

Capítulo 3. Calibración de los sensores. Ensayos previos

1. Introducción

En este capítulo se presenta la campaña de calibración de los sensores y los ensayos previos realizados con anterioridad a las experiencias definitivas. La calibración de los sensores aparece como una necesidad de comprobación del correcto funcionamiento de los transductores que se utilizarán durante la campaña de laboratorio. Los sensores de presión adquiridos para llevar a cabo esta investigación, son aparatos de medida muy sensibles a efectos externos como la temperatura, o la propia presión atmosférica, por ello es importante conocer con detalle su funcionamiento durante cada registro. Por ello se llevará a cabo una calibración antes de cada ensayo.

La respuesta de estos sensores en el dominio del tiempo se verificará mediante una calibración estática, en la que se revisará tanto su esperado comportamiento lineal, como una posible deriva del cero. A continuación se procederá a analizar su respuesta dinámica. Puertas (1994) analizó detalladamente este aspecto. Así, teniendo en consideración sus conclusiones acerca de la buena respuesta de este tipo de transductores, se procederá a contrastar la capacidad de los sensores a registrar rápidas variaciones de presión sin mostrar inercia en dichas medidas y a comparar la potencia de la señal que se captará durante la adquisición de las presiones con el ruido que, de manera inherente, registrarán a lo largo de su operación.

Una vez se haya comprobado el adecuado funcionamiento de los transductores de presión, tanto estática como dinámicamente, se procederá a analizar dos aspectos importantes del trabajo: la verificación del sistema de la conexión de los sensores a los peldaños de la estructura y la bidimensionalidad del flujo.

2. Calibración estática de los transductores

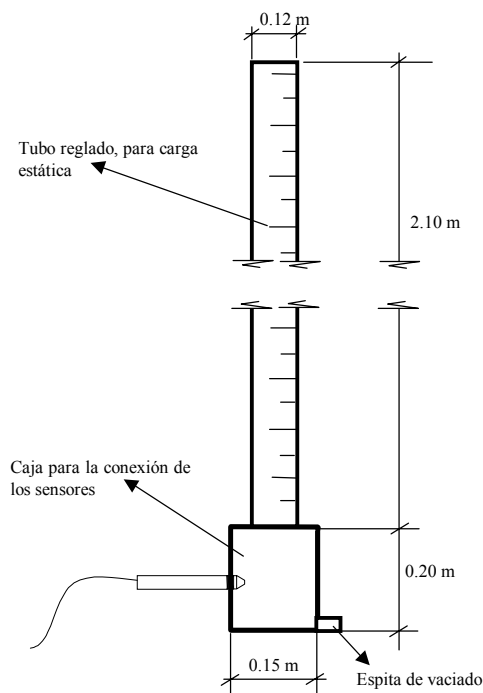


Figura 3.1. Estructura diseñada para la calibración de los sensores.

Para verificar que los errores cometidos por los sensores son del orden indicado por el fabricante (desviación máxima respecto el comportamiento lineal del 0.1% del fondo de escala, esto es 3.5 mm), se lleva a cabo una calibración estática. Ésta se realizará mediante una estructura construida a tal efecto, que sigue la idea planteada por Puertas (1994) en su investigación.

La estructura de calibración, que puede observarse en la Figura 3.1, consiste en un tubo de PVC opaco de 2.10 m de altura y 0.120 m de diámetro, soldado en la cara superior a una caja de metacrilato transparente, en la cual se enrosca los sensores. Esta caja dispone de una pequeña válvula en la zona inferior para permitir su vaciado. Junto al tubo de PVC, paralelo a éste, y también conectado a la caja, se ha dispuesto

otro tubo de metacrilato transparente para conocer la altura a la que se encuentra el agua en el tubo. Así el agua se introduce en el sistema a voluntad mediante una manguera, obteniéndose de esta manera qué valores registran los sensores para cada altura de agua que se disponga en el sistema.

Eran conocidos a priori los problemas que podían presentar estos transductores por deriva del cero (medidas cercanas al cero que registran valores alejados de la realidad, Puertas (1994)) por causa de la diferencia de la temperatura ambiente y la temperatura del agua. Por este motivo, antes de cada sesión de ensayo se dejaban los sensores conectados a la estructura de calibración y al sistema de adquisición, durante un tiempo prudente para asegurar su adaptación a la temperatura del agua.

Para el proceso de calibración estática se empezó registrando el cero (columna vacía), y se procedió a llenarla con escalones de 0.2 m.c.a. hasta una altura de 1.80 m.c.a., a continuación se procedió a tomar escalones, en descarga hasta llegar de nuevo al cero.

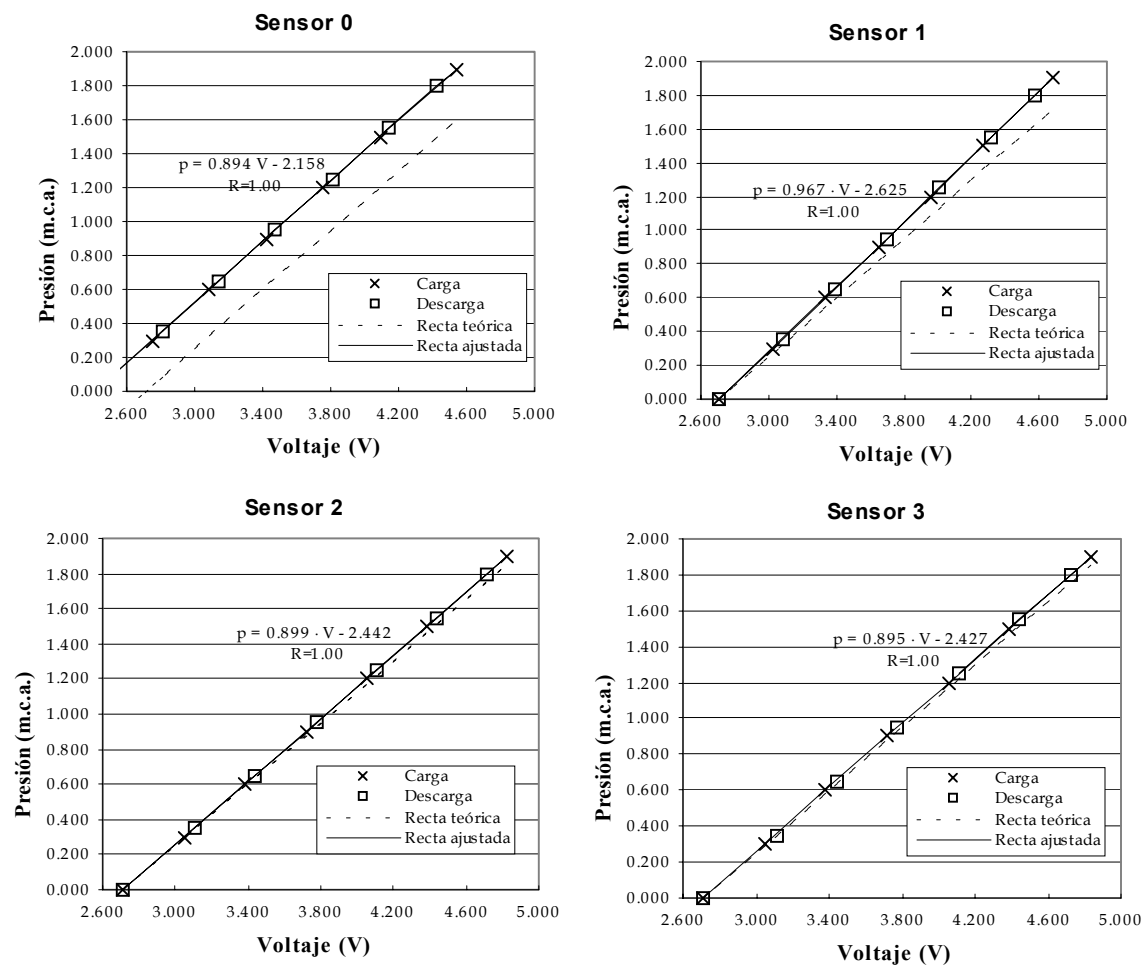


Figura 3.2. Calibración estática de los sensores. Rectas de transformación voltaje a presión.

En la Figura 3.2 se presentan los resultados obtenidos en la calibración expuesta. En éstas puede observarse como todos los sensores, presentan una cierta desviación respecto la recta dada por el fabricante. Este fenómeno no es excesivamente importante, lo realmente trascendental es que la proporción entre una variación en la sollicitación y la variación que ésta produzca en su medida, sea constante, como así se observa en todos y cada uno de los transductores.

Así, antes de cada sesión de ensayos, se considera necesario la toma de unos pocos puntos de dichas rectas de calibración (cinco o seis) para verificar su comportamiento lineal y obtener la ecuación de dichas rectas que permitirá transformar las medidas en voltaje a presión.

