

2 La medida de la altura de carga

2.1 Introduccion

Tal como se trató en el Apartado 1.2.4 sobre la sensibilidad y en el 1.2.8 sobre la precisión de aforo de una corriente, para poder medir un caudal con exactitud es necesario conocer la verdadera altura de la carga, aguas arriba del medidor, referida al nivel del resalto. De hecho la importancia de la medida de la carga es tal que, con frecuencia, el éxito o el fracaso de una obra de medición depende enteramente de la eficacia de la escala o del registrador limnimétrico que se utilice.

El nivel de referencia del resalto se toma en la sección de control, que se encuentra, bien sobre la propia cresta del vertedero o bien a una distancia de, aproximadamente, $L/3$ del borde inferior del resalto, en la garganta del aforador (ver la Figura 2.1). El plano superior del umbral (cresta del vertedero o solera de la garganta del aforador) debe ser perfectamente horizontal en la dirección de la corriente. En el caso de que este plano tenga pequeñas ondulaciones, se recomienda tomar, como verdadero nivel de referencia del resalto, el nivel medio de la sección de control, en lugar del nivel medio de toda la cara. El limnimetro o escala para la medida de la altura de carga, deberá colocarse suficientemente distante, aguas arriba, de la obra de aforo, como para que caiga fuera de la zona de descenso de la superficie del agua, si bien lo bastante cerca de dicha obra como para que entre ambos sea despreciable la pérdida de energía. Esto supone que deberá situarse a una distancia del borde anterior del resalto de entre dos y tres veces el valor de H_{1max} , o, como mínimo a una distancia igual a H_{1max} del comienzo de la contracción, tomándose la mayor de estas dos distancias (ver la Figura 2.1).

El nivel del agua en la estación de aforo puede medirse con una escala graduada, vertical o inclinada. En general, para medidas esporádicas, basta con una sonda de punzón o un limnimetro, pero cuando se precisa una evaluación continua es necesario

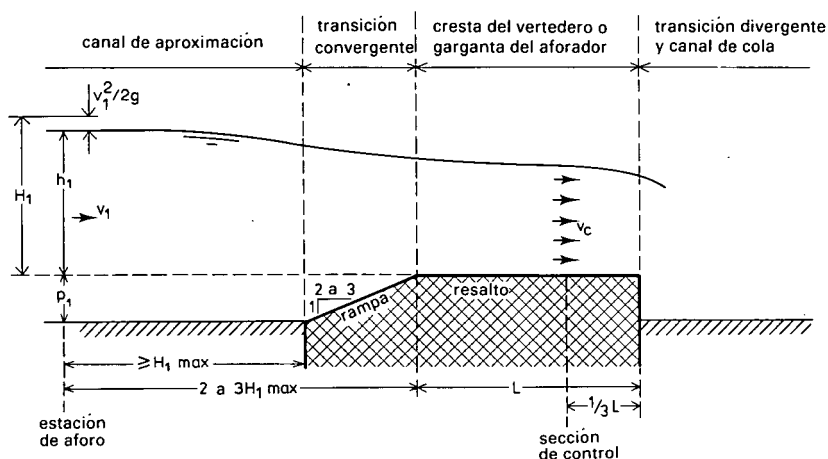


Figura 2.1 Terminología general.

disponer de un limnógrafo de registro automático. Con independencia del tipo de dispositivo que se utilice para medir la altura de carga, debe instalarse éste siempre a un lado del canal de aproximación, con el fin de que no interfiera en la manera de acercarse la corriente al aforador.

2.2 Escalas limnimétricas

Cuando no se necesita una información continua del caudal, o en canales en los que las fluctuaciones de nivel se producen de una forma gradual, pueden obtenerse datos suficientes efectuando lecturas periódicas sobre una escala graduada, la cual deberá estar situada de tal manera que sea posible leer el nivel del agua desde la propia banqueta del canal y que el observador pueda limpiar con facilidad su superficie. En la Figura 2.2 se representa una típica escala limnimétrica graduada.

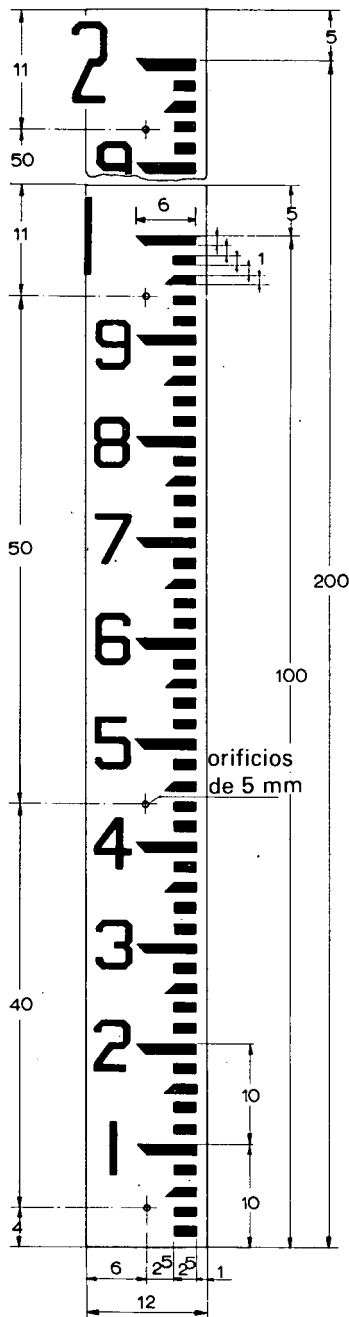
Para canales de tierra el limnómetro puede montarse verticalmente sobre un soporte que se coloca en el mismo cauce. Este soporte debe ser de tal forma que no interfiera en el curso del agua que pasa a través del aforador y que tampoco retenga cuerpos flotantes. En el Apartado 2.9 se tratará del emplazamiento de los limnómetros.

