6.00	0.02	47.20	22.29	18.04	13.78
41.7	88.64	-2.30	0.02	43.30	23.17	18.48	13.78	
X=30cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	64.00	0.01	21.20	20.07	14.01	7.94
	5.7	12.95	46.20	0.01	28.70	20.32	14.93	9.54
	9.7	22.05	27.90	0.00	33.90	21.05	15.60	10.15
	13.7	31.14	11.40	0.02	41.40	22.72	16.86	11.00
	17.7	40.23	0.70	0.03	46.00	22.78	16.91	11.05
	21.7	49.32	-10.10	0.00	47.20	23.87	18.38	12.88
	25.7	58.41	-11.90	0.04	46.00	23.71	18.75	13.78
	29.7	67.50	-10.30	0.00	47.60	26.02	19.97	13.93
	33.7	76.59	-8.30	0.01	44.70	24.17	19.17	14.18
	37.7	85.68	-4.90	0.02	45.20	22.11	18.75	15.39
41.7	88.64	-1.80	0.01	43.60	19.44	17.71	15.97	

Tabla A.17: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=53cm (continuación).

X=40cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	33.90	0.00	14.30	23.07	15.47	7.87
	5.7	12.95	37.20	0.01	29.80	23.15	16.21	9.27
	9.7	22.05	35.00	0.03	34.70	23.22	16.00	8.77
	13.7	31.14	33.10	0.02	39.60	29.31	18.98	8.66
	17.7	40.23	34.60	0.01	41.50	27.71	18.65	9.59
	21.7	49.32	25.80	0.01	41.00	32.82	21.20	9.59
	25.7	58.41	32.80	0.02	41.80	29.63	19.12	8.60
	29.7	67.50	27.40	0.01	38.70	27.89	18.16	8.43
	33.7	76.59	27.60	0.02	32.60	17.80	13.09	8.37
	37.7	85.68	27.30	0.02	31.90	29.63	19.12	8.60
	41.7	88.64	26.50	0.01	32.30	27.89	18.16	8.43
X=50cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	19.50	0.00	3.15	23.77	14.58	5.39
	5.7	12.95	19.90	0.01	9.40	23.11	15.43	7.75
	9.7	22.05	33.00	0.03	19.20	23.75	16.70	9.64
	13.7	31.14	32.30	0.02	25.60	23.60	16.92	10.25
	17.7	40.23	26.60	0.01	27.10	21.98	16.49	11.00
	21.7	49.32	28.15	0.01	30.20	21.52	16.78	12.04
	25.7	58.41	27.70	0.02	31.60	21.95	17.08	12.21
	29.7	67.50	32.50	0.01	34.90	18.38	14.83	11.27
	33.7	76.59	31.60	0.02	30.40	16.73	13.59	10.44
	37.7	85.68	36.60	0.02	25.60	29.63	19.12	8.60
	41.7	88.64	34.50	-0.02	24.30	27.89	18.16	8.43
X=60cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	-0.30	0.00	1.10	23.45	13.91	4.36
	5.7	12.95	3.50	0.01	5.70	25.77	17.36	8.94
	9.7	22.05	3.80	0.03	9.60	26.57	19.51	12.45
	13.7	31.14	4.80	0.02	11.00	25.00	20.03	15.07
	17.7	40.23	8.70	0.01	14.90	24.12	19.82	15.52
	21.7	49.32	18.70	0.01	15.90	19.72	18.33	16.94
	25.7	58.41	29.50	0.02	16.50	22.76	20.30	17.83
	29.7	67.50	32.50	0.01	34.90	24.31	21.09	17.86
	33.7	76.59	31.60	0.02	30.40	24.04	20.94	17.83
	37.7	85.68	36.60	0.02	25.60	18.47	17.20	15.94
	41.7	88.64	34.50	-0.02	24.30	13.04	12.62	12.21

Tabla A.17: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=53cm (continuación).

X=70cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	3.86	3.70	0.00	1.30	19.47	13.41	7.35
	5.7	12.95	8.20	0.01	7.60	20.54	15.14	9.75
	9.7	22.05	11.00	0.03	16.00	20.78	16.07	11.36
	13.7	31.14	7.80	0.02	19.80	17.12	14.66	12.21
	17.7	40.23	2.00	0.01	23.10	15.17	14.12	13.08
	21.7	49.32	0.50	0.01	26.40	15.20	14.78	14.35
	25.7	58.41	-2.80	0.02	26.50	15.59	16.06	16.52
	29.7	67.50	-5.70	0.02	27.50	15.81	15.62	15.43
	33.7	76.59	-4.30	0.01	27.50	14.07	14.54	15.00
	37.7	85.68	6.50	0.01	26.80	13.23	14.05	14.87
	41.7	88.64	23.30	0.02	24.70	12.00	11.74	11.49
X=80cm	0	0.00	0.00	0.00	0.00	14.63	11.73	8.83
	1.7	3.86	-4.00	0.00	4.40	25.50	16.28	7.07
	5.7	12.95	-0.80	0.01	9.10	26.51	17.38	8.25
	9.7	22.05	-0.83	0.03	12.70	26.66	17.66	8.66
	13.7	31.14	-3.10	0.02	14.10	34.34	21.91	9.49
	17.7	40.23	-6.20	0.01	12.90	42.21	26.30	10.39
	21.7	49.32	-6.10	0.01	13.40	38.55	25.02	11.49
	25.7	58.41	-6.40	0.02	15.40	36.97	24.69	12.41
	29.7	67.50	-5.10	0.03	16.50	35.96	24.63	13.30
	33.7	76.59	-0.30	0.02	17.10	34.04	22.98	11.92
	37.7	85.68	7.10	0.01	15.80	26.40	18.30	10.20
	41.7	88.64	23.30	0.01	18.10	22.47	15.17	7.87

Tabla A.18: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=64cm.

Distancia al chorro	Calado y (cm)	% Calado	V_x (cm/s)	V_y (cm/s)	V_z (cm/s)	V'_x (cm/s)	V'_y (cm/s)	V'_z (cm/s)
X=10 cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	49.40	-0.02	30.60	13.64	10.79	7.94
	5.7	8.91	41.90	-0.02	34.20	19.05	13.43	7.81
	9.7	15.16	42.30	-0.02	36.20	14.80	11.79	8.77
	13.7	21.41	37.20	-0.01	40.60	17.78	13.63	9.49
	17.7	27.66	30.20	0.00	45.40	16.03	12.40	8.77
	21.7	33.91	13.90	0.00	37.70	20.81	15.74	10.68
	25.7	40.16	-1.60	-0.01	54.00	18.33	14.57	10.82
	29.7	46.41	5.10	0.00	55.40	24.58	17.56	10.54
	33.7	52.66	-3.70	0.01	56.80	20.57	15.21	9.85
	37.7	58.91	10.90	0.01	-1.70	32.31	25.38	18.44
	41.7	65.16	13.10	0.00	3.96	32.40	24.39	16.37
	45.7	71.41	10.40	0.01	11.00	24.17	19.43	14.70
	49.7	77.66	6.30	0.01	21.90	22.78	17.66	12.53
53.7	83.91	-2.70	0.00	24.40	19.31	16.27	13.23	
X=20cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	57.40	0.00	30.80	13.38	10.23	7.07
	5.7	8.91	41.10	0.00	34.90	14.49	11.31	8.12
	9.7	15.16	36.10	0.02	42.40	15.62	11.72	7.81
	13.7	21.41	25.60	-0.01	48.40	17.69	12.35	7.00
	17.7	27.66	11.50	0.02	52.70	31.22	19.97	8.72
	21.7	33.91	0.41	0.03	55.90	23.79	16.45	9.11
	25.7	40.16	-3.10	0.00	57.30	25.16	17.40	9.64
	29.7	46.41	-6.50	0.03	54.70	31.13	20.97	10.82
	33.7	52.66	-1.90	0.03	74.80	13.15	13.32	13.49
	37.7	58.91	-3.30	0.02	69.90	11.49	14.60	17.72
	41.7	65.16	-2.40	0.03	72.90	12.81	14.18	15.56
	45.7	71.41	-0.80	0.00	69.20	11.92	14.56	17.20
	49.7	77.66	4.10	0.03	64.10	11.87	13.97	16.06
53.7	83.91	5.60	0.03	52.10	23.17	18.48	13.78	