3. Respuesta dinámica

Los registros de presión que se obtendrán durante la campaña experimental muestran una elevada componente de variabilidad en el tiempo (fluctuación). Por ello, el análisis numérico en el que se basará el tratamiento de estos registros debe desarrollarse recurriendo a un estudio tanto en el dominio del tiempo (análisis estadístico) como en el de la frecuencia (análisis espectral), de manera que uno complemente al otro. De esta manera, mientras que el análisis en el dominio del tiempo debe permitir determinar la existencia de tendencias o de algún patrón de comportamiento de la variable estudiada, el examen de los resultados en el dominio de la frecuencia permitirá entender el origen de la fluctuación, esto es, si se trata básicamente de ruido, en el que no existen frecuencias dominantes en todo el espectro analizado, o si por el contrario, la fluctuación se encuentra dentro de algún rango de frecuencias principal.

También será importante garantizar que la respuesta de los sensores se adapta bien a variaciones instantáneas de presión, sin presentar inercia en su respuesta, es decir que la presión captada en un determinado instante no condicionará la presión que sea captada en el instante inmediatamente posterior. Así, y a pesar de que el fabricante de los transductores de presión aseguraba la adecuada respuesta dinámica de los mismos, se han llevado a cabo a una serie de ensayos para intentar confirmarlo. Las pruebas desarrolladas consistieron en el registro de un suceso de paso de una situación estática a otra, mediante un salto brusco.

Igualmente, y asumiendo que cualquier ensayo tendrá asociado un ruido que será imposible evitar, se mostrará que los registros de presión que se llevan a cabo muestran una energía de orden superior a la del citado ruido.

3.1. Ensayo de impacto sobre la superficie libre de una columna de agua

Se intentó con esta experiencia generar un proceso transitorio muy brusco que provocara un aumento casi instantáneo de presión. Una señal consistente en una base de presión constante con un único pulso mayor a dicho valor (tipo delta de Dirac) tiene como respuesta (trasformada de Fourier) otra señal constante en frecuencias (todas las frecuencias tienen asignada la misma potencia de señal). Esta respuesta daría la confianza de que los sensores muestran una respuesta adecuada en todo el rango de frecuencias. Puertas (1994) consiguió un impulso unitario de este tipo, por el sencillo método de dar un golpe con la yema del dedo sobre la membrana sensible del sensor, de la manera más rápida posible. Si, como él mismo cita, no le fue fácil conseguirlo, en el presente caso iba a ser especialmente complicado debido a la protección de la membrana sensible con una corona circular roscada en su exterior (Capítulo 2 apartado 4.1.) y a la mayor sensibilidad de estos sensores, a los cuales, un golpe excesivo podía provocar su rotura. Así pues intentó desarrollarse una experiencia equivalente, con el diseño de un método que condujera a conclusiones equiparables.

La idea que se intentó desarrollar fue la de lanzar, desde una cierta altura, sobre la superficie libre del agua en el interior de la columna de calibración (ver apartado anterior) una pieza paralelepípedica de madera de 170.08 gramos. Previamente se estudió el volumen de agua que desplazaría dicho elemento flotante para poder predecir qué incremento de nivel de agua provocaría en el interior de la columna de calibración (1.5 cm). Así pues, una experiencia como está provocará, a la situación estática inicial, un aumento súbito de presión, que enlazará con una nueva situación estática con 1.5 cm.c.a más de presión que la inicial.

De esta manera, se procedió a conectar los sensores a la estructura de calibración. Esta se cargó con una columna de agua de 0.652 m de altura. Acto seguido, alrededor de los 7 segundos de iniciado el ensayo, se dejó caer, desde aproximadamente 0.65 m sobre la superficie libre la pieza de madera. El registro termina captando unos 15 segundos de la situación con la sobreelevación de agua en el interior de la columna (0.667 mca). En la Figura 3.3 se muestra la evolución en el tiempo del ensayo.

Puede observarse que todos los sensores siguieron el incremento súbito de presión, prácticamente de idéntica manera. Las pequeñas diferencias que puedan observarse en el seguimiento del pico de presión por parte de los cuatro transductores, raramente son mayores a 3.5 mm, que corresponde al error de un sensor dado por el fabricante. La única zona en la se supera ese margen de error es justo el instante del impacto. Estas diferencias pueden ser debidas a la no-simultaneidad de registro de los cuatro sensores por parte del sistema de medida (ver Capítulo 2, apartado 4.2).

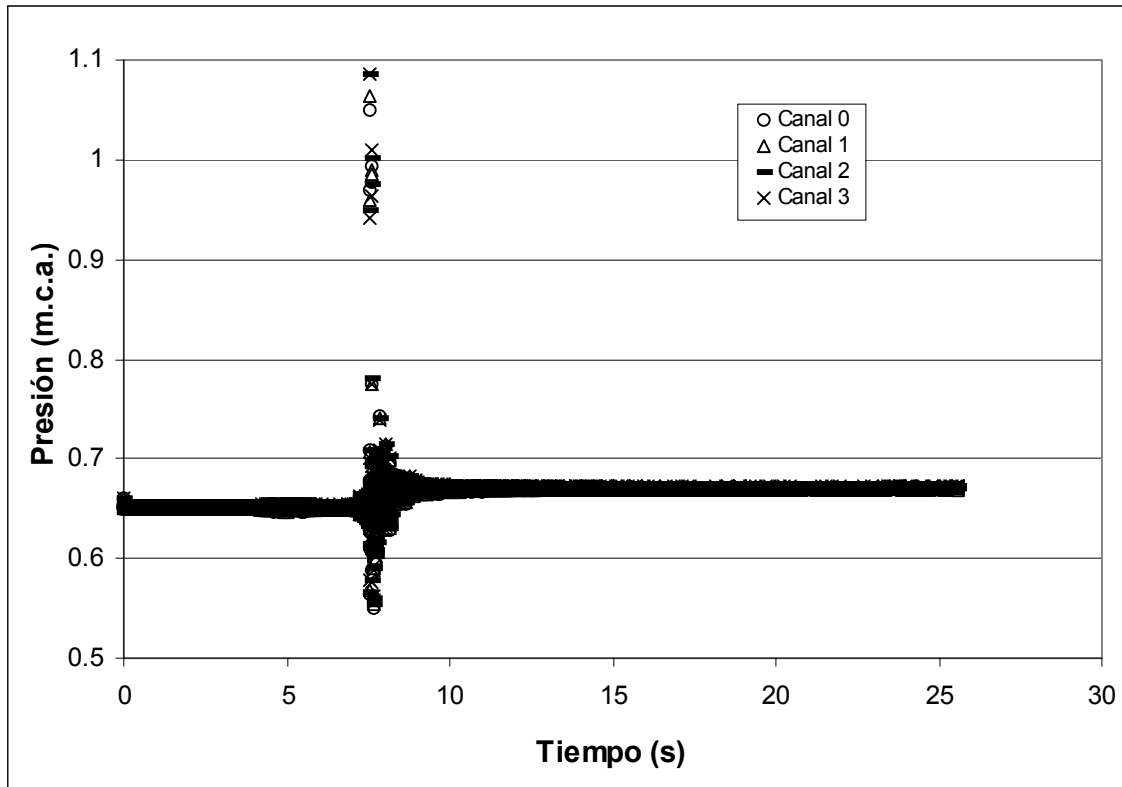


Figura 3.3. Aumento instantáneo de presión. Respuesta de los sensores.