En los canales revestidos de hormigón, los limnómetros pueden montarse directamente adosados a sus cajeros. Cuando las paredes del canal están inclinadas, la longitud indicada sobre la escala es mayor que la correspondiente profundidad vertical del agua. En la Figura 2.3 se dan las longitudes de pendiente relativas, correspondientes a la vertical, para los taludes más usuales.

Dentro de un sistema de riego es de desear que la elección de la obra de medición se haga entre los modelos normalizados existentes. También conviene marcar las escalas limnimétricas de estos aforadores en litros/segundo, metros cúbicos/segundo o pies cúbicos/segundo, o en cualquier otra unidad práctica de caudal, mejor que en alturas de carga. Así, una vez que se ha montado y comprobado la escala, se evita la posibilidad de que, en alguna ocasión, puedan utilizarse unas tablas de caudales equivocadas. Estos limnómetros de lectura directa pueden emplearse también en los vertederos móviles del Capítulo 6.

En la Tabla 2.1 (ver la Figura 2.4), se da un ejemplo de las distancias de marcaje de un limnómetro de lectura directa, montado adosado a la pared de un canal. Para un vertedero como este, los trazos de la escala no necesitan estar separados a más de 3 o 4 cm, pues con esto se logra una interpolación aceptablemente precisa. Así, si se tiene una escala limnimétrica marcada como la de la Tabla 2.1, vemos que hay una diferencia de 2,5 cm (4,5 cm sobre la escala de la pared) entre los caudales de 2,20 y 2,40 m³/s y la interpolación entre estos dos valores, a simple vista, es relativamente fácil. Un observador con experiencia puede estimar la profundidad con un error menor de un centímetro. Para este ejemplo, el observador puede estimar con facilidad el caudal con un error menor del 4% del valor verdadero. En los aforadores muy pequeños, o en los muy grandes, que requieren mayor exactitud, se debe instalar un pocillo remansador, de acuerdo con lo que se indica en el Apartado 2.5.

La mayoría de las escalas limnimétricas fijas son de chapa de acero esmaltado, de aluminio anodizado o de poliéster. Las escalas de acero esmaltado se encuentran en los comercios especializados y llevan divisiones lineales, tal como la que aparece en la Figura 2.2. Las regletas para lectura directa de caudales pueden ser encargadas



dimensiones en cm

Figura 2.2 Escala limnimétrica típica.

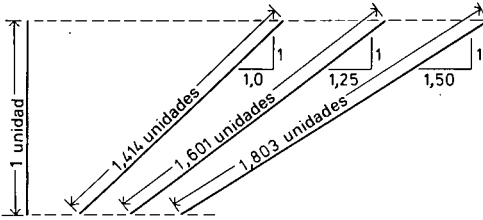


Figura 2.3 Multiplicadores de las unidades para escalas inclinadas.

Tabla 2.1 Ejemplo de la relación que existe entre las distancias, vertical e inclinada, de los trazos de un limnómetro, para un canal con taludes de 1,5:1

Caudal, Q (m^3/s)	Altura de carga vertical, h_1 (m)	Distancia sobre la pared, h_s (m)
0,20	0,117	0,211
0,40	0,179	0,323
0,60	0,229	0,413
0,80	0,273	0,492
1,00	0,311	0,561
1,20	0,347	0,626
1,40	0,379	0,683
1,60	0,410	0,739
1,80	0,439	0,792
2,00	0,466	0,840
2,20	0,492	0,887
2,40	0,517	0,932
2,60	0,541	0,975
2,80	0,564	1,016
3,00	0,586	1,057

al fabricante por el cliente en grandes cantidades, pero resultan considerablemente más caras. Los limnómetros se pueden construir con graduación lineal o para lectura directa de caudales, haciendo marcas sobre una pletina de aluminio con un cortafriós y un martillo y pintura para metales. Las escalas limnimétricas necesitan ser limpiadas periódicamente, por lo que deben colocarse en lugares de fácil acceso.

2.3 Limnigrafos

Los limnigrafos, o registradores automáticos del nivel del agua, son instrumentos que trazan gráficos, graban en cinta magnética o registran sobre una banda de papel con perforaciones los niveles del agua, en función del tiempo. El empleo de estos instrumentos tiene las siguientes ventajas sobre las escalas limnimétricas ordinarias:

1. En los canales con caudales que oscilan durante el día, su registro permanente pro-

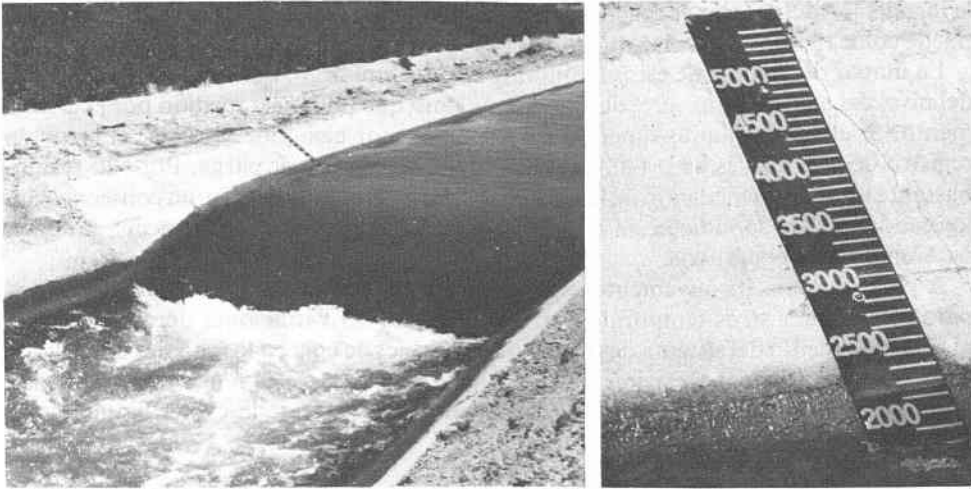


Figura 2.4 Un limnómetro montado sobre un cajero inclinado hace más utilizables estos vertederos. La escala está marcada en unidades de caudal (Arizona).

proporciona el medio más adecuado para determinar el caudal medio diario y el volumen total.