**Tabla A.18: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=64cm
(continuación).**

X=30cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	50.30	0.01	24.20	11.79	8.54	5.29
	5.7	8.91	37.30	0.01	35.30	14.14	11.22	8.31
	9.7	15.16	29.20	0.00	43.40	14.42	10.78	7.14
	13.7	21.41	21.20	0.02	50.80	15.94	12.79	9.64
	17.7	27.66	7.50	0.03	58.80	16.28	14.77	13.27
	21.7	33.91	6.30	0.00	51.60	19.16	18.42	17.69
	25.7	40.16	10.40	0.04	71.00	14.25	13.21	12.17
	29.7	46.41	5.50	0.00	69.60	13.96	15.98	18.00
	33.7	52.66	3.40	0.01	65.80	14.18	18.13	22.09
	37.7	58.91	8.90	0.02	66.40	11.49	16.06	20.64
	41.7	65.16	7.60	0.03	62.40	10.82	15.54	20.27
	45.7	71.41	12.30	0.00	56.80	9.95	14.42	18.89
	49.7	77.66	18.80	0.04	45.60	9.59	13.51	17.44
53.7	83.91	22.30	0.00	32.50	19.44	17.71	15.97	
X=40cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	14.67	0.00	4.60	24.27	15.05	5.83
	5.7	8.91	19.70	0.01	17.30	24.02	17.95	11.87
	9.7	15.16	16.10	0.03	24.80	21.56	18.10	14.63
	13.7	21.41	11.30	0.02	30.00	21.12	18.62	16.12
	17.7	27.66	5.90	0.01	34.30	18.36	17.52	16.67
	21.7	33.91	0.65	0.01	36.60	22.11	20.26	18.41
	25.7	40.16	-8.50	0.02	39.40	30.43	24.38	18.33
	29.7	46.41	7.70	0.01	49.90	18.30	20.53	22.76
	33.7	52.66	2.90	0.02	44.70	19.57	22.58	25.59
	37.7	58.91	3.80	0.01	47.00	18.63	21.97	25.32
	41.7	65.16	5.30	0.03	47.70	17.38	21.23	25.08
	45.7	71.41	10.10	0.02	48.20	17.09	21.60	26.12
	49.7	77.66	16.40	0.01	44.40	15.00	19.09	23.17
53.7	83.91	25.90	0.01	38.70	27.89	18.16	8.43	

Tabla A.18: Datos de calados, velocidades medias y turbulentas filtradas para Q=49 l/s Y=64cm (continuación).

X=50cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	2.50	0.00	1.50	21.93	13.31	4.69
	5.7	8.91	7.50	0.01	7.20	23.09	15.70	8.31
	9.7	15.16	4.70	0.03	13.90	22.23	16.79	11.36
	13.7	21.41	7.30	0.02	17.40	20.93	17.19	13.45
	17.7	27.66	0.70	0.01	19.90	18.71	17.65	16.58
	21.7	33.91	-2.80	0.01	20.40	20.27	18.17	16.06
	25.7	40.16	-4.40	0.02	22.80	16.91	16.99	17.06
	29.7	46.41	-6.20	0.01	23.40	19.21	18.74	18.28
	33.7	52.66	-8.90	0.02	20.90	21.14	19.60	18.06
	37.7	58.91	-9.80	0.02	21.70	25.75	21.79	17.83
	41.7	65.16	-6.40	0.01	26.60	24.47	21.66	18.84
	45.7	71.41	-2.20	0.01	24.00	22.72	19.97	17.23
	49.7	77.66	9.60	0.02	27.20	22.14	19.27	16.40
53.7	83.91	28.50	0.01	23.80	27.89	18.16	8.43	
X=60cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	-6.80	0.00	0.40	12.12	7.64	3.16
	5.7	8.91	-3.40	0.01	3.20	16.34	11.09	5.83
	9.7	15.16	-3.10	0.03	6.30	18.17	12.89	7.62
	13.7	21.41	-2.00	0.02	9.20	16.55	12.99	9.43
	17.7	27.66	-5.60	0.01	10.20	14.49	12.51	10.54
	21.7	33.91	-2.90	0.01	13.00	14.73	13.20	11.66
	25.7	40.16	-2.80	0.02	13.20	16.67	15.04	13.42
	29.7	46.41	-6.30	0.01	12.30	15.03	14.62	14.21
	33.7	52.66	-8.80	0.03	10.70	14.00	13.60	13.19
	37.7	58.91	-9.10	0.02	10.60	12.41	12.74	13.08
	41.7	65.16	-7.20	0.01	15.90	14.53	15.60	16.67
	45.7	71.41	-5.30	0.01	14.60	13.86	16.00	18.14
	49.7	77.66	1.10	0.02	14.80	14.32	16.42	18.52
53.7	83.91	12.50	0.01	18.30	13.04	12.62	12.21	
X=70cm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.7	2.66	-9.20	0.00	1.00	10.00	6.80	3.61
	5.7	8.91	-7.70	0.01	3.10	10.77	7.93	5.10
	9.7	15.16	-5.60	0.03	5.40	13.89	10.11	6.32
	13.7	21.41	-6.70	0.02	6.10	10.34	9.30	8.25
	17.7	27.66	-8.20	0.01	6.80	11.45	9.91	8.37
	21.7	33.91	-9.70	0.01	6.40	11.05	9.65	8.25
	25.7	40.16	-10.10	0.02	7.90	11.27	10.83	10.39
	29.7	46.41	-11.00	0.00	7.50	10.30	9.36	8.43
	33.7	52.66	-11.50	0.00	7.10	10.54	9.77	9.00

ANEXO FOTOGRAFÍCO

- **Caudal 15.57 l/s**

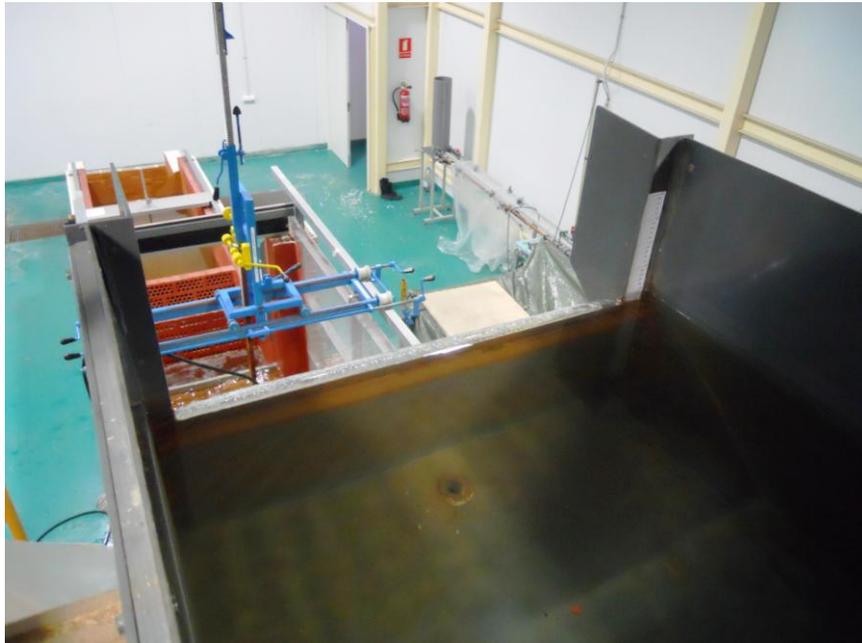


Figura 149: Detalle aguas arriba del aliviadero.



Figura 150: Izquierda, detalle aguas abajo del aliviadero; derecha, detalle del perfil del chorro.



Figura 151: Colchón $Y=12\text{cm}$.

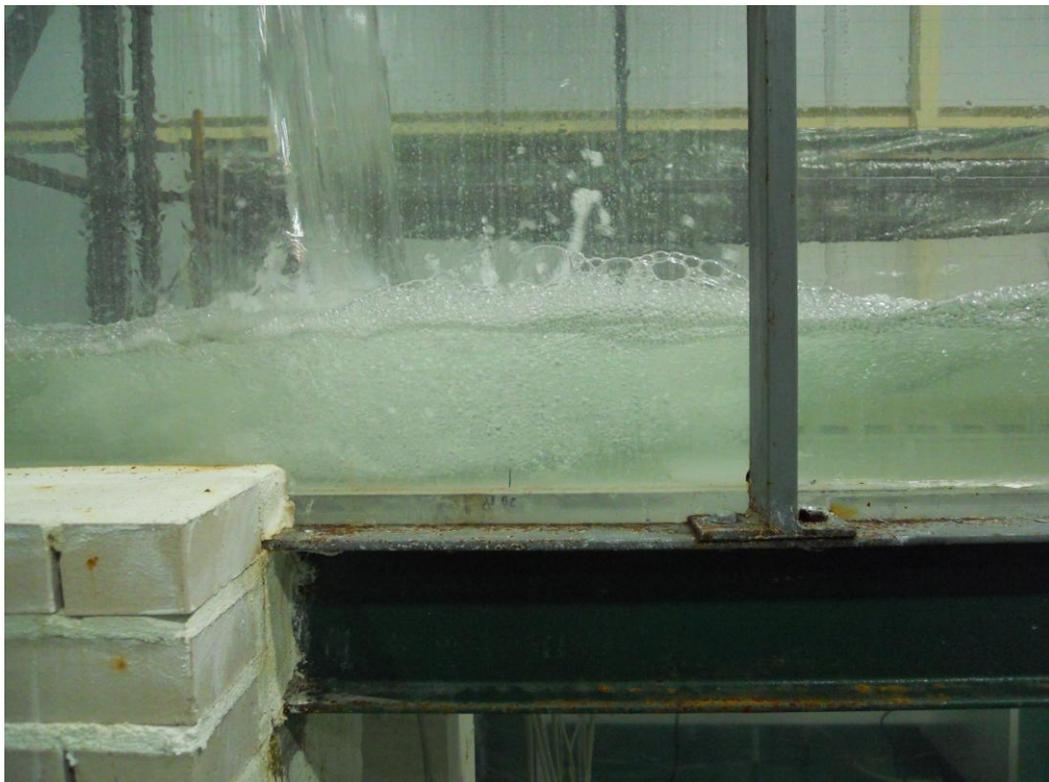


Figura 152: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 153: Colchón $Y=20$ cm.