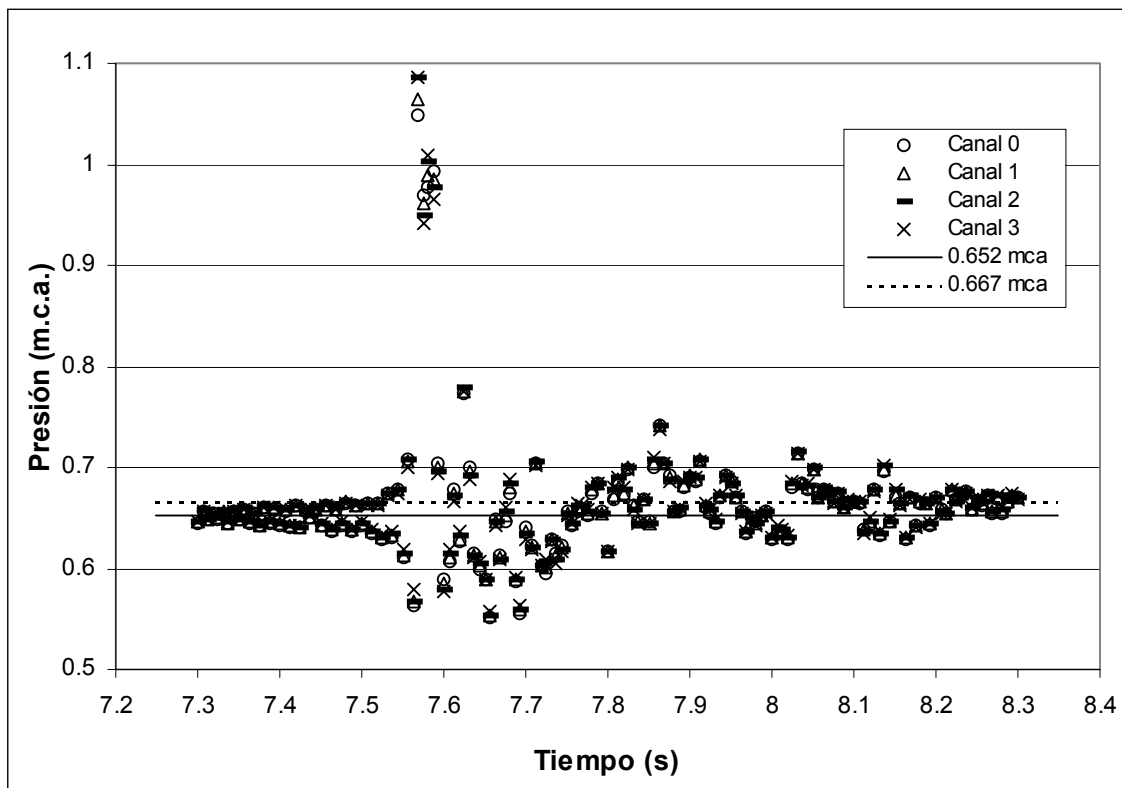


Figura 3.4. Aumento instantáneo de presión. Detalle de la respuesta de los sensores.

En la anterior Figura 3.3 puede apreciarse como antes y después del impacto se producen unas pequeñas ondulaciones en el registro de presión alrededor de la presión estática de referencia de cada caso. Esto puede observarse con más detalle en la ampliación de la Figura 3.4. La ondulación detectada antes del choque responde a la vibración que produjo sobre la columna de agua el rozamiento de un cordel que ataba la pieza de madera al extremo superior del tubo de calibración. Dicho cordel permitió recuperar el prisma una vez finalizada la prueba, a la vez que comprobar la sensibilidad de los sensores a pequeñas oscilaciones en la superficie libre. La sensibilidad de los transductores, también puede apreciarse en el registro de un pequeño escalón de presión de 1.5 cm.c.a. entre antes y después del impacto. La ondulación observable una vez producido el choque del prisma, corresponde al proceso de amortiguamiento de la oscilación de la lámina libre una vez alterada por causa del impacto.

Se comprende pues que la señal conseguida con este ensayo difiere del objetivo inicial de conseguir una señal tipo Delta de Dirac. Con lo que la respuesta en frecuencias deberá alejarse de una constante, tal y como puede apreciarse en los siguientes gráficos (Figura 3.5 y Figura 3.6). De cualquier manera puede observarse que el ensayo de impacto desarrollado tiende a mostrar un rango sensiblemente constante, que correspondería al efecto del impacto del bloque de madera sobre la superficie libre, combinado con una ligera caída de la densidad espectral que estaría reflejando las frecuencias excitadas por efecto de la ondulación del registro de presión citado en el párrafo anterior.

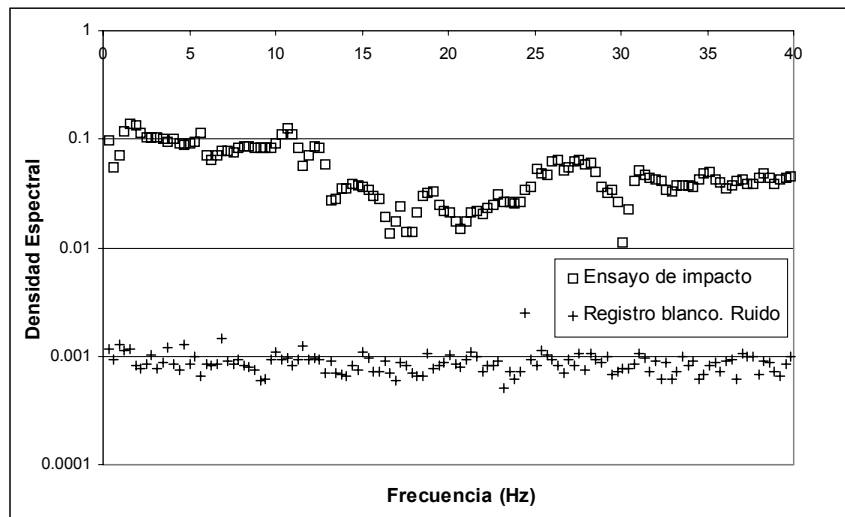


Figura 3.5. Comparación de la densidad espectral del ruido ambiental con la de un registro de un aumento instantáneo de presión.

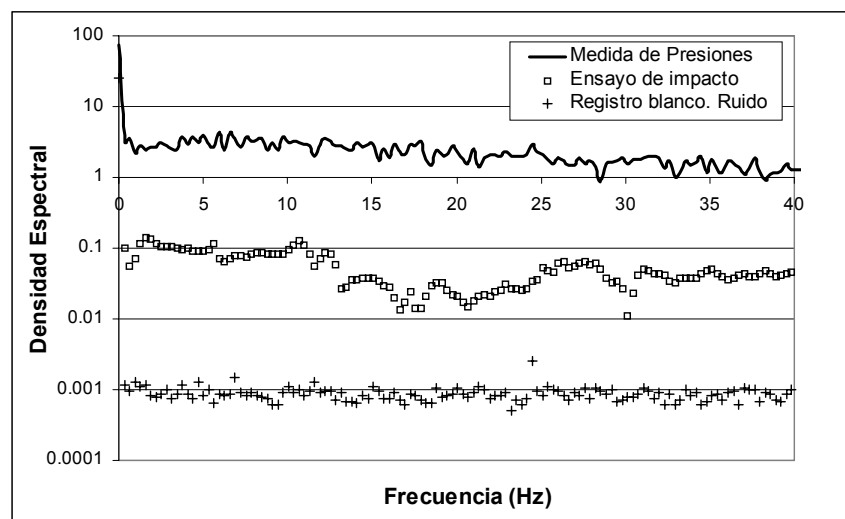


Figura 3.6. Comparación de la densidad espectral del ruido ambiental, de un registro de un aumento instantáneo de presión y de un ensayo de presión sobre un escalón.

De cualquier modo, este ensayo permitió también analizar otro aspecto importante relativo a la respuesta de los sensores: el ruido. Cualquier ensayo, basado en la adquisición de datos a una cierta frecuencia de muestreo, tiene asociado un ruido del que no es posible desprenderse. La existencia de posibles solicitaciones no deseadas, además de la presencia de campos electromagnéticos que pueden provocar señales parásitas, son los principales causantes de dicho ruido. Así, las anteriores figuras (Figura 3.5 y Figura 3.6) permiten comparar también, los espectros de frecuencias asociados a tres ensayos distintos, a fin de comprobar la potencia de la señal registrada en cada caso. Se muestra la densidad espectral obtenida para:

1. Un registro de presión en un punto situado sobre la huella del 14° escalón contado desde el extremo aguas abajo a 0.5 cm de la arista externa del mismo, cuando circulaban 150 l/s,
2. Un ensayo en blanco, esto es, registrando la presión atmosférica. Por tanto una señal constante en la que las únicas variaciones se producirán por el ruido captado por los sensores, y
3. El ensayo de impacto sobre la superficie libre descrito anteriormente.

De dicho gráfico puede concluirse que, para todo el rango de frecuencias, la densidad espectral de la señal correspondiente al ensayo en blanco es del orden de tres órdenes de magnitud inferior al registro de presiones. Ello puede constatarse también de la estimación de la varianza de dichos ensayos. Según lo expuesto podrá asegurarse que la señal a registrar presenta suficiente potencia respecto el ruido intrínseco al sistema de medida utilizado.