2. En el gráfico completo quedan grabados los niveles máximo y mínimo del agua, en función del tiempo, lo que proporciona datos sobre el tiempo de reacción del sistema de canales a los cambios de caudal aguas arriba.
3. Pueden efectuarse observaciones en puntos lejanos, en donde no se dispone de observadores, o en lugares a los que estos no pueden llegar en determinadas condiciones meteorológicas.

Los diferentes fabricantes de instrumentos meteorológicos construyen una amplia variedad de registradores, que se pueden adquirir en el mercado. En este manual solamente se describen los principios en que se basan los tres tipos de registradores que sirven a nuestros propósitos, pero no se incluyen más detalles, ya que los fabricantes suministran con cada instrumento una descripción completa y, además, los progresos técnicos de todos ellos harían que quedase pronto anticuada cualquier descripción que pudiéramos hacer.

Limnógrafos de cámara flexible

Este tipo de instrumentos consta de una cámara flexible que, por razones de protección, va dentro de una cubierta metálica perforada, y que se conecta, mediante un tubo de aire, a un manómetro mecánico registrador (barógrafo) o a un transductor de presiones con señal de salida electrónica. La caja perforada que contiene la cámara flexible, se fija a la solera por debajo del nivel mínimo de agua que haya de registrarse. Cualquier cambio del nivel del agua modifica la presión en el interior de la cámara y queda registrado. Ventajas de este sistema son que para instalar la caja perforada con la cámara elástica no se necesita pocillo remansador y que la distancia entre la cámara flexible y el mecanismo registrador puede ser de hasta 50 m. Por estas razones,

la instalación del sistema es sencilla y relativamente barata, al tiempo que el registrador puede colocarse en un emplazamiento adecuado.

La mayor desventaja de estos limnigrafos es, sin embargo, que el error de medición del nivel del agua llega a $\pm 2\%$ del caudal máximo que puede ser medido por el instrumento. Si el caudal límite superior corresponde, por ejemplo, a 1,0 m, el error de registro de la altura es de $\pm 0,02$ m, para todas las alturas de carga. Por ello resulta bastante inexacta la medición de las cargas en sus valores más bajos y, en consecuencia, los caudales correspondientes a ellas. Además, las fugas del sistema pueden también ocasionar fallos operativos.

A pesar de estos inconvenientes, los registradores por presión son muy adecuados para efectuar registros temporales de, por ejemplo, las variaciones de nivel debidas al funcionamiento del sistema de riego o de los niveles de cola en los canales de drenaje. A fin de mantener una precisión suficiente en la altura de carga registrada, es preciso efectuar, con regularidad, una calibración entre la lectura de la escala limnimétrica y el nivel que registre el aparato.

Limnigrafos de burbujeo

Los instrumentos de este tipo constan de un tubo, que generalmente se fija al canal, con su extremo abierto a 0,05 m, como mínimo, por debajo del nivel más bajo que vaya a medirse. El tubo está conectado a una fuente de alimentación de aire, como puede ser una bombona de aire comprimido o un pequeño compresor, y a un manómetro o a un detector de presiones, con dispositivo registrador. El aire va saliendo muy lentamente por el extremo abierto del tubo y se mide y se registra la presión necesaria para superar la carga de agua en el punto de salida. El procedimiento de medición y de registro de la presión puede ser similar al del barógrafo descrito más arriba, o puede incluir dispositivos electrónicos más modernos. Sus ventajas e inconvenientes son, más o menos, análogos a los del sistema de presión del apartado anterior. La precisión de detección puede alcanzar los ± 2 mm, pero, con frecuencia no llega a los ± 5 a 10 mm.

Con este sistema de burbujeo se pueden alcanzar distancias de transmisión relativamente largas, habiéndose utilizado instalaciones de 300 m. En estas conducciones largas es mejor utilizar dos pequeños tubos de 3 mm de diámetro interior, por razones

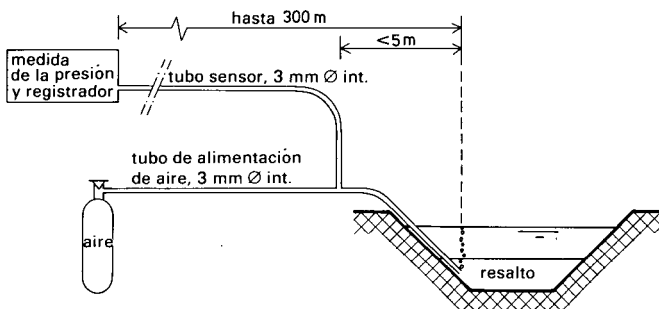


Figura 2.5 Esquema de un sistema de teleregistro mediante sonda de burbujeo, cuya sensibilidad no admite distancias superiores a los 300 m. (Sin escala.)

de economía y exactitud. Uno de los tubos transporta el aire desde la fuente de alimentación hasta el extremo sumergido, de modo que se produzcan de 3 a 5 burbujas por segundo. El otro tubo se conecta, como un ramal, al primero, lo más cerca posible de su extremo abierto, preferiblemente entre los 2 y los 5 m de distancia de la boca. De este modo el segundo tubo aprecia la presión de burbujeo a cualquier distancia que se desee. Puesto que, una vez estabilizada la presión, no hay prácticamente corriente de aire en el interior del tubo sensor, tampoco se producirán pérdidas apreciables por rozamiento. En la tubería de alimentación, incluso las 3 a 5 burbujas por segundo, producen una caída de presión significativa en varios cientos de metros, por lo que, para grandes distancias, la tubería de alimentación no sirve para ser utilizada como tubería sensora. Las diferencias de temperatura y los cambios de presión en la tubería sensora solamente pueden alcanzar niveles significativos, si existen grandes distancias verticales en la instalación. La Figura 2.5 muestra la disposición esquematizada de una sonda de burbujeo a distancia.