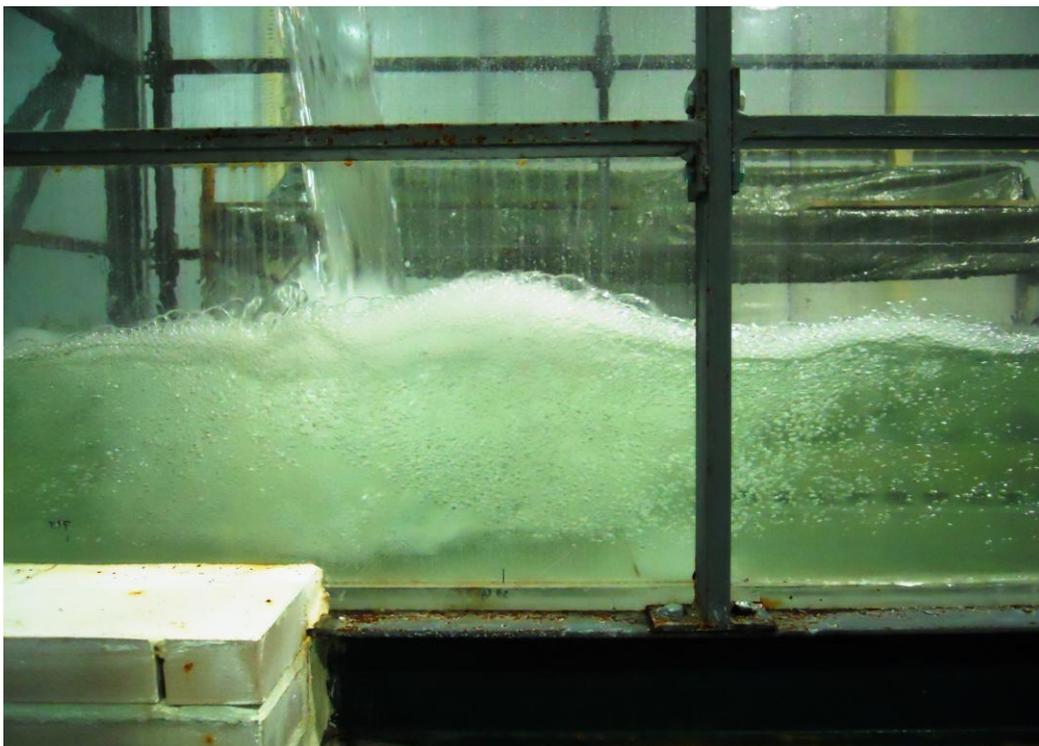


Figura 154: Detalle del resalto hidráulico.

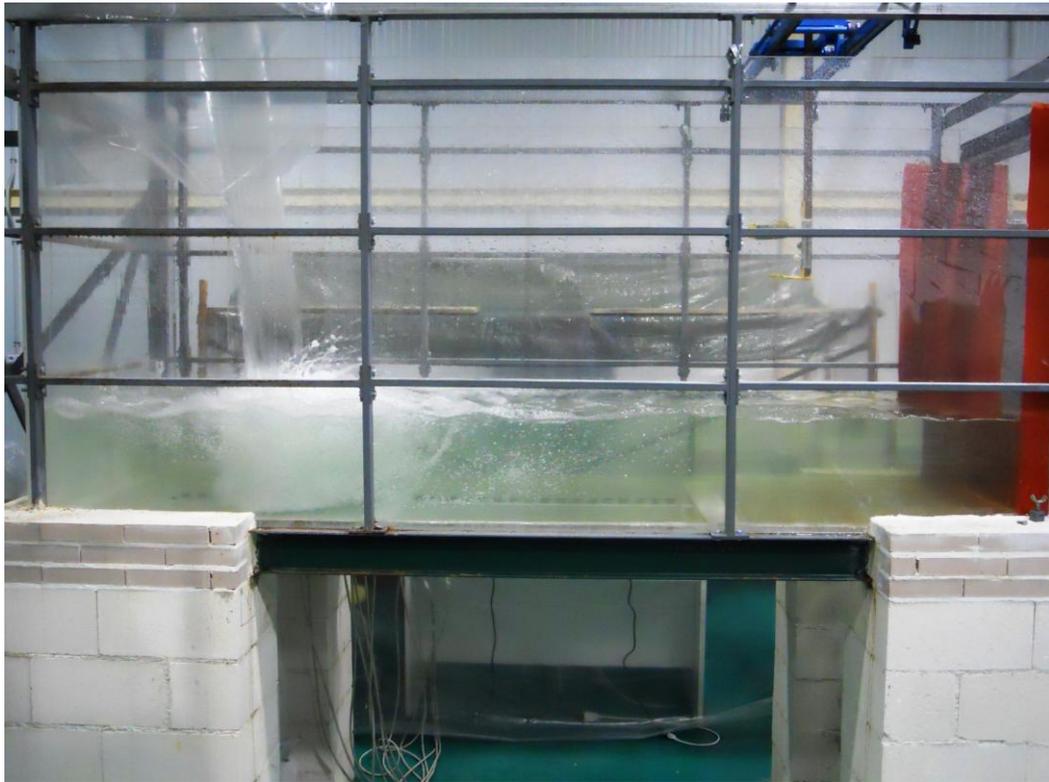


Figura 155: Colchón Y=29.

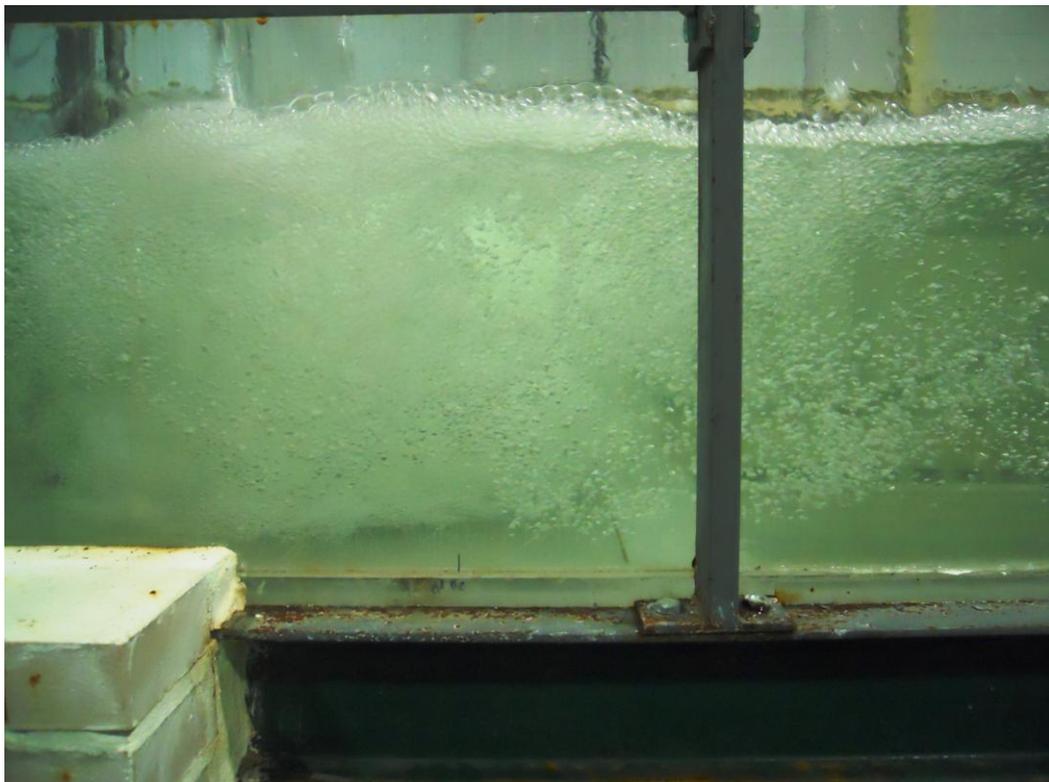


Figura 156: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 157: Colchón $Y=38$ cm.



Figura 158: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 159: Colchón $Y=46$ cm.