<i>Tabla 3.1. Varianza estimada para tres situaciones distintas de registro de presión.</i>	
Ensayo	Varianza (m ²)
Blanco (ruido)	$3.68 \cdot 10^{-7}$
Registro de un aumento instantáneo de presión	$2.27 \cdot 10^{-4}$
Registro de presión	$2.82 \cdot 10^{-2}$

4. Selección del diámetro del tubo de conexión al adaptador

Debido a que el tamaño de la superficie sensible de los sensores piezorresistivos utilizados (1.2 cm de diámetro) es importante frente al tamaño de los escalones (10 cm de altura y 8 cm de huella), se ha diseñado un adaptador que permita reducir la superficie de medida. El adaptador para el modelo PTX 1830, se esquematiza en la Figura 3.7. La conexión física entre el sensor, que se enrosca en la parte inferior del adaptador y la estructura, se realiza mediante un tubo de, a lo sumo, 10 cm de longitud. Éste se introduce a través del orificio, hasta la expansión donde se encuentra enroscado el sensor. Una parte esencial del adaptador es la junta tórica que se encuentra en el orificio por el que se introduce dicho tubo. La finalidad de dicha junta es doble: fijar el tubo al adaptador a fin de evitar posible vibraciones y favorecer una correcta estanqueidad de todo el sistema. Este punto es crucial: toda la cámara interior del adaptador debe encontrarse llena de agua, asegurando la ausencia total de cualquier burbuja de aire, que evitaría una buena propagación de las presiones en su interior.

Tanto el tubo de conexión como el adaptador se han construido en metacrilato transparente, para permitir por inspección visual asegurar que durante todo el ensayo no se forma en el interior de la cámara del adaptador ninguna burbuja de aire. Se han ensayado tres tubos de diámetros exteriores distintos: 6 mm, 8 mm y 12 mm, que corresponden a 3.7 mm, 5.8 mm y 7.5 mm de diámetro interior.

La elección del tubo de conexión no es en absoluto un aspecto trivial. Diámetros demasiado grandes pueden permitir la entrada al adaptador de burbujas de aire pertenecientes al flujo, en cambio con diámetros demasiado pequeños se detectó que no disponían de suficiente inercia como para amortiguar las vibraciones inducidas por el flujo a la estructura metálica que soporta el modelo del aliviadero escalonado (alrededor de 160 Hz), y éstas fueron captadas por el sensor, introduciendo un ruido no deseado al registro de la presión. Este fenómeno podrá observarse en las figuras siguientes.

Se situaron bajo la huella del escalón número 11 (contado desde el extremo de aguas abajo) tres sensores con sus correspondientes adaptadores, conectados al peldaño mediante tubos de diámetro exterior 6 mm, 8 mm y 12 mm, tal y como se muestra en la Figura 3.8. En tal situación, se realizaron dos ensayos con un

caudal de 100 l/s y 150 l/s respectivamente, para determinar las posibles diferencias en los respectivos registros.

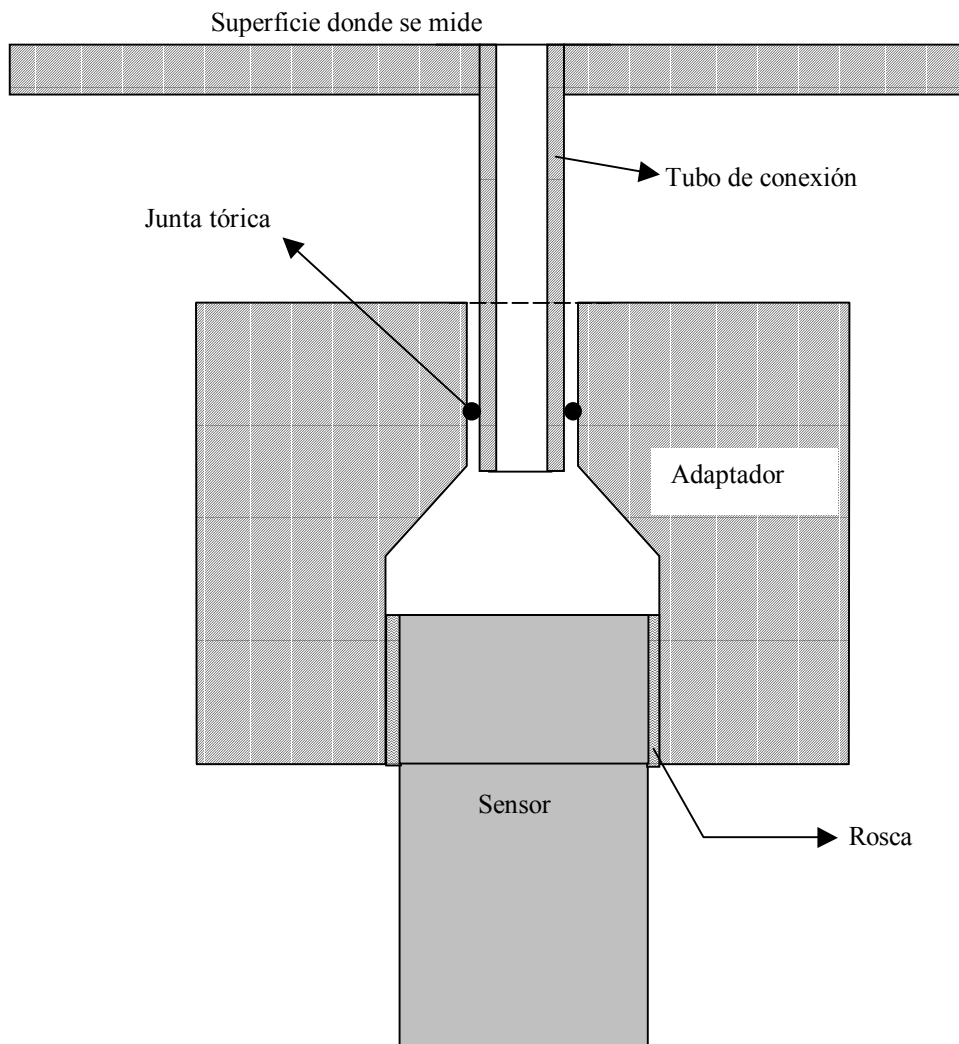


Figura 3.7. Esquema del adaptador acoplado a los sensores piezorresistivos.

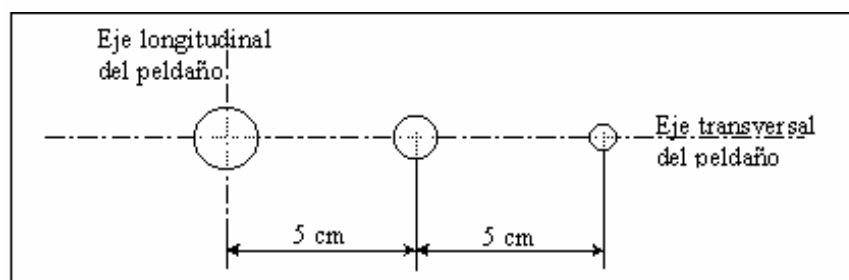


Figura 3.8. Ubicación en la huella del escalón 11 (contado desde el extremo de aguas abajo), de los tubos de diámetro exterior 12 mm, 8 mm y 6 mm.

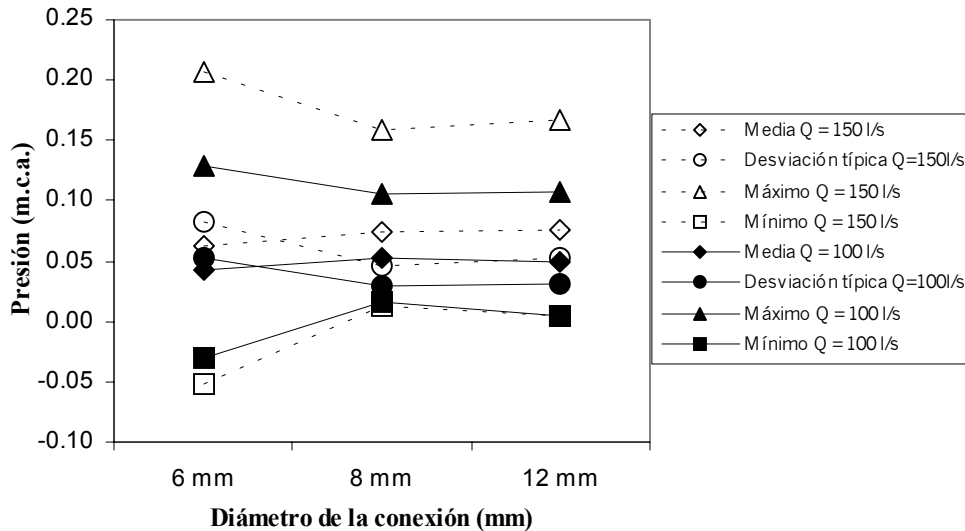


Figura 3.9. Ensayos para la elección del diámetro del tubo de conexión estructura – adaptador del sensor. Representación de la media y valores máximos y mínimos obtenidos.