La distancia de transmisión está limitada, en primer lugar, por el intervalo de tiempo de respuesta admisible en la detección de un cambio de caudal. La sonda se hace más lenta de reacción cuanto más larga es la tubería sensora, debido a la mayor masa de aire que ha de moverse para lograr una nueva estabilización de presión. Para tuberías de 300 m de longitud y 3 mm de diámetro interior, la estabilidad se alcanza, normalmente, en algunos segundos, dependiendo de las necesidades de volumen de aire que precisa el manómetro. Por ejemplo, un manómetro de orificio grueso, aunque puede ser más sensible que otro más pequeño, necesita mayor volumen de aire que este último para moverse.

Limnigrafos de flotador

Los registradores accionados por flotador son los instrumentos más utilizados para la medición de alturas de carga, debido a su gran exactitud ($\delta_h = \pm 0,005$ m). El aparato consta de un flotador de diámetro suficientemente grande (ver el Apartado 2.4), unido a un extremo de una banda o cable que pasa por una polea, solidaria al mecanismo registrador, y de cuyo otro extremo cuelga un contrapeso. El flotador sube o baja con el nivel del agua y su movimiento hace girar la polea, quedando registrado. Para su funcionamiento, el flotador debe colocarse en agua tranquila, por lo que, en todas las instalaciones de campo, es preciso disponer de un pozo de amortiguación (ver el Apartado 2.5).

Debe cuidarse de asegurar que, al subir el flotador, su contrapeso no llegue a apoyarse sobre él, sino que, o bien quede siempre más alto, o pase por un lado. Si se necesita un alto grado de exactitud, deberá impedirse que el contrapeso llegue a sumergirse en ningún tramo de su recorrido, ya que esto alteraría el grado de inmersión del flotador y afectaría al nivel de agua registrado. Este error sistemático se puede evitar:

1. Colocando el contrapeso dentro de otro tubo separado, impermeable y sin agua.
2. Montando dos tambores de diferente tamaño en el eje del registrador. Sobre el mayor se enrollará el cable del flotador y sobre el menor el del contrapeso. La periferia de estos tambores debe ir provista de una ranura en espiral, capaz de alojar varias vueltas de cable, de lo contrario se produce un error al enrollarse el cable sobre el cable. Con este sistema no pueden utilizarse cintas.

3. Prolongando el tubo del pocillo tranquilizador a una altura tal que al nivel máximo previsible, el contrapeso nunca llegue a tocar ni la polea del flotador ni la superficie del agua.

La mayoría de los primeros registradores se basaban en el arrastre de una polea por la adherencia de un cable. Para mejorar la exactitud de la medida de la altura de carga se recomienda que el registrador vaya equipado con una banda calibrada, que pase por encima de la polea del flotador. Tanto este como su contrapeso deben estar unidos a los extremos de la banda, mediante anillos de conexión. Si el registrador carece de aguja indicadora sobre la banda, deberá montarse una, ya sea solidaria al piso de la garita de protección, ya lo sea a la carcasa del instrumento. La finalidad de la banda calibrada y la del citado índice es la de permitir al observador que compruebe fácilmente si el nivel de agua registrado corresponde con el del pocillo del flotador y poder, así mismo, cotéjarlo con el nivel que marca la escala limnimétrica, colocada independientemente. De este modo la banda y el índice proporcionan una verificación inmediata del correcto funcionamiento de los mecanismos del registrador, del sistema del flotador y del tubo comunicante de admisión o ranuras de entrada del agua al pocillo.

Totalizador de volumen

A menudo, uno de los objetivos de la medida de un caudal, es el de obtener información sobre el volumen de agua que pasa por un canal en un período dado. El cálculo de este volumen total, a partir del hidrograma registrado, es una tarea que lleva tiempo y que por ello, a menudo, se demora. Para evitar este trabajo, se pueden utilizar contadores totalizadores que existen en el comercio. Estos totalizadores pueden ser mecánicos, como el que aparece en la Figura 2.6, o electrónicos. Los de tipo mecánico deben ser convenientemente puestos a cero, por la dificultad de compensar los errores debidos a causas físicas. Los totalizadores electrónicos constan de los tres elementos siguientes: (1) uno cualquiera de los registradores descritos anteriormente, (2) un microordenador, que transforma el nivel de agua registrado en altura de carga referida al resalto, y calcula el gasto mediante la ecuación exponencial de Q con respecto a h_1 , para la obra de que se trate y, (3) un totalizador que da instrucciones al microordenador para que calcule Q a intervalos preestablecidos, multiplique el valor calculado de Q por el tiempo transcurrido desde la medición anterior y vaya sumando este volumen parcial al volumen total. Los valores finales del volumen pueden quedar registrados mediante una impresora o aparecer digitalizados en una pantalla.

Cuando se utilizan registradores que toman las alturas de carga de varias instalaciones de aforo sobre bandas de papel perforadas, la totalización del volumen puede centralizarse llevando los datos de las bandas a un sólo ordenador, normalmente de mayor capacidad.

Si se necesitan los caudales totales para mejorar la operatividad de un sistema de canales de riego, debe procurarse reducir al mínimo el intervalo de tiempo que transcurre entre el instante de medida y el momento en que se produce la información. Si el manejo de la red tiene por objeto el uso más eficiente del agua de riego, todos los niveles de agua registrados deberán transmitirse directamente a una sala de control, desde la que puedan ser accionados los oportunos partidores de agua.