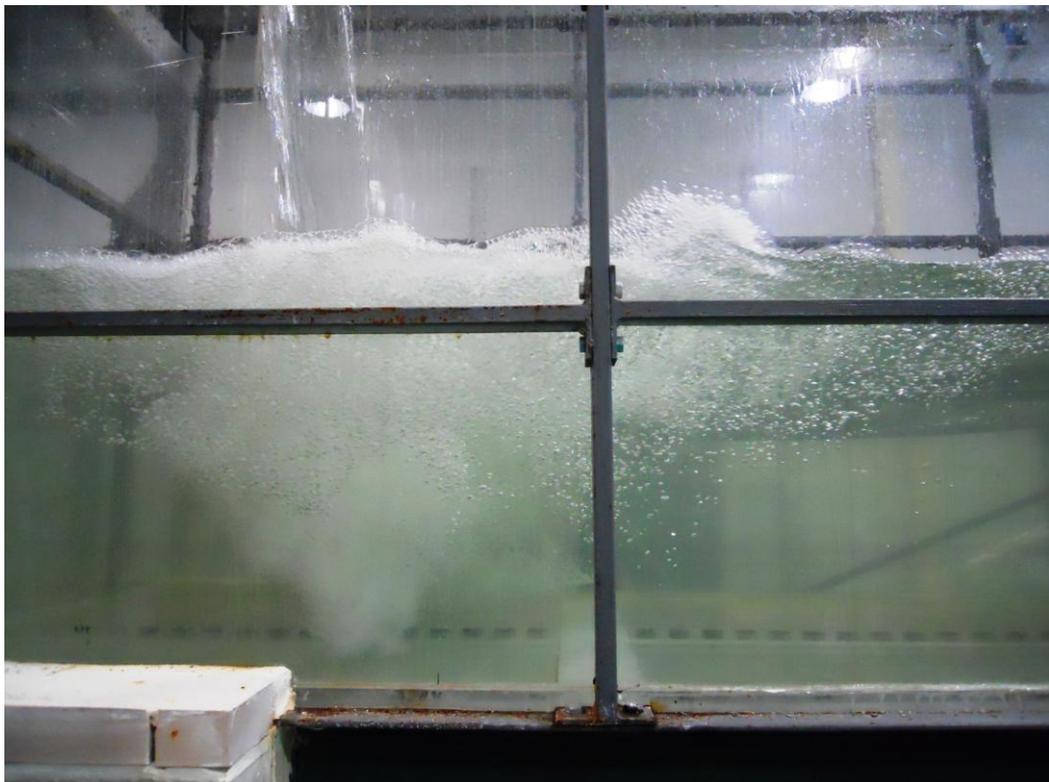


Figura 160: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 161: Colchón $Y=54$ cm.

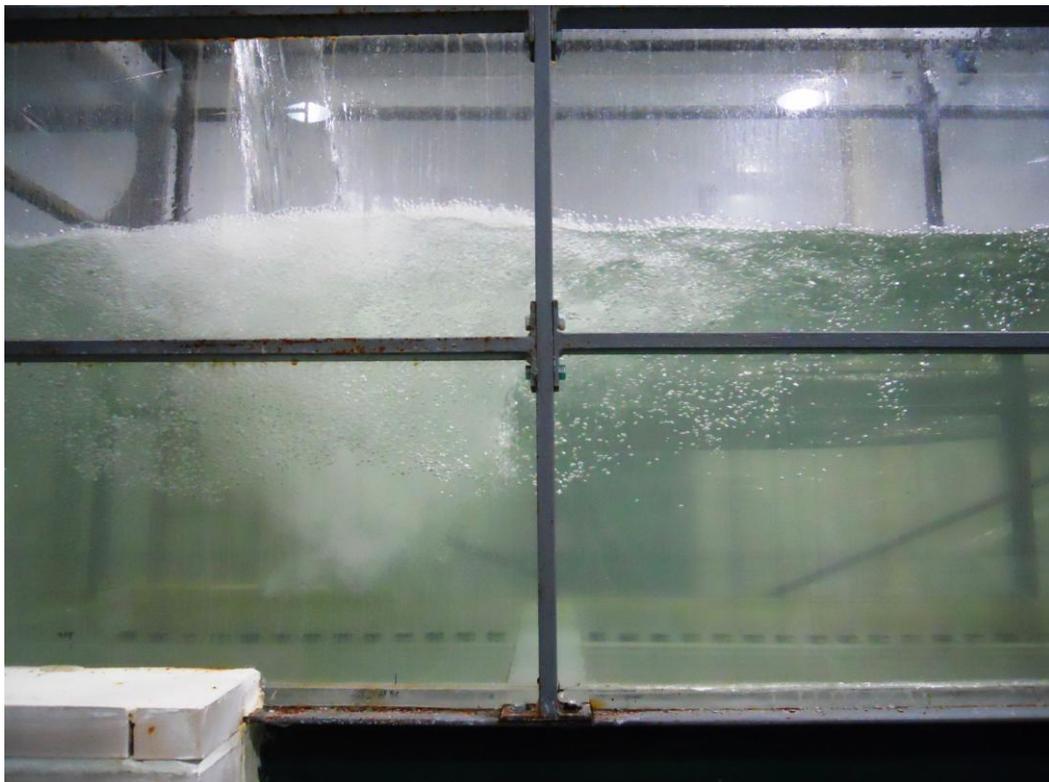


Figura 162: Detalle del resalto hidráulico.

- **Caudal 24.45 l/s**

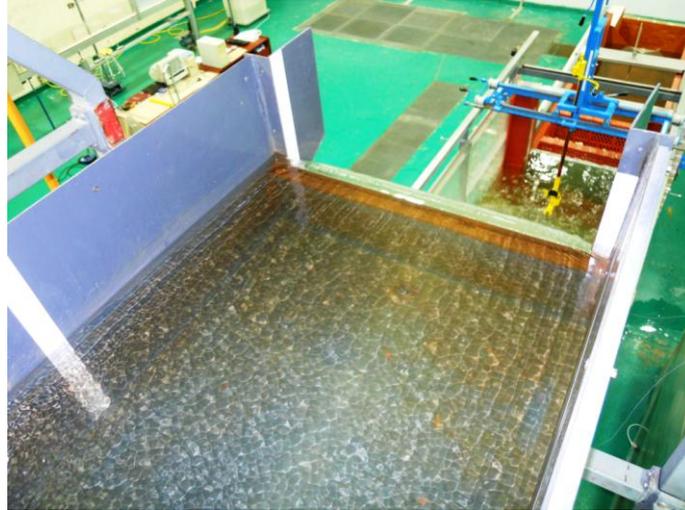


Figura 151: Detalle aguas arriba del aliviadero.



Figura 152: Izquierda, detalle aguas abajo del aliviadero; derecha, detalle del perfil del chorro.



Figura 15365: Colchón $Y=13\text{cm}$.

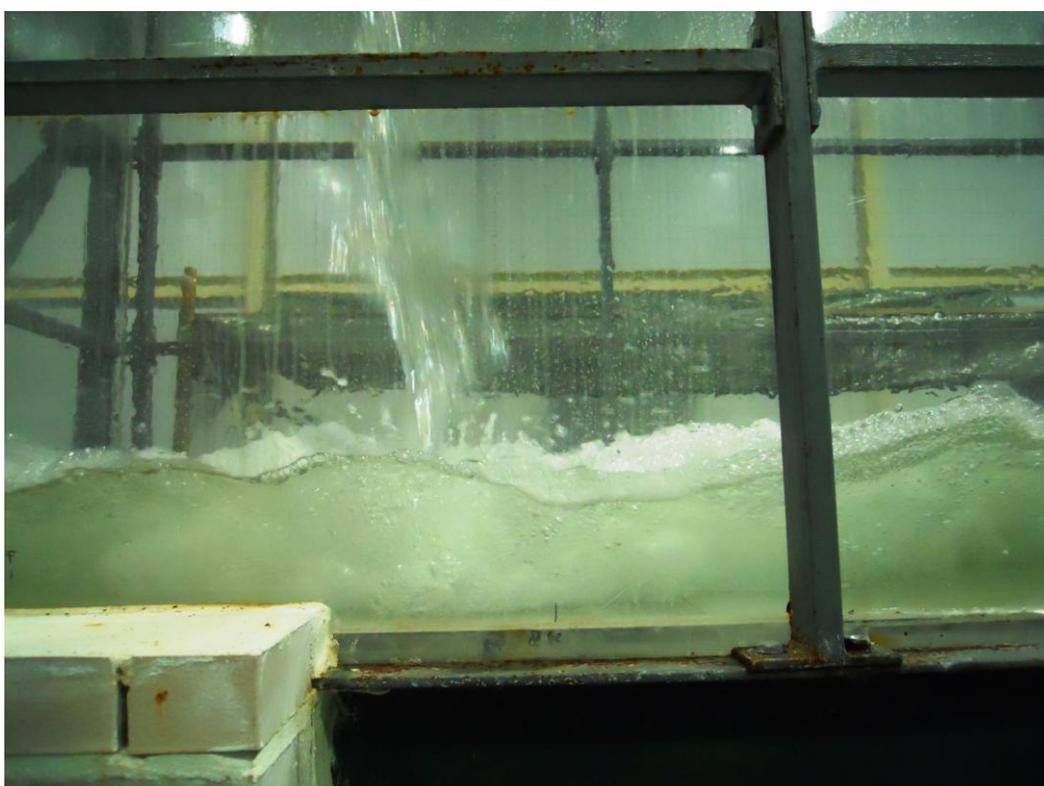


Figura 154: Detalle del resalto hidráulico.