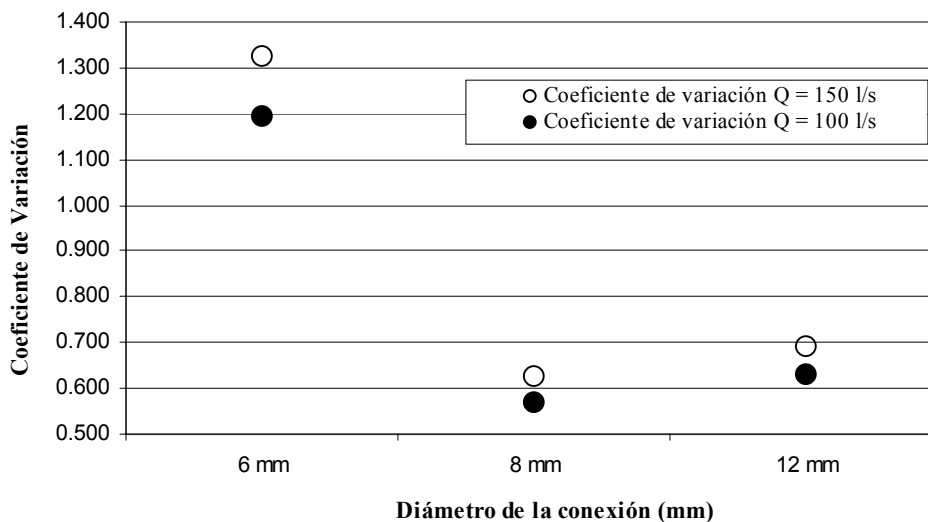


Figura 3.10. Ensayos para la elección del diámetro del tubo de conexión estructura – adaptador del sensor. Representación del coeficiente de variación¹ de los registros.

En los gráficos de la Figura 3.9 y Figura 3.10, puede observarse como, en el caso del menor diámetro de conexión existe una mayor variabilidad aunque el valor medio es sensiblemente inferior al de los otros dos.

El comportamiento de las medidas llevadas a cabo con el menor de los diámetros de conexión es distinto no sólo en el dominio del tiempo como acabamos de ver sino también en el de las frecuencias. En las figuras siguientes (Figura 3.11 a Figura 3.13) se presentan los espectros de frecuencias resultantes en cada caso. En ellos puede observarse como, en el espectro correspondiente al tubo de diámetro 6 mm aparecen dos zonas en las que se concentra la densidad espectral, una entre las frecuencias 0 y 20 Hz y la otra entre 160 Hz y 170 Hz. En cambio, los espectros correspondientes a los ensayos realizados con los diámetros de 8 mm y 12 mm, únicamente muestran una concentración de la densidad espectral entre los 0 y 20 Hz. Por este motivo, y también para eliminar el ruido eléctrico de los 50 Hz, se seleccionó la frecuencia de 80 Hz para el filtro paso banda del sistema de medida.

¹ Coeficiente de variación es el cociente entre la desviación típica y la media muestrales

Tal y como se ha citado en párrafos anteriores, este fenómeno puede haberse producido por el tamaño relativo entre el diámetro de los tubos que se han ensayado, respecto el tamaño y peso de los sensores de medida. Con los dos diámetros mayores (8 mm y 12 mm), los sensores quedaban perfectamente sujetos al peldaño en el que se fuera a realizar la medida. En cambio el tercer transductor acoplado con el tubo de diámetro 6mm, a pesar de encajar perfectamente con el orificio realizado en el punto de medida, a simple vista se observaba su incesante vibración, asociada a la vibración de la estructura metálica que soporta el modelo reducido, que se transmitía a través del tubo de conexión entre la superficie del peldaño y el adaptador.

Así, se entiende que los registros realizados con el transductor acoplado con el diámetro menor (6 mm), muestran, con una gran potencia, un fenómeno que no se corresponde con el que se pretende analizar. Es por este motivo que se desestimó la utilización del tubo de diámetro 6 mm, pasándose a elegir el tubo de diámetro inmediatamente mayor, 8 mm.

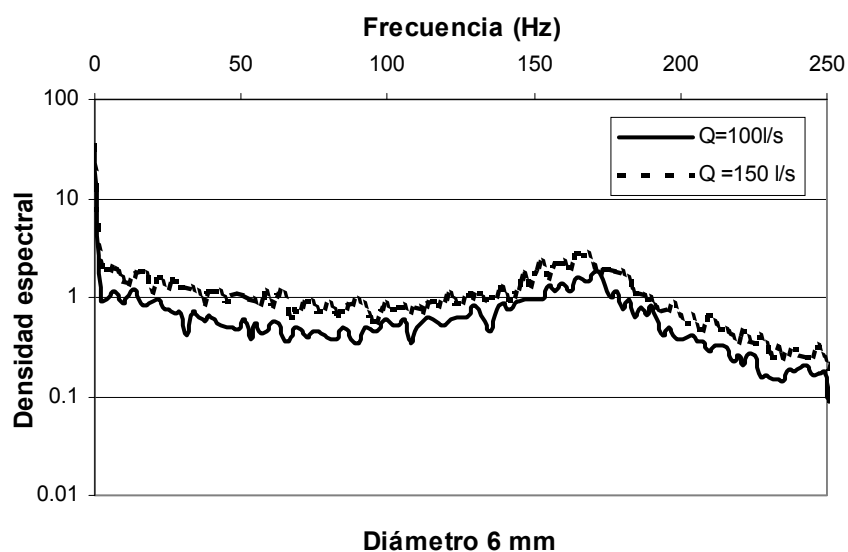


Figura 3.11. Espectro de frecuencias para los caudales 100 l/s y 150 l/s. Diámetro del tubo de conexión 6 mm. (Frecuencia de adquisición del ensayo 500 Hz, duración de 8 segundos).

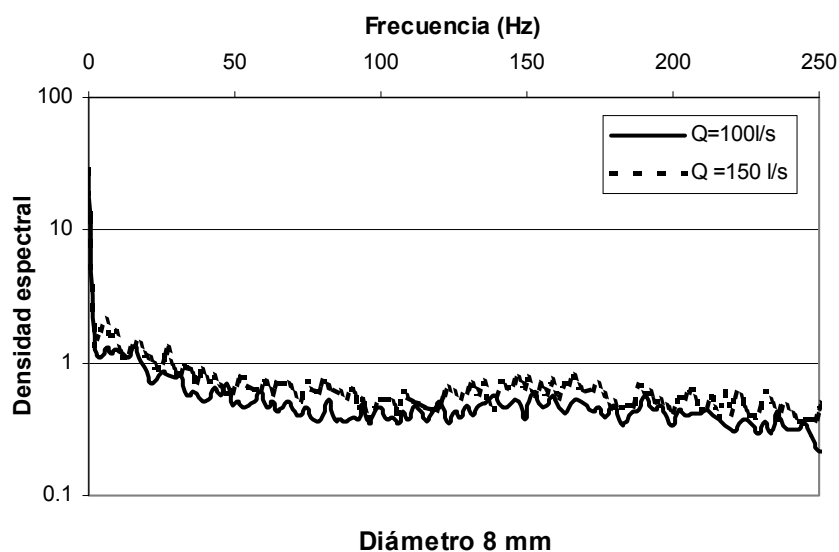


Figura 3.12. Espectro de frecuencias para los caudales 100 l/s y 150 l/s. Diámetro del tubo de conexión 8 mm. (Frecuencia de adquisición del ensayo 500 Hz, duración de 8 segundos).

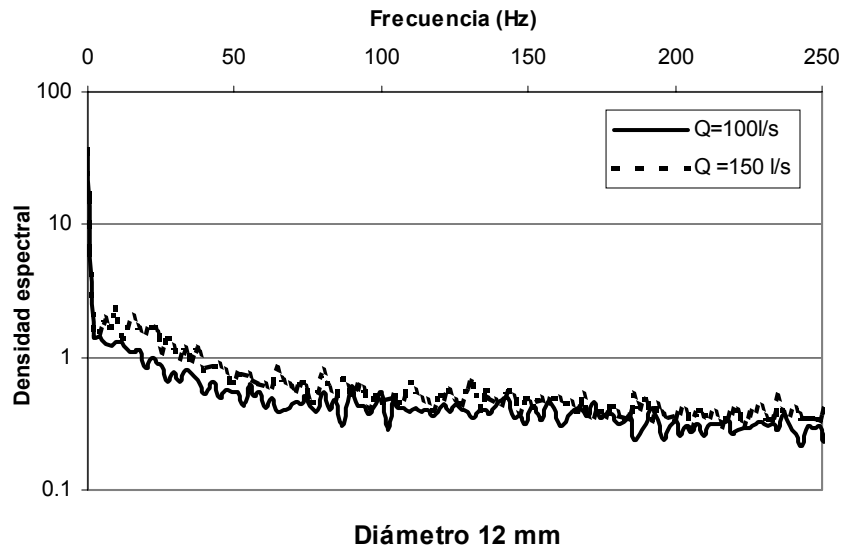


Figura 3.13. Espectro de frecuencias para los caudales 100 l/s y 150 l/s. Diámetro del tubo de conexión 12 mm. (Frecuencia de adquisición del ensayo 500 Hz, duración de 8 segundos).