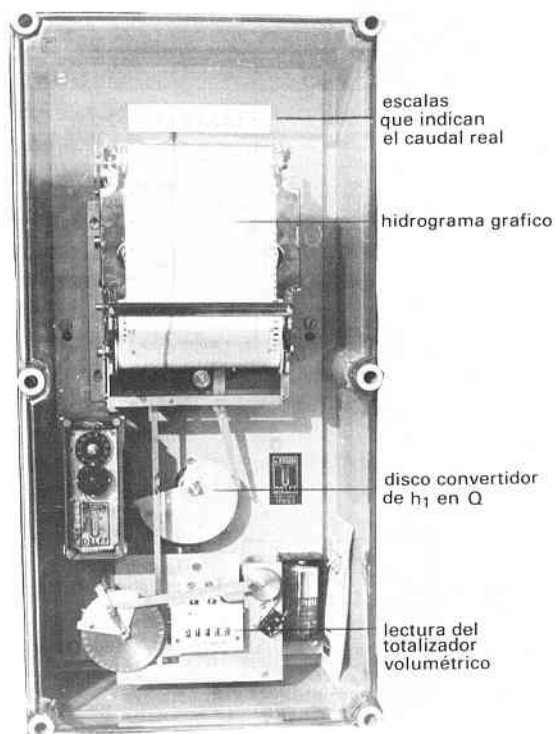


Figura 2.6 Los totalizadores de volumen fiables se encuentran en el mercado. (Por cortesía de Instrumentenfabriek van Essen, Delft, Países Bajos.)

2.4 Diametro del flotador

Si el nivel del agua en el pocillo remansador no se mueve, tampoco se moverá la polea del flotador y la fuerza de tracción, F , en la banda de suspensión, entre el flotador y la polea, es igual a la que existe entre la polea y el contrapeso. Cualquier variación del nivel del agua sólo puede registrarse si se produce un giro en la polea del flotador. Sin embargo, para que se produzca este giro, es preciso vencer una cierta resistencia inicial, que es debida a rozamientos internos del registrador y del eje, y que puede expresarse como un par resistente, T_r , sobre el eje de la polea del flotador (ver la Figura 2.7). Puesto que el contrapeso ejerce una fuerza de tracción permanente, F , sobre la banda del flotador, el par resistente solamente puede vencerse si la fuerza sobre dicha banda de suspensión, entre el flotador y la polea, varía en una pequeña cantidad, ΔF , de modo que sea

$$\Delta F r > T_r \quad (2.1)$$

en donde,

ΔF = variación de la fuerza de tracción sobre la banda, entre el flotador y la polea

r = radio de la polea del flotador

T_r = par resistente, debido al rozamiento del eje de la polea del flotador.

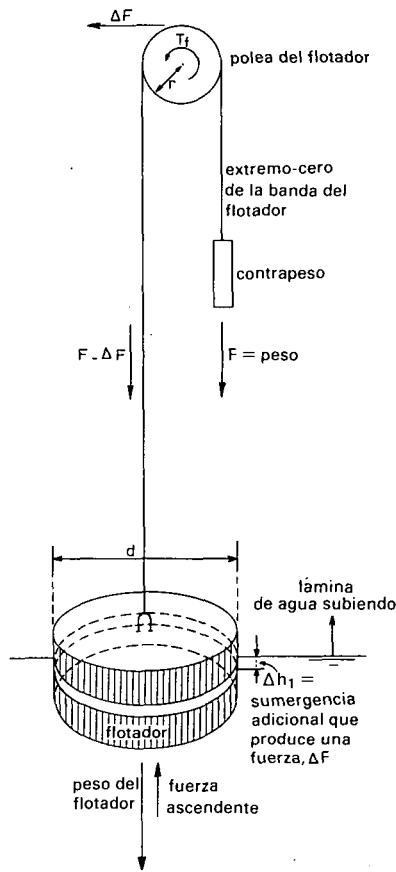


Figura 2.7 Fuerzas que actúan sobre la banda de suspensión de un flotador (Kraijenhoff van de Leur, 1972).

Cuando se produce, por ejemplo, una elevación continua del nivel del agua en el pocillo, se necesita una reducción de la fuerza de tracción, ΔF , lo cual sólo es posible si aumenta la fuerza ascendente que actúa sobre la parte sumergida del flotador. En consecuencia, el flotador deberá moverse con un cierto retraso, en relación con el nivel de agua que asciende, cifrado en una altura, Δh_1 , de manera que el volumen de la parte sumergida del flotador aumentará en

$$\Delta V = \frac{\pi}{4} d^2 \Delta h_1 \quad (2.2)$$

en donde d es igual al diámetro del flotador. Según el principio de Arquímedes, la fuerza ascendente crece en razón directa al peso del volumen de agua desalojado, y de aquí que

$$\Delta F = \frac{\pi}{4} d^2 \Delta h_1 \rho g \quad (2.3)$$

La sustitución de la Ecuación 2.3 en la 2.1 demuestra que los rozamientos del registrador y del eje producen un error de registro del nivel del agua de

$$\Delta h_1 > \frac{4T_f}{\rho g \pi d^2 r} \quad (2.4)$$

Este retardo del flotador produce un error sistemático, de modo que los niveles ascendentes siempre quedan registrados por defecto, y los descendentes, por exceso de sus verdaderos valores.

Tomando como dato básico el momento de fricción interna del registrador, T_f , este error sistemático sólo puede reducirse aumentando, ya sea el diámetro, d , del flotador, ya sea el radio, r , de la polea de la que pende. Si, por ejemplo, debido a un defectuoso mantenimiento del registrador, $T_f = 0,002 \text{ N m}$ (o $\text{kg m}^2/\text{s}^2$), para $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y $r = 0,05 \text{ m}$, un flotador de diámetro $0,03 \text{ m}$ causaría un retardo de flotación de

$$\Delta h_1 = \frac{4 \times 0,002}{1000 \times 9,81 \times \pi \times 0,03^2 \times 0,05} = 0,0058 \text{ m (ó } 5,8 \text{ mm)}$$

Con un flotador de mayor diámetro ($d = 0,30 \text{ m}$) el error sistemático se reduce a $\Delta h_1 = 0,06 \text{ mm}$, lo que demuestra claramente que no deben utilizarse flotadores de pequeño diámetro en los registradores instalados en los vertederos y aforadores. Los pequeños están concebidos para medir variaciones de nivel de aguas subterráneas en perforaciones de observación de escaso diámetro.