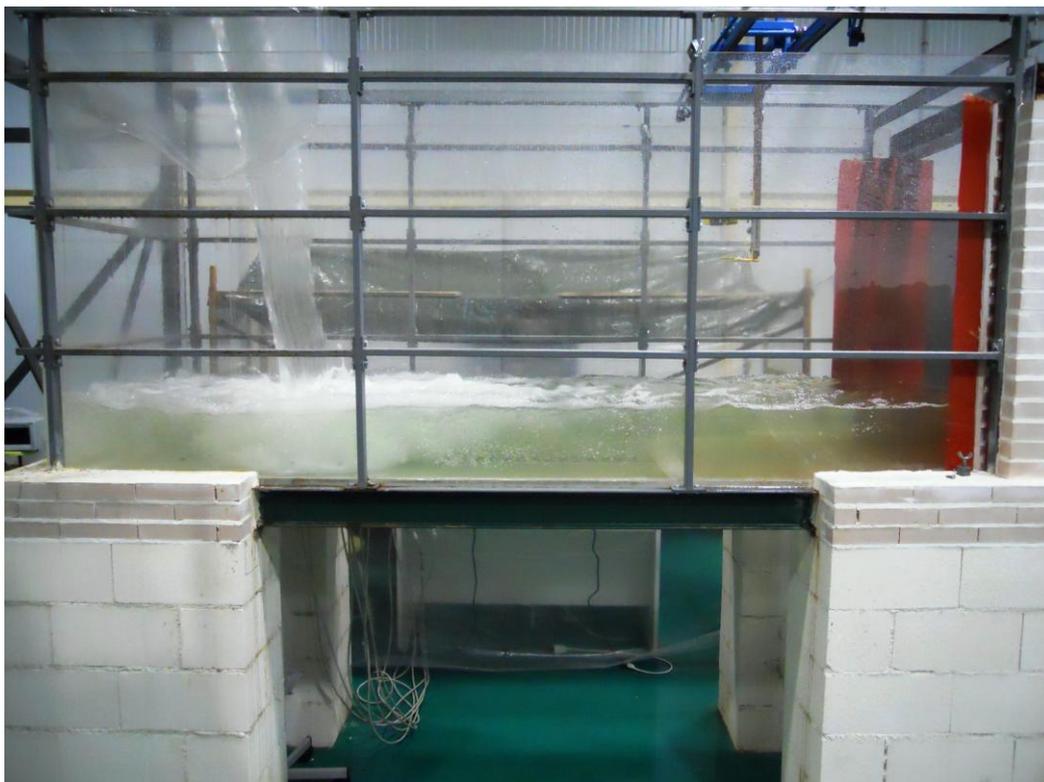


Figura 155: Colchón $Y=21\text{cm}$.

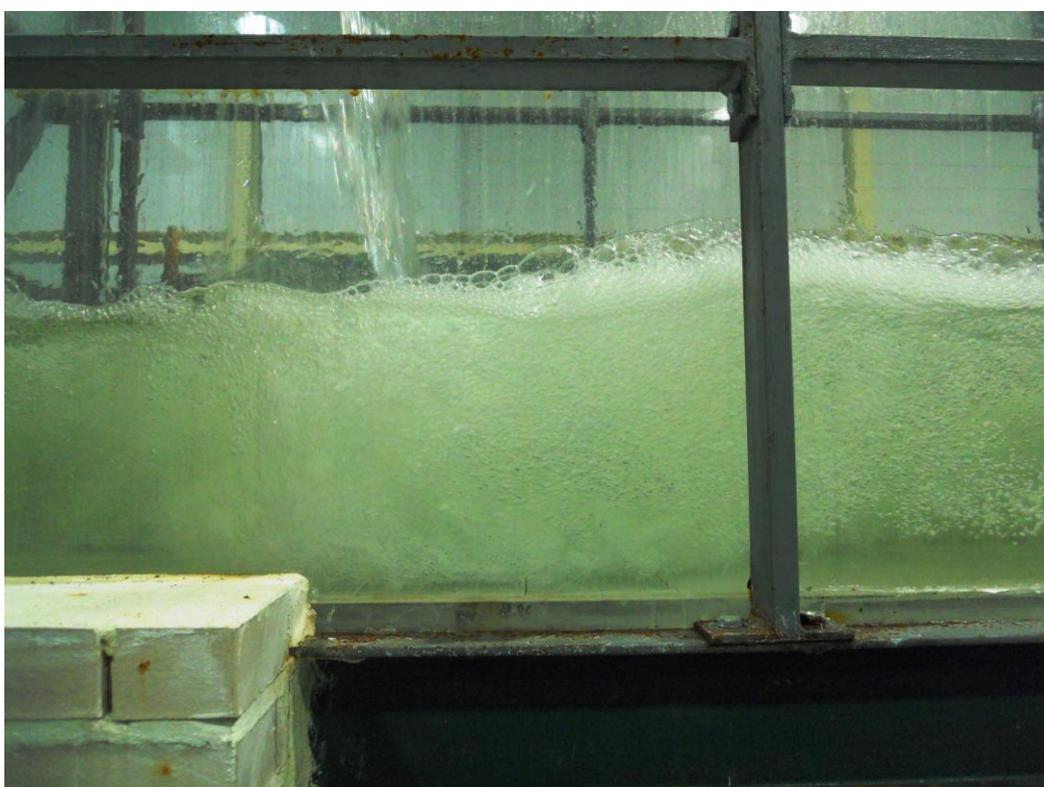


Figura 168: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 169: Colchón $Y=31\text{cm}$.

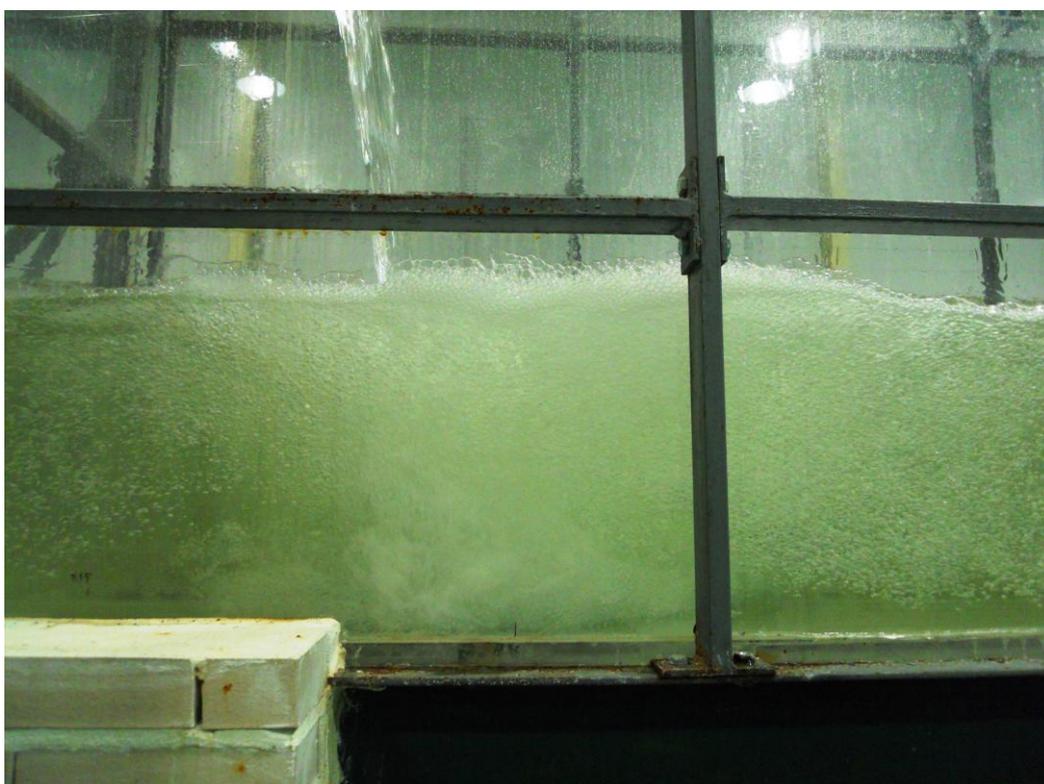


Figura 170: Detalle del resalto hidráulico



Figura 171: Colchón $Y=40\text{cm}$.

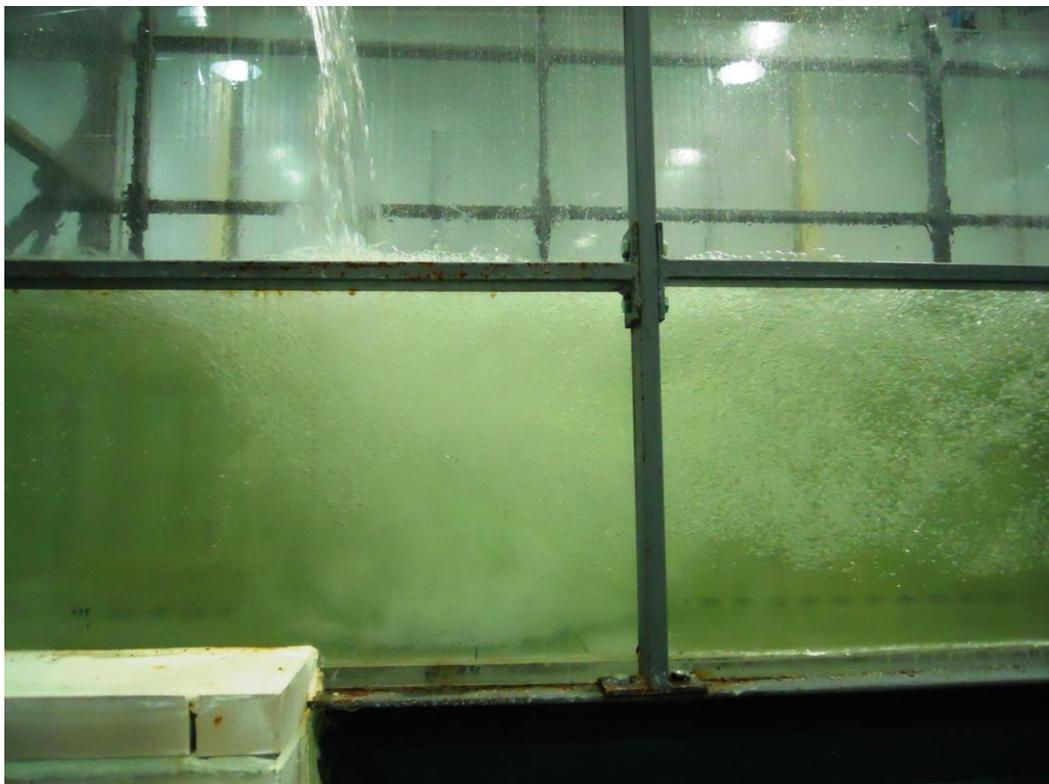


Figura 172: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 173: Colchón $Y=48\text{cm}$.