4.1. Sistema de medida en la contrahuella

Otro aspecto importante para la puesta a punto del sistema de medida resultó ser el registro de presiones en la contrahuella de los escalones. Ubicando directamente el sensor, mediante el acoplador citado, en una de las caras verticales de la estructura, se observa que éste, así como el pequeño volumen de agua que asegura la correcta transmisión dinámica de las presiones, se encuentra en posición horizontal (ver Figura 3.14). Ello hace que, se propicie la entrada de burbujas de aire en el sistema que falsearán el proceso dinámico que se pretende registrar.

La solución a dicho fenómeno se estableció conectando el recinto del adaptador a un pequeño depósito ubicado a una cierta altura por encima del sensor, que le proporcionara una carga constante, tal y como se esquematiza en la Figura 3.14. De esta manera, cuando el modelo se encuentra en vacío, por el tubo de conexión entre el adaptador y el escalón estará saliendo permanentemente un cierto caudal de agua. Dicho caudal deberá ser suficientemente pequeño para que el flujo que se origine en el adaptador distorsione lo menos posible el registro de la presión, pero a su vez debe ser suficientemente elevado para evitar la formación de burbujas de aire en el adaptador. Para establecer ese caudal, la conexión entre el depósito de carga constante y el adaptador se realizó con el típico sistema de gota a gota clínico que cuenta con un sencillo sistema de regulación del flujo. De esta manera se consigue mantener libre de aire el sistema de medida.

En la Tabla 3.4 que se muestra en el siguiente apartado, se justifica la bondad de este mecanismo de medida mediante el sistema de carga constante.

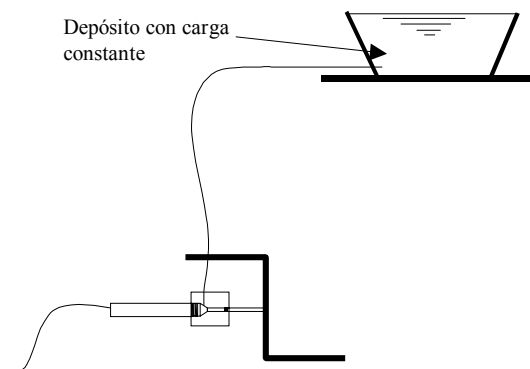


Figura 3.14. Esquema de la ubicación de un sensor en la contrahuella de un escalón.

5. Ensayo de bidimensionalidad en el flujo

El estudio se llevó a cabo analizando sobre la huella de un cierto peldaño, las presiones en dos puntos simétricos respecto el eje longitudinal del aliviadero. Con ello se pretende verificar que, si el comportamiento del flujo es aproximadamente bidimensional, las presiones deben ser idénticas sobre cualquier punto de medida que se elija a lo ancho de un peldaño, esto es sobre cualquier recta perpendicular al eje del aliviadero. En la Figura 3.15 se esquematiza la ubicación de los sensores, para llevar a cabo dicho ensayo. De cualquier manera, hay que ser conscientes, de la influencia en el flujo de los contornos laterales. Por este motivo no será adecuado acercar excesivamente los puntos de medida a dichos cajeros. Se estableció en 15 cm dicha distancia mínima.

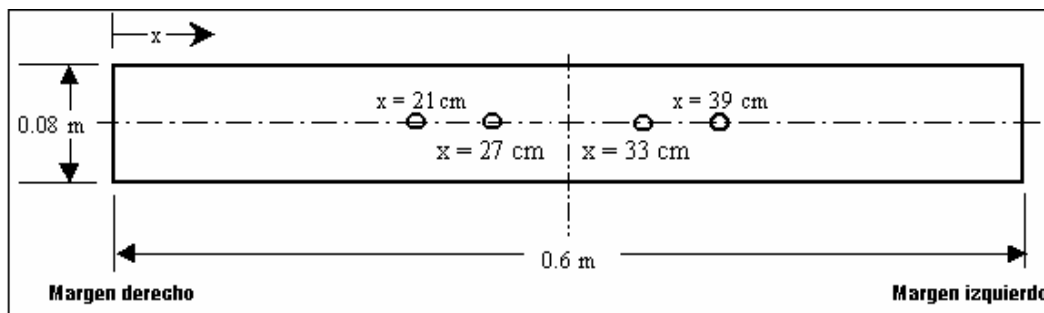


Figura 3.15. Posición de los sensores de medida de presiones para el análisis de la bidimensionalidad del flujo.

En una primera instancia se procedió al registro de las presiones en el escalón 12° (contado desde el extremo aguas abajo del modelo) en los puntos indicados en la Figura 3.15, encontrándose el canal de aproximación completamente libre de todo elemento disipador, tal y como se presenta en el apartado 3.1 del capítulo 2. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.2. En ellos puede observarse como los registros realizados en el margen izquierdo no sólo se encuentran sistemáticamente por debajo de los obtenidos en el margen derecho, si no que también presentan una menor dispersión, constatable en la menor desviación típica de los registros.

Tabla 3.2. Resumen de los registros realizados sobre el escalón 12°. Canal de aproximación libre de elementos disipadores. Perfil de velocidades mostrado en la Figura 3.16.

Caudal (l/s)	Media (m.c.a.)		Desviación típica (m.c.a.)		P ² _{0.95} (m.c.a.)		P ³ _{0.05} (m.c.a.)		P ⁴ _{0.50} (m.c.a.)	
	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x = 39 cm
100	0.037	0.029	0.055	0.040	0.127	0.095	-0.048	-0.032	0.035	0.028
150	0.054	0.038	0.070	0.054	0.169	0.127	-0.048	-0.043	0.048	0.036
200	0.065	0.047	0.095	0.077	0.221	0.275	-0.075	-0.067	0.059	0.046

Estos resultados, a priori no esperados, produjeron un cierto desconcierto que se tradujo en una revisión general de todos aquellos aspectos que inicialmente se habían dado por correctos. Así, se procedió a verificar:

- La correcta nivelación, tanto de los escalones como del canal de aproximación. Si bien a simple vista no se apreciaba ninguna deformación de la estructura, se pensó que, una pequeña desnivelación en cualquier zona del modelo, provocaría una concentración del flujo que podría traducirse en dichas diferencias en los registros realizados. Se comprobó que en la situación de máxima carga el escalón se encontraba en posición horizontal.

² P_{0.95}: percentil correspondiente al 95%.

³ P_{0.05}: percentil correspondiente al 5%.

⁴ P_{0.50}: percentil correspondiente al 50%

- Seguidamente se controló la aproximación del agua en el canal superior. Con ello se pretendía analizar la influencia del perfil de velocidades que el agua adopta en la aproximación, sobre el flujo en la rápida. Así, se midió mediante un micromolinetes dicho perfil en una sección transversal ubicada a 1.20 m del umbral de la rápida. Se obtuvo una distribución de velocidades con una clara tendencia a aumentar en el margen izquierdo, tal y como se muestra en la Figura 3.16. Este resultado concordaba con las menores presiones que se obtenían sistemáticamente en el margen izquierdo de la estructura escalonada.

En una primera instancia se pensaba que la elevada turbulencia desarrollada sobre los escalones, que se traduce en una importante capacidad de mezclado, podría amortiguar y diluir, unos pocos escalones más abajo, cualquier irregularidad en el flujo provocada por el contorno o por la aproximación del agua al umbral del aliviadero. Nada más lejos de la realidad. Estos ensayos mostraron que cualquier fenómeno que produzca alguna alteración en el perfil de velocidades en una sección transversal, tanto en el canal de aproximación como en la rápida, alterará el comportamiento bidimensional de la estructura aguas abajo.

Así, a continuación, se procedió a corregir dicho perfil de velocidades. Teniendo en cuenta que la asimetría en el perfil de velocidades era debido al giro de 90° que debe hacer el agua al entrar al canal de aproximación, se colocaron una serie de pequeños deflectores en ambos márgenes del canal, a fin de intentar concentrar el flujo hacia el centro de la sección. En la Figura 3.17 se muestra un esquema de la colocación de dichos deflectores y, en la Figura 3.18, el perfil de velocidades obtenido en la sección a 1.20 m del umbral.