Los rozamientos internos varían considerablemente con el tipo de registrador, con su antigüedad, con su estado de conservación, etc. Normalmente, el fabricante recomienda, para cada modelo de registrador, el diámetro mínimo, más conveniente, del flotador. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el error debido al retardo del flotador es tanto mayor cuanto menor sea la altura de carga. Los flotadores de diámetro inferior a $0,15 \text{ m}$ no son recomendables.

La sumersión del contrapeso y el aumento de peso del cable, o de la banda de suspensión del flotador, a un lado de la polea (y la consiguiente reducción de peso en el otro lado) también producen una variación conocida de la fuerza de la banda en el flotador. Esta variación de la fuerza, ΔF , produce un error sistemático de registro, Δh_1 , que puede calcularse mediante la Ecuación 2.3, y reducirse aumentando el diámetro del flotador.

El lector puede advertir que los fenómenos que se acaban de describir producen un error sistemático, que se suma a la pérdida de carga de la toma, mencionada en el Apartado 1.2.8.

2.5 Pocillo de amortiguación

El pocillo remansador se utiliza con dos fines: (1) para facilitar el registro exacto de un nivel de agua o piezométrico, en un punto de aforo en el que la superficie del agua del canal está agitada por remolinos u oleaje, y/o (2), para albergar el flotador de un limnógrafo automático. En caso de registrar la altura del agua con un instrumento automático, deberá también instalarse una escala limnimétrica, para poder comparar el nivel del agua en el canal con la altura en el interior del pocillo, y poder así detectar

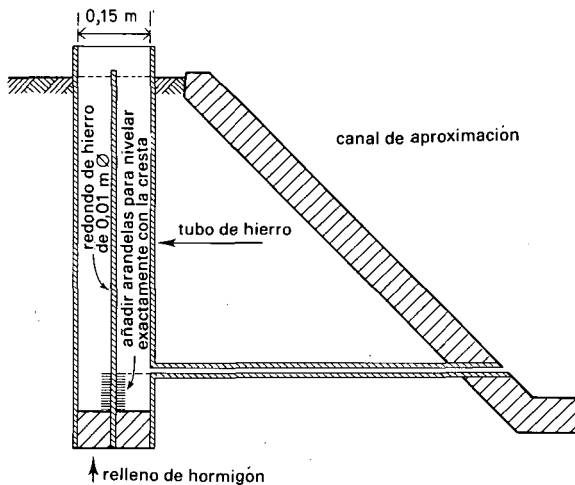


Figura 2.8 Ejemplo de pocillo de amortiguación con una varilla limnimétrica de inmersión (la varilla no aparece en la Figura).

las obturaciones del tubo que conecta el canal con este pocillo de amortiguación.

La dimensión de la sección transversal del pozo depende, principalmente, del método utilizado para medir la altura del agua. Podemos distinguir tres métodos fundamentales: varilla calibrada, escala limnimétrica y limnigrafo accionado por un flotador.

Varilla limnimétrica

Cuando el pozo se utiliza en combinación con una varilla graduada de inmersión, su dimensión interior deberá ser de 0,15 m, de modo que pueda introducirse la mano. El pocillo debe estar dotado, en su interior, de un punto de referencia, sobre el que se apoye la varilla-sonda y cuyo nivel deberá coincidir exactamente con el del de referencia del resalto del vertedero. Una sonda calibrada puede dar información muy exacta de la altura de carga (error de $\pm 0,001$ m). En la Figura 2.8 se expone un ejemplo de pocillo amortiguador para sonda graduada. La varilla puede estar hecha de un trozo de tubo de plástico o de aluminio, que se desliza alrededor de la barra fija que aparece en la Figura 5.5.

Escala limnimétrica

Si en el pocillo se ha de instalar una escala limnimétrica (como en la Figura 2.9), su longitud, medida desde enfrente de la escala, no deberá ser menor del doble de la profundidad hasta el nivel mínimo del agua. La anchura del pozo no deberá ser inferior a 0,20 m, a fin de dejar espacio suficiente para que la escala pueda ser fijada con tornillos a su pared (ver la Figura 2.10).

Flotador

Cuando el pozo haya de albergar al flotador de un limnógrafo, deberá ser de un tamaño suficiente para dejar holgura a dicho flotador en todas sus posiciones. Si el pozo es un tubo metálico, de cloruro de polivinilo (PVC), o de cemento, su diámetro deberá ser, 0,06 m mayor que el del flotador para evitar efectos capilares. En caso de que el pozo sea rectangular y esté construido de ladrillo, hormigón, madera u otros mate-

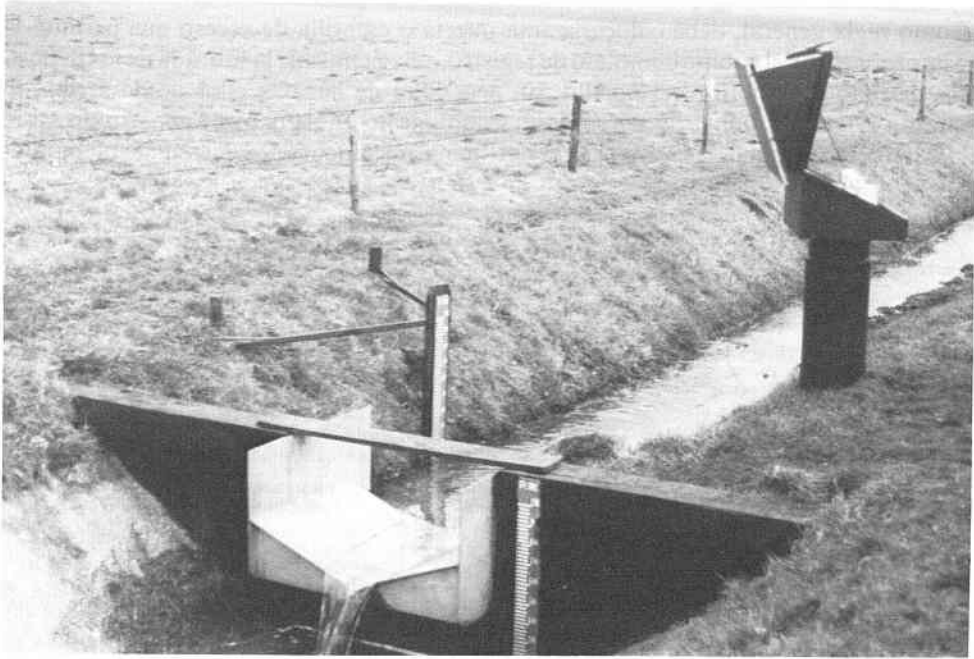


Figura 2.9 Limnógrafo y limnímetros para un vertedero en pared gruesa. (Por cortesía de la Universidad de Agricultura, Wageningen, Países Bajos.)