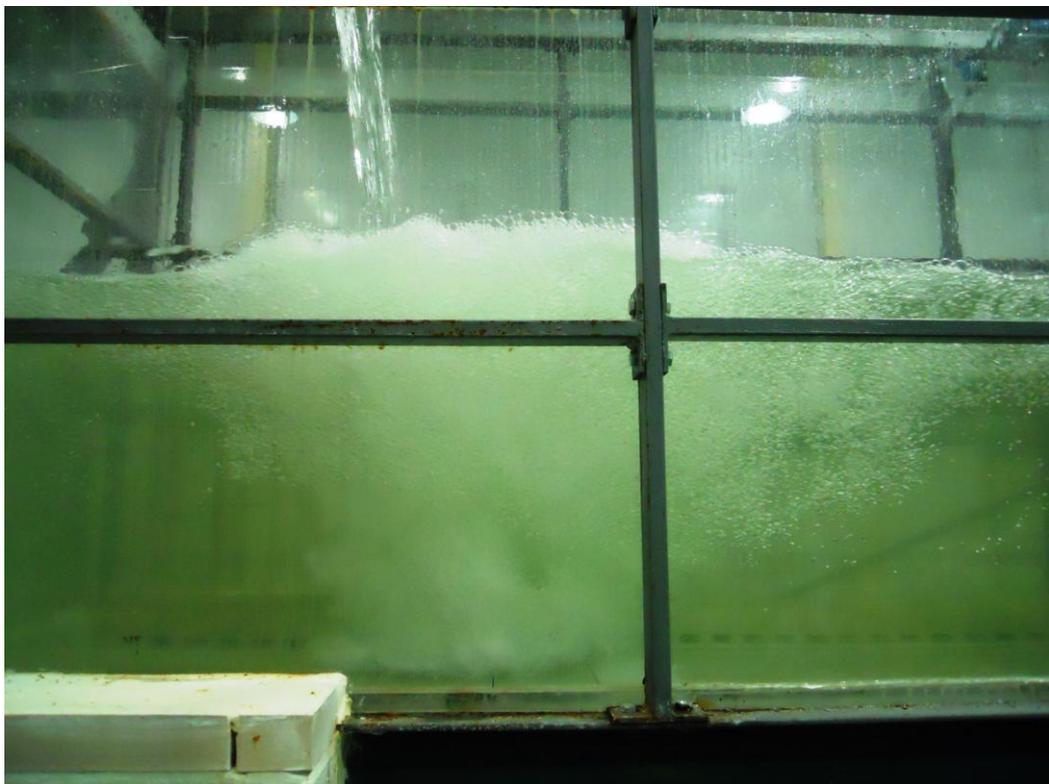


Figura 174: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 175: Colchón Y=54cm.



Figura 176: Detalle del resalto hidráulico.

- **Caudal 49 l/s**



Figura 177: Detalle aguas arriba del aliviadero.



Figura 178: Izquierda, detalle aguas abajo del aliviadero; derecha, detalle del perfil del chorro.



Figura 179: Colchón $Y=16\text{cm}$.

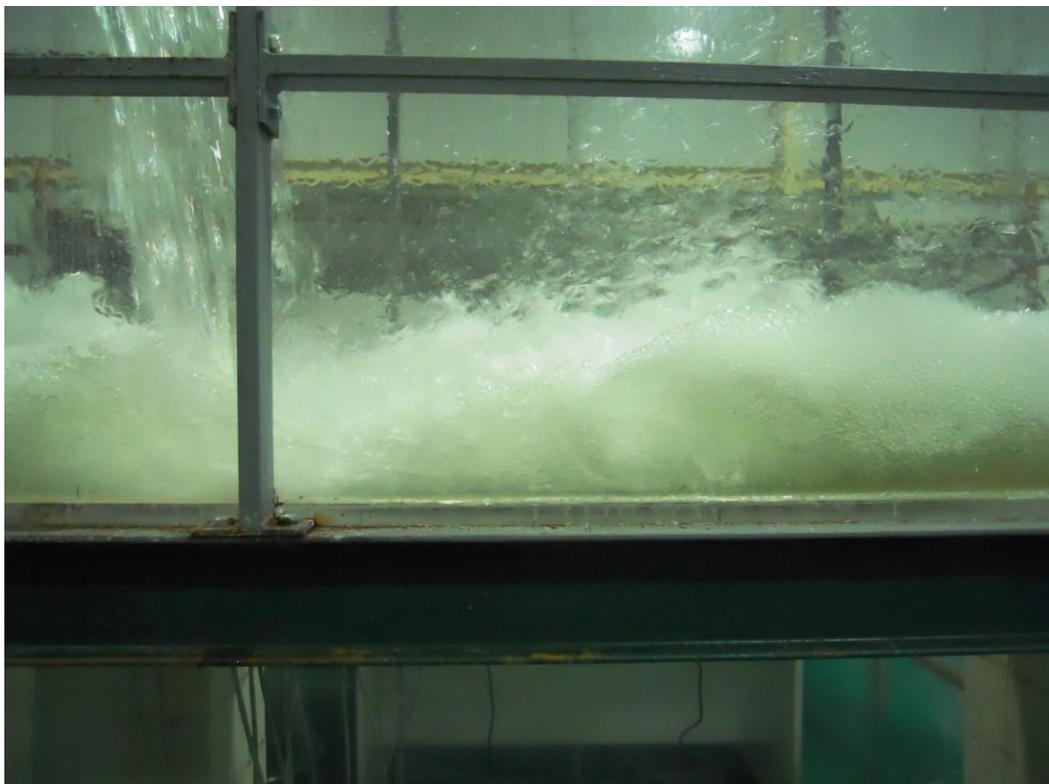


Figura 180: Detalle del resalto hidráulico.

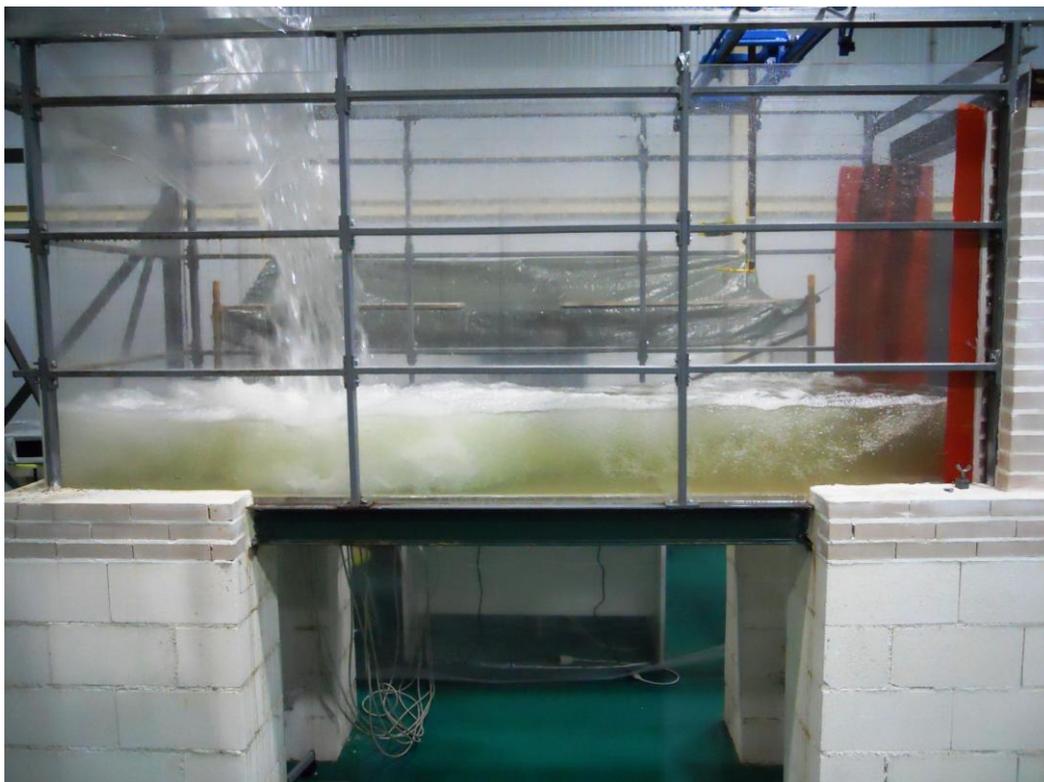


Figura 181: Colchón $Y=24\text{cm}$.



Figura 182: Detalle del resalto hidráulico.