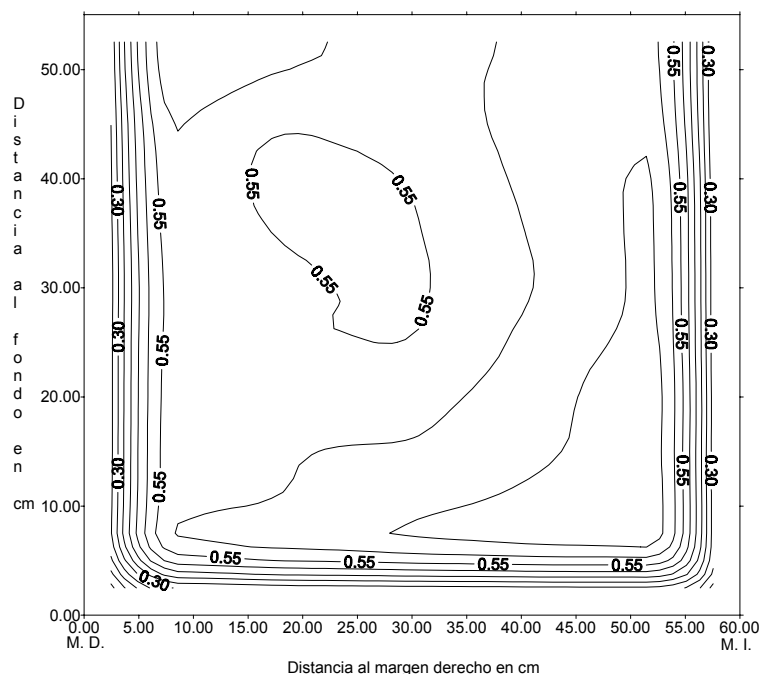


Figura 3.16. Perfil de velocidades (m/s) medido en el canal de aproximación a 1.20 m de distancia del umbral del aliviadero. Canal libre de cualquier elemento disipador. Caudal circulante $Q = 200$ l/s.

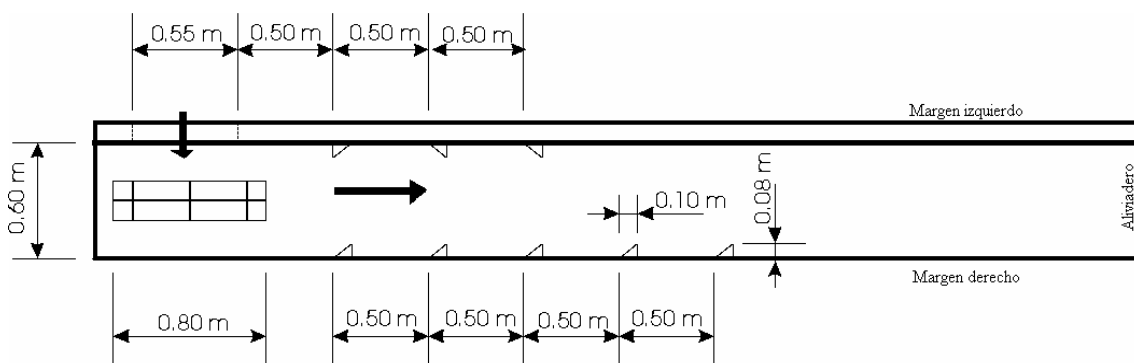


Figura 3.17. Ubicación de los deflectores laterales situados en el canal de aproximación, con el objetivo de provocar un perfil simétrico de velocidades a la entrada del aliviadero.

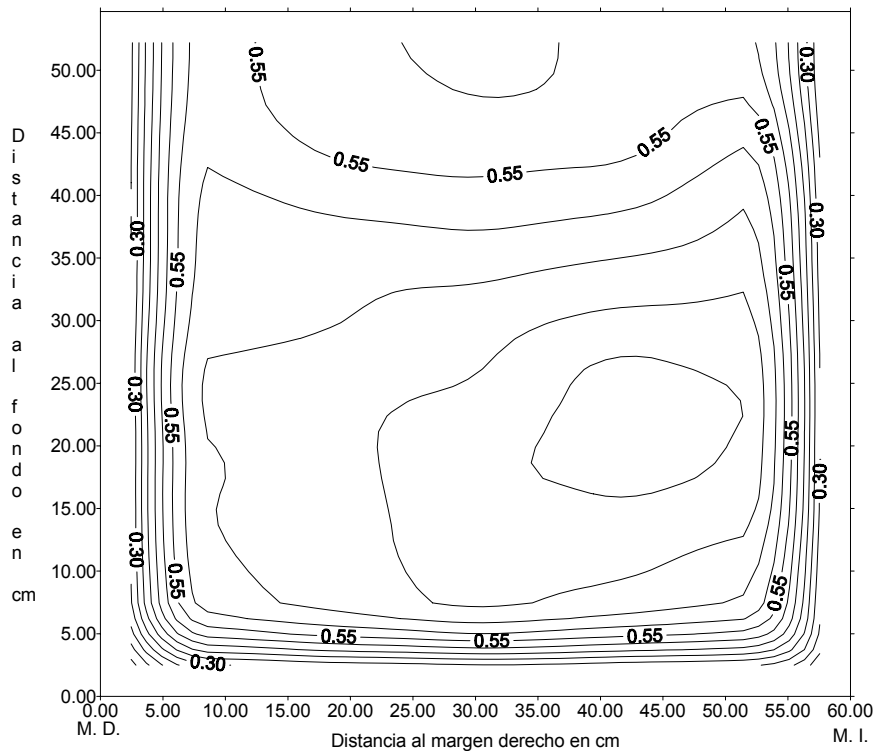


Figura 3.18. Perfil de velocidades (m/s) medido en el canal de aproximación a 1.20 m de distancia del umbral del aliviadero. Canal provisto de los deflectores laterales que se esquematizan en la Figura 3.17. Caudal circulante $Q = 200$ l/s.

En tal situación, se verificó si el cambio producido en la distribución de velocidades había sido suficiente para corregir la asimetría detectada en las presiones. En este caso se registró la presión algunos escalones más aguas abajo a fin de verificar si la posición longitudinal de los puntos de medida, podía haber influido también en los registros. Así, los resultados obtenidos sobre el 6º escalón contado desde aguas abajo, se muestran en la Tabla 3.3.

De aquí podría desprenderse que, si bien los deflectores de la Figura 3.17 no consiguen una correcta simetría en las presiones, la mayor concentración del flujo hacia el centro que provocan permite:

- Reducir las diferencias entre los registros, así como
- Reducir la variabilidad de los mismos, tal y como se aprecia comparando las últimas medidas con las obtenidas en el primer ensayo de la Tabla 3.2.

Tabla 3.3. Resumen de los registros realizados sobre el 6º escalón. Elementos disipadores en el canal de aproximación según la disposición esquematizada en la Figura 3.17. Perfil de velocidades asociado mostrado en la Figura 3.18.

Caudal (l/s)	Media (m.c.a.)		Desviación típica (m.c.a.)		$P_{0.95}$ (m.c.a.)		$P_{0.05}$ (m.c.a.)		$P_{0.50}$ (m.c.a.)	
	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm	x=21cm	x=39cm
100	0.036	0.033	0.035	0.036	0.094	0.098	-0.015	-0.021	0.034	0.030
150	0.046	0.039	0.048	0.050	0.126	0.118	-0.019	-0.029	0.042	0.036
200	0.059	0.046	0.066	0.068	0.170	0.157	-0.032	-0.045	0.052	0.041

Por este motivo se procedió a introducir dos elementos que servirían para terminar de uniformizar el flujo a la entrada del aliviadero, tal y como se esquematiza en la Figura 3.19 y la Figura 3.20. Esta actuación consistió en eliminar los dos últimos deflectores laterales del margen derecho, y en introducir dos estructuras en forma de parrilla, con celdas de 0.10×0.13 m². A su vez, en cada una de estas parrillas se fijaron, por el método de prueba y error, una serie de listones que rompieran las direcciones prioritarias que toda-

vía se apreciaban en los registros de la distribución de velocidades. Así, finalmente, en la Figura 3.20 se muestra el reparto fijado de los listones en las dos parrillas A y B, así como, en la Figura 3.23 la distribución de velocidades que se consigue con estos nuevos elementos disipadores.