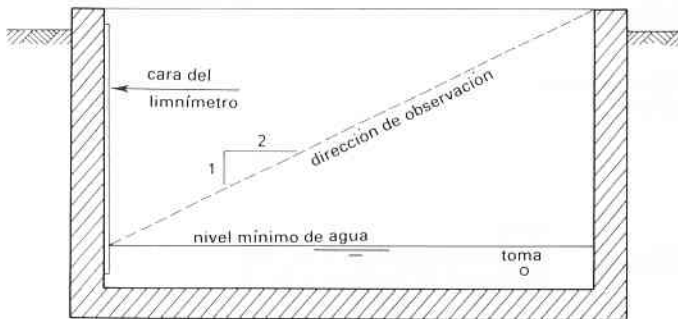


Figura 2.10 Pocillo de amortiguación para ser utilizado en combinación con un limnómetro.

riales similares, el flotador no deberá quedar a menos de 0,08 m de sus paredes. El fondo del pozo deberá situarse a cierta distancia, digamos a unos 0,15 m por debajo de la toma más baja, para evitar el peligro de que el flotador toque con él o con los sedimentos que hayan podido depositarse, ya que éstos podrían adherirse al flotador y desplazar el cero de la lectura. Estos limos deben retirarse periódicamente.

Construcción

Como regla general, debe colocarse una puerta o escotilla de acceso que permita la comprobación del equipo completo de registro, y haga posible la retirada de los depósitos de limo del interior del pocillo, sin necesidad de llegar a ellos desde arriba, lo que normalmente, obligaría a desmontar el limnógrafo. Si el pozo está construido sobre la banqueta del canal, la escotilla deberá situarse justamente por encima de tal banqueta-

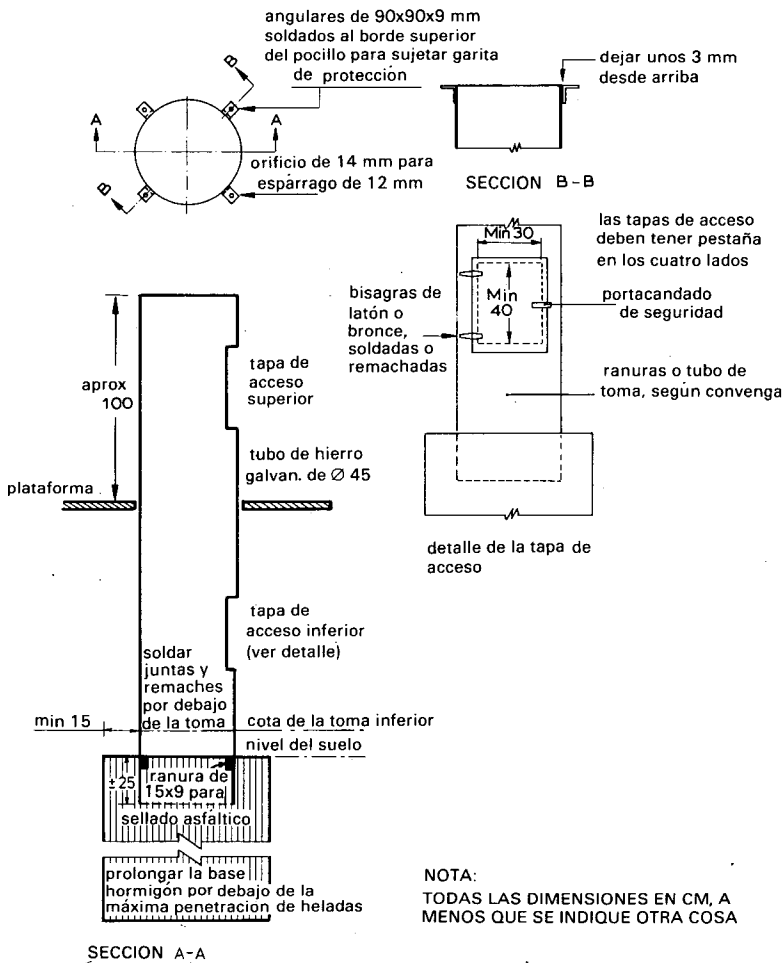


Figura 2.11 Ejemplo de pocillo remansador construido de acero (según Brakensick, Osborn y Rawls, 1979).

eta; en caso de que el pocillo se instale en el propio canal, la puerta deberá colocarse ligeramente por encima de la cota inferior del agua. Una segunda puerta de acceso permitirá ajustar la longitud de la banda de suspensión del flotador y cambiar los engranajes sin necesidad de desmontar el registrador. Para evitar problemas de corrosión las bisagras de estas puertas habrán de ser de un metal resistente a la oxidación, como puede ser el acero inoxidable, el latón o el bronce. Una solución más simple puede ser la de sujetar la escotilla con tuercas de mariposa que rosquen sobre pequeños espárragos fijados al pozo (Figura 2.11).