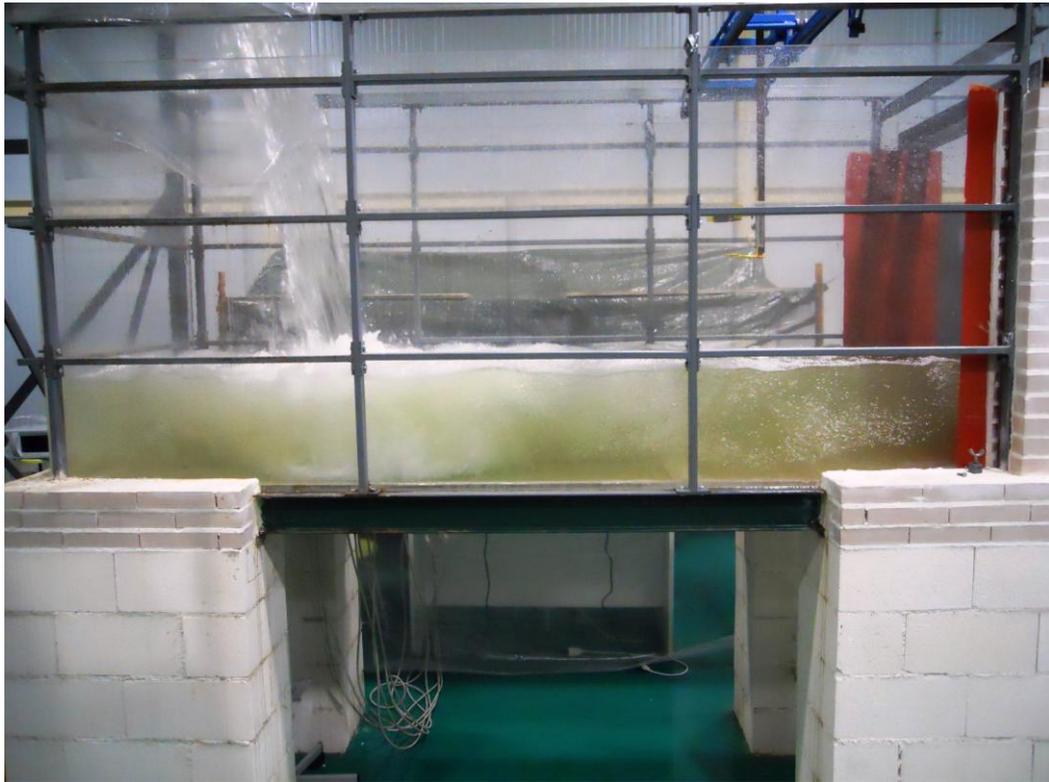


Figura 183: Colchón Y=35.

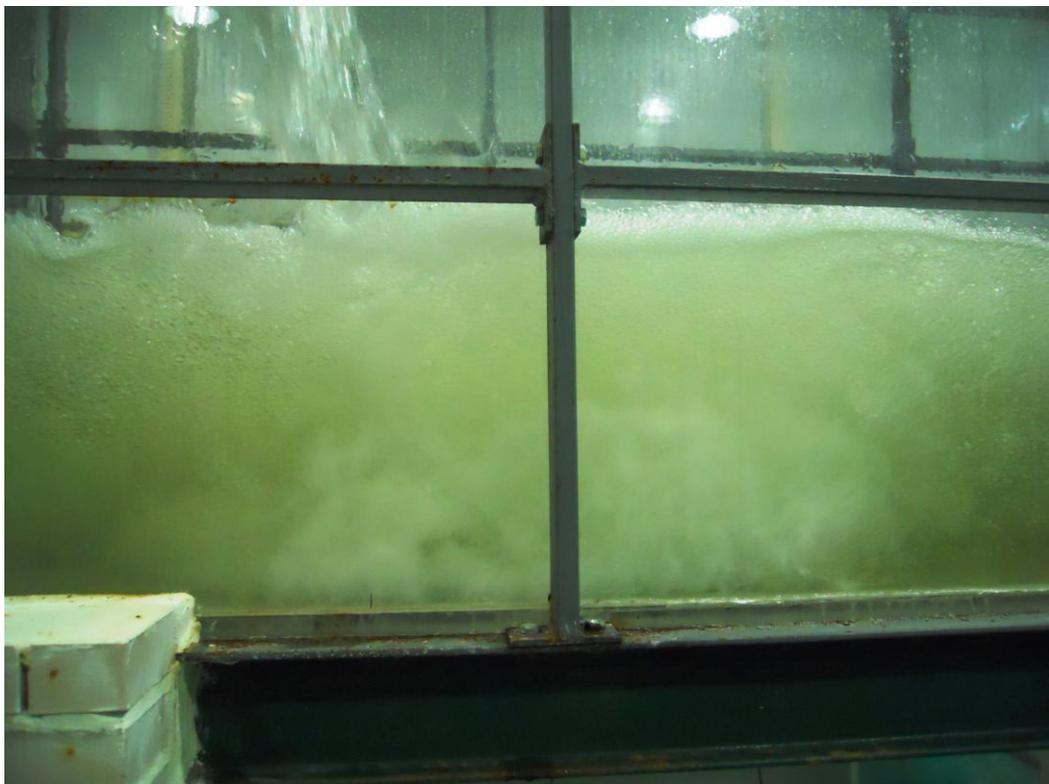


Figura 184: Detalle del resalto hidráulico.

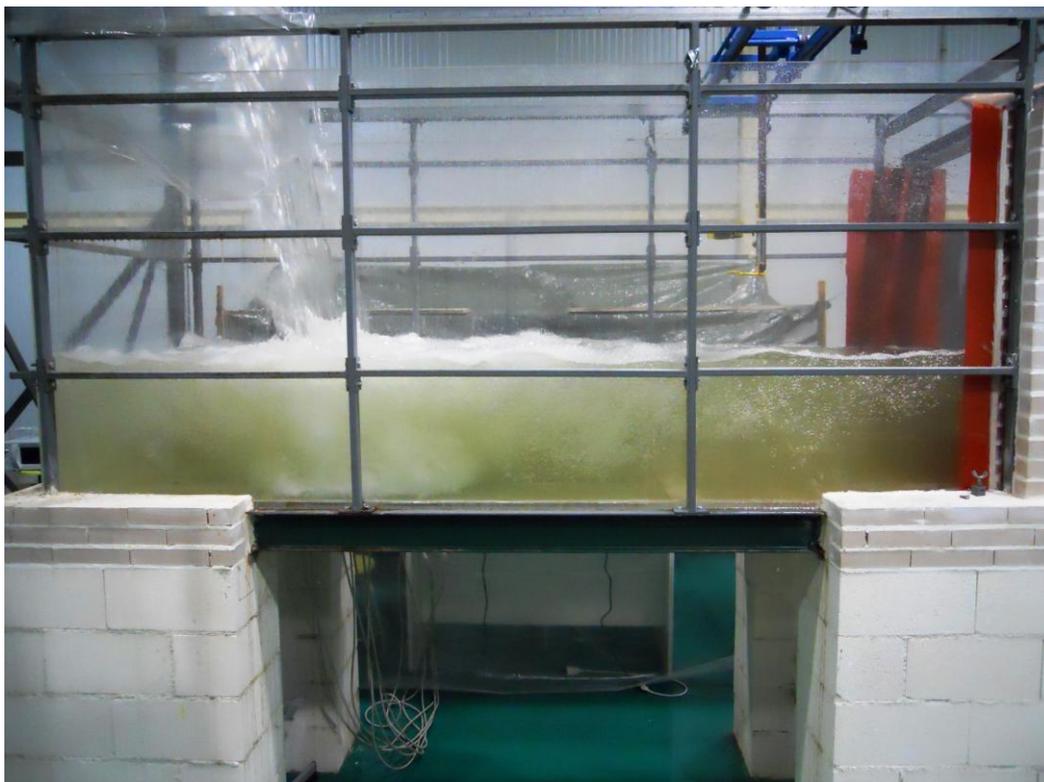


Figura 185: Colchón $Y=40\text{cm}$.

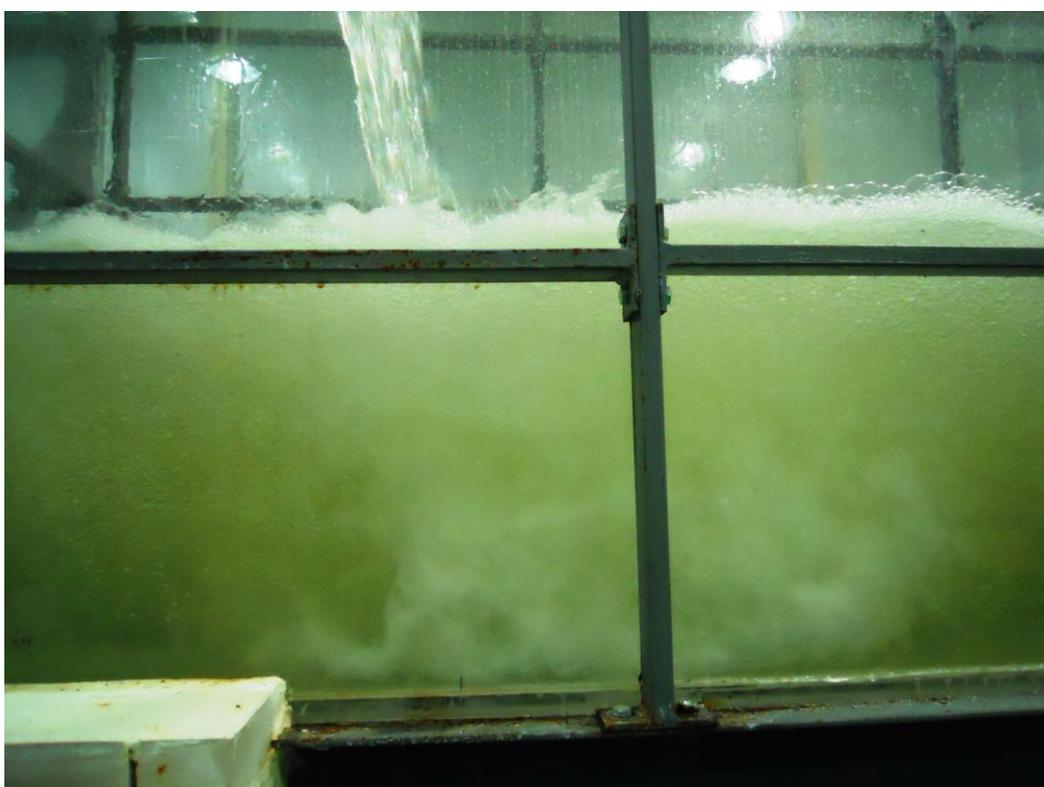


Figura 186: Detalle del resalto hidráulico.