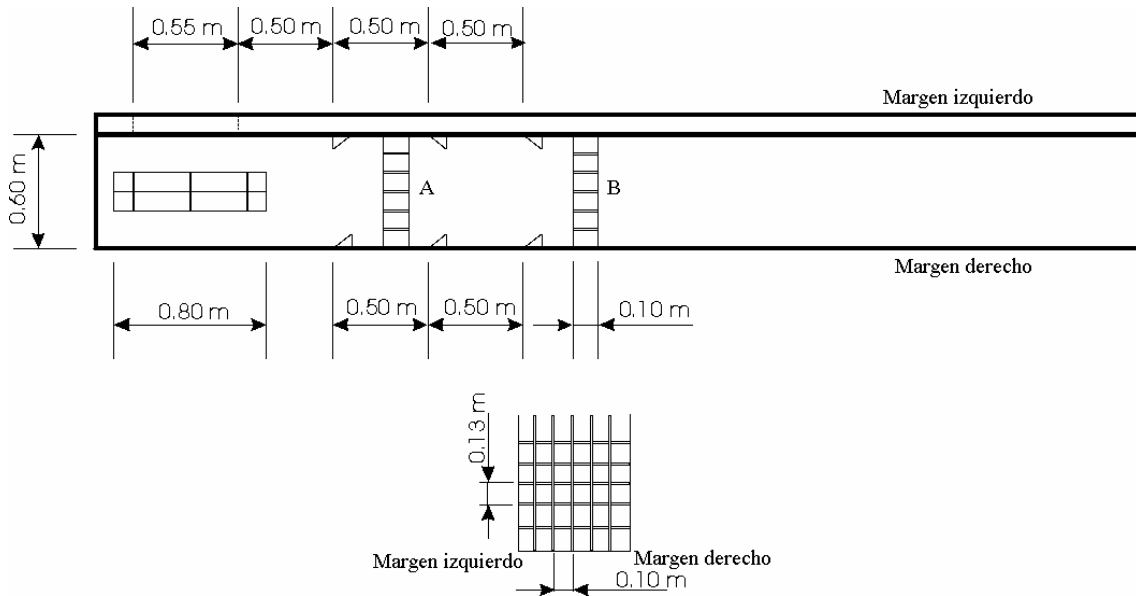


Figura 3.19. Esquema de la ubicación definitiva de los elementos uniformizadores del flujo en el canal de aproximación.

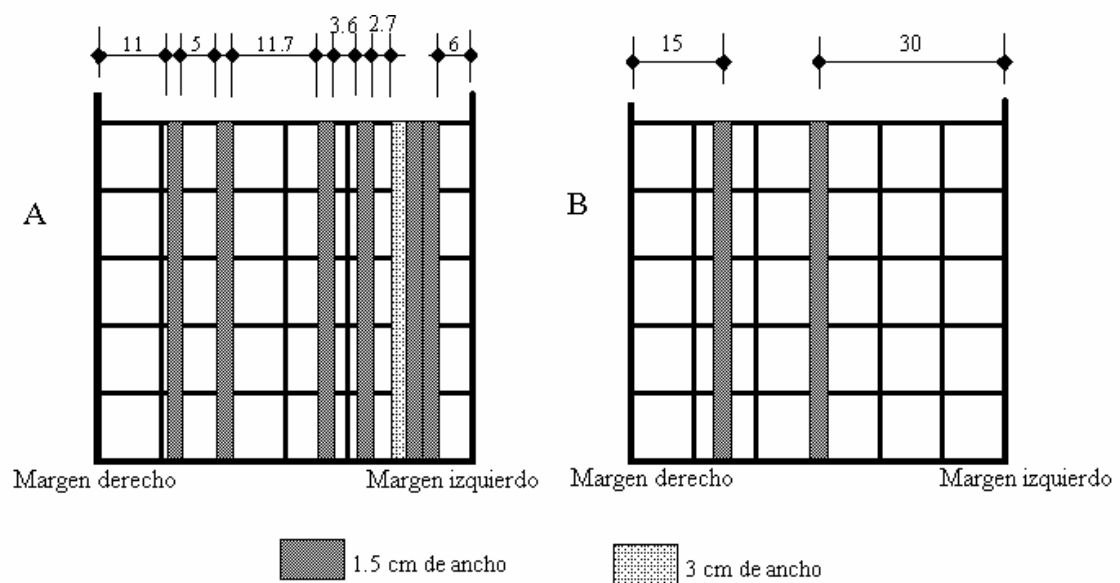


Figura 3.20. Distribución final de los elementos homogeneizadores del flujo en el canal de aproximación.



Figura 3.21. Imagen en seco y en funcionamiento de los elementos homogeneizadores del flujo en el canal de aproximación.



Figura 3.22. Detalle del funcionamiento de los elementos de tranquilización del flujo en el canal de aproximación.

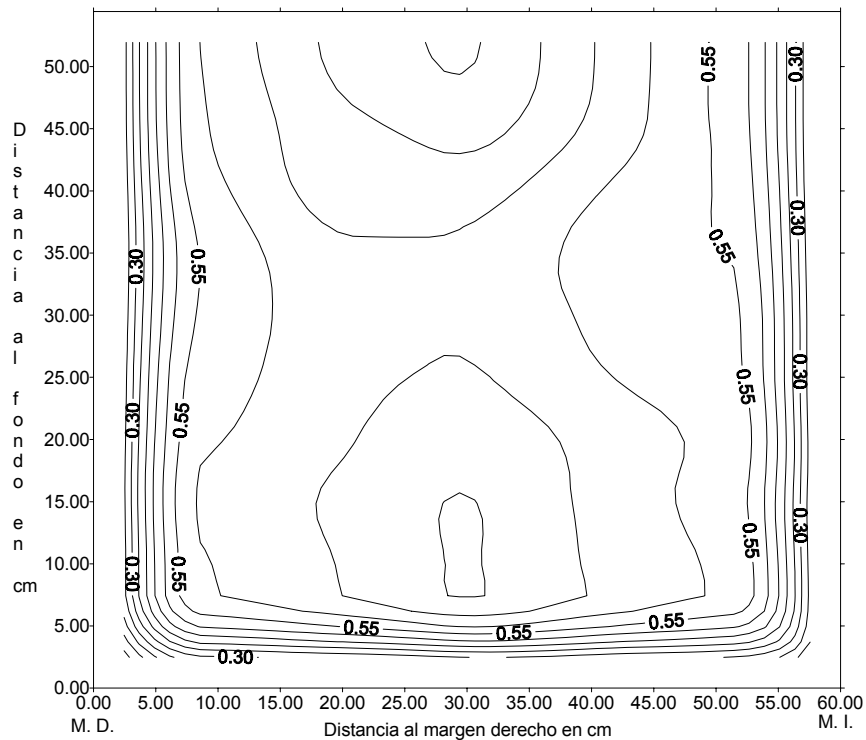


Figura 3.23. Distribución de velocidades (m/s) en la sección situada a 1.20 m del umbral del aliviadero. Geometría del canal de aproximación mostrada de la Figura 3.19 a la Figura 3.22. Caudal circulante $Q = 200$ l/s.

Tabla 3.4. Resumen de los registros realizados sobre el 6° escalón. Elementos disipadores en el canal de aproximación según la disposición esquematizada de la Figura 3.19 a la Figura 3.22. Perfil de velocidades asociado, mostrado en la Figura 3.23.

		x = 21 cm (S.C.C. ⁵)	x = 27 cm	x = 33 cm	x = 39 cm
Q = 100 l/s	Media (m.c.a.)	0.037	0.037	0.038	0.037
	Desviación típica (m.c.a.)	0.022	0.022	0.020	0.022
	P _{0.95} (m.c.a.)	0.075	0.074	0.073	0.075
	P _{0.05} (m.c.a.)	0.008	0.007	0.010	0.006
	Moda (m.c.a.)	0.035	0.034	0.035	0.034
Q = 150 l/s	Media (m.c.a.)	0.050	0.049	0.050	0.049
	Desviación típica (m.c.a.)	0.036	0.036	0.032	0.032
	P _{0.95} (m.c.a.)	0.113	0.114	0.107	0.106
	P _{0.05} (m.c.a.)	0.002	0.002	0.008	0.008
	Moda (m.c.a.)	0.045	0.043	0.045	0.044
Q = 200 l/s	Media (m.c.a.)	0.068	0.069	0.070	0.067
	Desviación típica (m.c.a.)	0.053	0.059	0.051	0.048
	P _{0.95} (m.c.a.)	0.161	0.176	0.166	0.153
	P _{0.05} (m.c.a.)	0.000	-0.003	0.006	0.004
	Moda (m.c.a.)	0.060	0.060	0.062	0.061

Los registros de presiones obtenidos en el 6° escalón contado desde aguas abajo, a partir del perfil de velocidades mostrado en la Figura 3.23, se resumen en la Tabla 3.4. En este caso procedió a registrar en los cuatro puntos, simétricos dos a dos, que se muestran en la Figura 3.15. De los resultados obtenidos puede inferirse, finalmente, un comportamiento aceptablemente bidimensional sobre todo en los valores obtenidos para la media, desviación típica y moda de los registros. Además, obsérvese que en uno de los puntos de medida se utilizó el sistema de carga constante detallado en el apartado 4.1, si el comporta-

⁵ Medida llevada a cabo mediante el sistema de carga constante detallado en el apartado 4.1

miento de éste puede aceptarse igual a los demás, como así parece, a la vez se habrá justificado la validez de la medida con este sistema. No obstante todo lo citado, puede apreciarse una ligera tendencia a romperse la bidimensionalidad al aumentar el caudal, posiblemente podría corregirse con una nueva actuación sobre los elementos tranquilizadores en el canal de aproximación. A pesar de ello, se dan por buenos los resultados por encontrarse las diferencias encontradas dentro del margen de error de los sensores.