El nivel de los cimientos, tanto los de la obra de aforo como los del pocillo remansador, deberán quedar bastante por debajo de la máxima profundidad previsible de penetración de las heladas, y suficientemente por debajo del lecho del canal o del cauce como para conferirles estabilidad y eliminar socavaciones. Asimismo, para evitar que en el pocillo tranquilizador penetren aguas freáticas y para facilitar la puesta a cero del registrador, deberá cuidarse su impermeabilización, sellando con algún producto asfáltico la junta interior del tubo en su encuentro con el cimientado de hormigón. Puesto que el fin primordial del pocillo remansador es el de eliminar o reducir los efectos de los remolinos y del oleaje del canal, la sección de la toma deberá ser pequeña. Por otra parte, la pérdida de carga en la toma, durante la variación de caudal máxima estimada, debe estar limitada a 0,005 m. Esta pérdida de carga produce un error sistemático: cuando el nivel del agua asciende, siempre queda registrado por defecto, y cuando desciende, se le registra por exceso (ver también el Apartado 1.2.6). Como norma general para la instalación de tomas del pozo tranquilizador y determinar su número, el área de su sección transversal total debe ser, aproximadamente, el 1% del área de la sección horizontal interna del pozo.

El tubo, o la ranura de toma, debe tener su abertura sobre el canal, al menos 0,05 m por debajo del nivel mínimo a medir y debe acabar sin sobresalir de la pared del canal de aproximación y ser perpendicular a ella. Si no termina perpendicularmente a la dirección de la corriente, puede producirse un error sistemático en la medida de la altura de carga. La magnitud de este error puede aproximarse a $v^2/2g$, en donde v es la velocidad del agua a lo largo de la pared del canal. El signo, positivo o negativo, de este error se muestra en la Figura 2.12. La zona alrededor de la tubería o de la ranura de toma debe acabarse con todo esmero, con cemento u otro material equivalente, en una distancia de 10 veces superior al diámetro del citado tubo o de la anchura de la ranura. Aun cuando las necesidades mínimas se cubren con un sólo tubo o ranura, en las instalaciones de campo es aconsejable instalar, por lo menos, dos, a diferentes alturas, para evitar la pérdida de datos importantes, en el caso de que una de las tomas se obturase.

En la mayoría de los pocillos remansadores, los tubos de alimentación exigen limpiezas periódicas, especialmente en los ríos que transportan sedimentos. Las instalaciones fijas deben equiparse con un depósito de lavado, tal como aparece en la Figura 2.13.

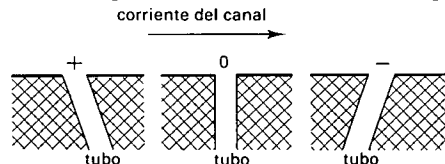


Figura 2.12 Signo del error sistemático de medida de la altura de carga, debido a la falta de perpendicularidad del tubo de alimentación.

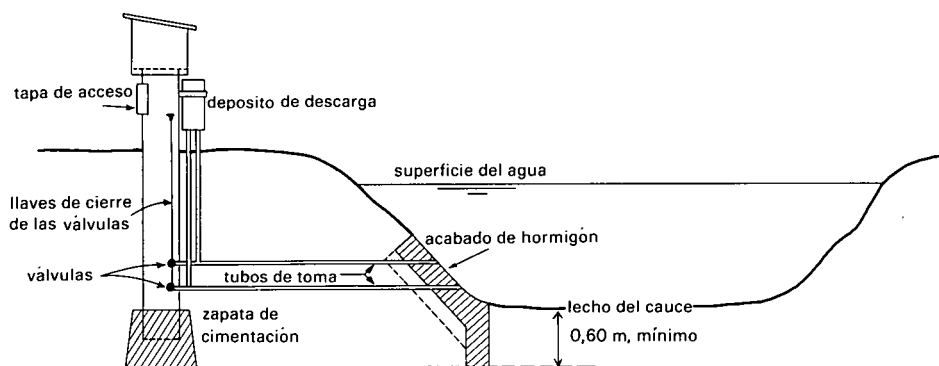


Figura 2.13 Ejemplo de un sistema de tubos de alimentación del pocillo remansador con depósito de descarga.

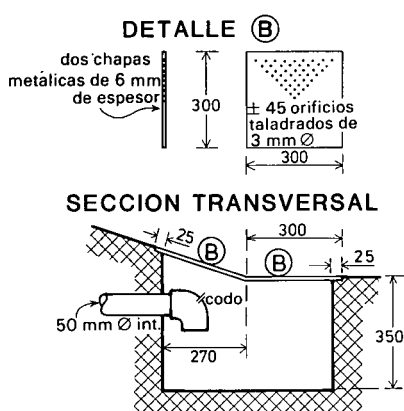


Figura 2.14 Detalles de la arqueta del tubo de toma (dimensiones en milímetros) (según Replogle, Reikerk y Swindel, 1978).

El depósito se llena con una bomba de mano o con un cubo y al abrir súbitamente una válvula de salida, el agua descarga con fuerza por el tubo de alimentación y arrastra los sedimentos depositados en él. En tubos muy obturados y en obras temporales o semitemporales, en general, un buen procedimiento de limpieza consiste en utilizar una escobilla con mango largo o un desatascador flexible.

Un método para retrasar las limpiezas es el de construir un foso espacioso, de unos $0,1 \text{ m}^3$, en el fondo del canal de aproximación, en la zona de medida de la carga. El tubo de alimentación del pocillo remansador pasa a este foso y en su extremo se le coloca un codo vuelto hacia abajo, de manera que los sedimentos no puedan caer en él directamente. Para que el tubo de alimentación llegue a colmarse, habrá de llenarse antes el foso de sedimentos. Este foso deberá ir cubierto con una chapa de hierro, enrasada con la solera del canal. Teniendo en cuenta el probable aumento de retención de los arrastres de fondo por las ranuras transversales en esta placa y la baja calidad de medida de la presión que se obtiene con ranuras paralelas, es aconsejable realizar un conjunto de orificios de 3 mm de diámetro, taladrados en una plancha de 6 mm (ver la Figura 2.14). Con el empleo de estos orificios, en el laboratorio no