Figura 187: Colchón $Y=53\text{cm}$.

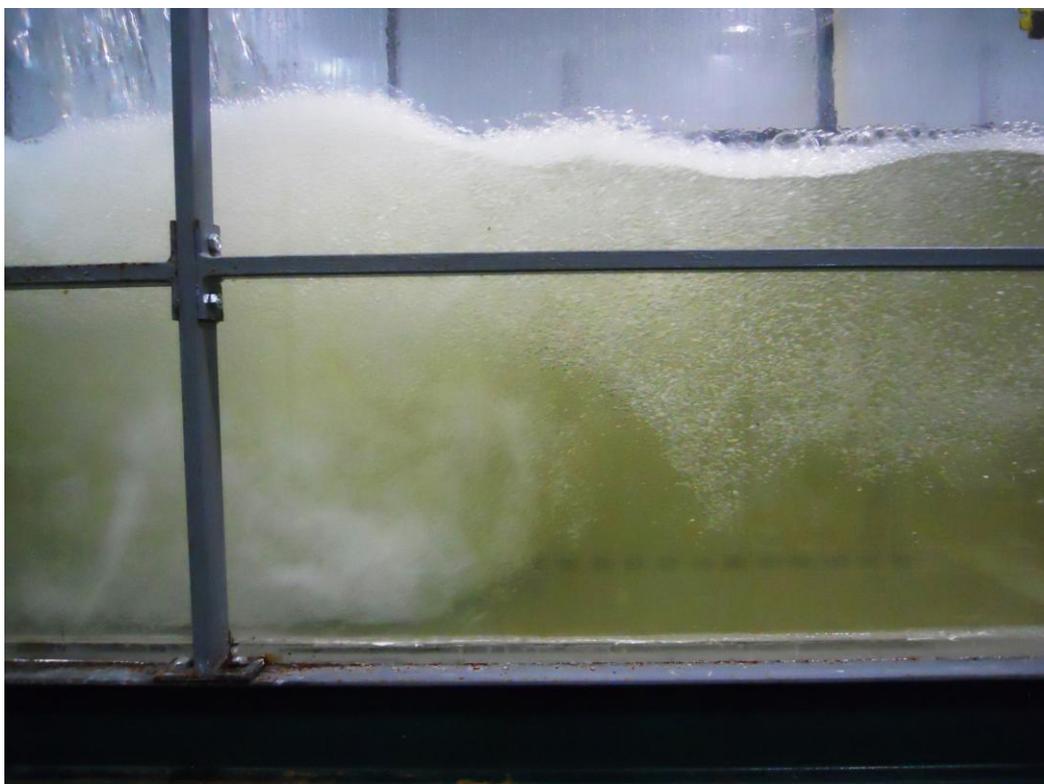


Figura 188: Detalle del resalto hidráulico.

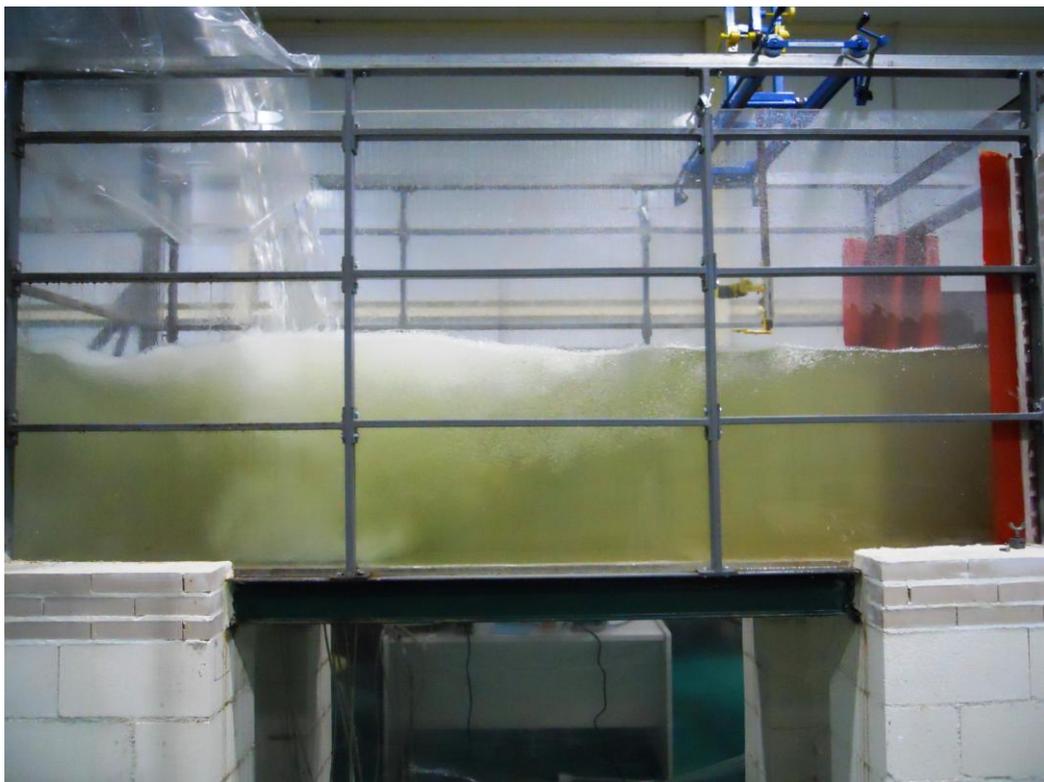


Figura 189: Colchón $Y=64\text{cm}$.

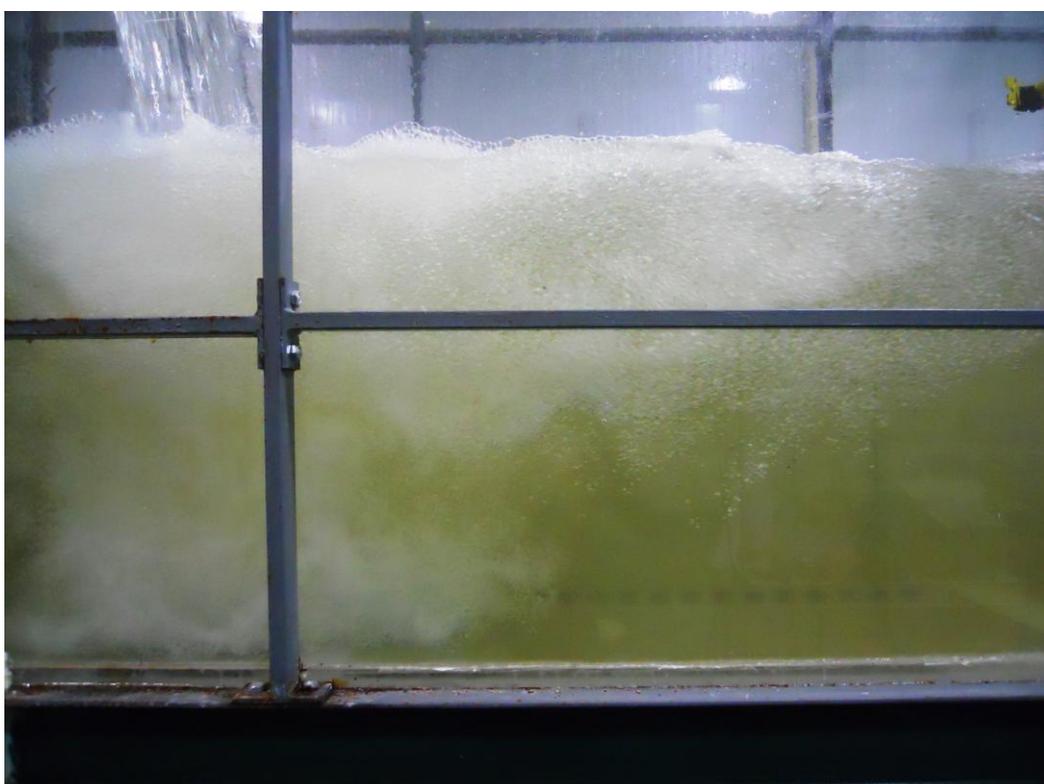


Figura 190: Detalle del resalto hidráulico.