
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION
ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE
ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL
ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية
世界气象组织

Reglamento Técnico

VOLUMEN III

Hidrología

OMM-Nº 49



ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL

REGLAMENTO TÉCNICO

VOLUMEN III

Hidrología

Edición de 2006



Documentos Básicos N° 2

OMM-N° 49

Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial – Ginebra – Suiza
2006

Los derechos de propiedad intelectual de este documento electrónico y su contenido pertenecen a la OMM. Cualquier modificación, copia, distribución o publicación en formato electrónico sin el previo permiso escrito de la OMM está estrictamente prohibida.

© 2006, Organización Meteorológica Mundial

ISBN 92-63-35049-3

N O T A

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

REGISTRO DE SUPLEMENTOS RECIBIDOS

<i>Suplemento N°</i>	<i>Fecha</i>	<i>Insertado en la publicación</i>	
		<i>por</i>	<i>fecha</i>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

NOTA DEL EDITOR

Se ha adoptado la siguiente disposición tipográfica:

Las prácticas y procedimientos *normalizados* figuran impresos en letra redonda seminegrita.

Las prácticas y procedimientos *recomendados* figuran impresos en letra redonda sencilla. (Las *definiciones* figuran en caracteres más grandes.)

Las *notas* han sido impresas en caracteres más pequeños, en letra redonda sencilla, y van precedidas de la indicación: NOTA.

INTRODUCCIÓN

1 El *Reglamento Técnico* de la OMM (OMM-N° 49) se presenta en tres volúmenes:

Volumen I – *Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas*

Volumen II – *Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional*

Volumen III – *Hidrología*.

Finalidad del Reglamento Técnico

2. El Reglamento Técnico de la Organización Meteorológica Mundial ha sido establecido por el Congreso, de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 8 *d)* del Convenio.

3. Los objetivos del presente Reglamento son:

- a) facilitar la cooperación entre los Miembros en materia de meteorología e hidrología;
- b) satisfacer, de la forma más eficaz posible y en el plano internacional, las necesidades específicas en los diversos campos de aplicación de la meteorología y de la hidrología; y
- c) asegurar, en forma adecuada, la uniformidad y la normalización de las prácticas y los procedimientos empleados para alcanzar los objetivos *a)* y *b)*.

Clases de reglas y notas

4. El Reglamento Técnico comprende prácticas y procedimientos *normalizados* y prácticas y procedimientos *recomendados*.

5. Estas dos clases de reglas se definen de la forma siguiente:

Las prácticas y procedimientos *normalizados*:

- a) son las prácticas y procedimientos que es *necesario* que los Miembros sigan o apliquen y, por consiguiente:
- b) tienen el mismo valor jurídico que una resolución técnica con respecto a la cual es aplicable el Artículo 9 *b)* del Convenio;
- c) se distinguirán invariablemente por el uso del término *shall* en la versión inglesa y de las formas verbales equivalentes en las versiones árabe, china, española, francesa y rusa.

Las prácticas y procedimientos recomendados:

- a) son las prácticas y procedimientos que es *deseable* que los Miembros sigan o apliquen y, por consiguiente:
- b) tienen el mismo valor jurídico que las recomendaciones a los Miembros, a las cuales no es aplicable el Artículo 9 *b)* del Convenio;
- c) se distinguirán por el empleo del término *should* en la versión inglesa y de las formas verbales equivalentes en las versiones árabe, china, española, francesa y rusa, excepto cuando el Congreso haya tomado una decisión específica en contra.

6. De acuerdo con lo anterior, los Miembros deberán hacer lo posible para aplicar las prácticas y procedimientos normalizados. De conformidad con lo dispuesto en el Artículo 9 *b)* del Convenio y en la Regla 127 del Reglamento General de la OMM los Miembros notificarán expresamente por escrito al Secretario General su intención de aplicar las prácticas y procedimientos *normalizados* del Reglamento Técnico, con excepción de aquellos respecto a los cuales hayan indicado derogaciones particulares. Los Miembros informarán igualmente al Secretario General, con anticipación de tres meses por lo menos, de cualquier cambio efectuado en el grado de aplicación de una *práctica o procedimiento normalizado* anunciado anteriormente y de la fecha en que entre en vigor dicho cambio.

7. Las prácticas y procedimientos *recomendados* se insiste en que deben ser cumplidos por los Miembros, pero éstos no deben notificar necesariamente al Secretario General la inobservancia de los mismos, excepto cuando se trate de los incluidos en la subsección C.3.1.

8. Con objeto de que resulte más claro el valor jurídico de las distintas reglas, las prácticas y procedimientos normalizados se distinguen de las prácticas y procedimientos recomendados por una composición tipográfica diferente como se indica en la nota del editor.

9. Se han intercalado algunas Notas (precedidas por la indicación NOTA) en el Reglamento Técnico. Se trata de notas explicativas que generalmente hacen referencia a las publicaciones pertinentes de la OMM, tales como las guías y otras publicaciones de carácter consultivo. Estas notas no tienen el valor jurídico de las disposiciones del Reglamento Técnico. (Las guías de la

OMM describen las prácticas, procedimientos y especificaciones que se invita a seguir a los Miembros al establecer y llevar a cabo sus actividades de acuerdo con el Reglamento Técnico, o al desarrollar los servicios meteorológicos e hidrológicos en sus respectivos países.)

Estatuto de los anexos y de los apéndices

10. Los textos que tienen el mismo valor jurídico que el Reglamento Técnico pero figuran en publicaciones de la OMM distintas del Reglamento Técnico (Volumen I, II y III) propiamente dicho, se denominan *anexos*. Estos anexos, que suelen denominarse *manuales*, se establecen en virtud de las decisiones del Congreso y tienen por finalidad facilitar la aplicación del Reglamento Técnico con fines específicos. En principio, los anexos pueden contener prácticas y procedimientos normalizados y recomendados.

11. Los textos llamados apéndices, que figuran en el Reglamento Técnico o en un anexo a éste, tienen el mismo valor jurídico que las disposiciones del Reglamento Técnico a que se refieren.

Actualización del Reglamento Técnico y sus anexos

12. El Reglamento Técnico se actualiza, cuando es preciso, teniendo en cuenta los progresos realizados en meteorología y en hidrología, y en las aplicaciones de estas ciencias así como los perfeccionamientos de las técnicas meteorológicas e hidrológicas. Se reproducen a continuación ciertos principios que han sido aprobados por Congresos anteriores y que se han aplicado en la selección de los textos incluidos en el Reglamento Técnico. Estos principios servirán como normas de actuación para los órganos integrantes, especialmente para las comisiones técnicas cuando traten de cuestiones relacionadas con el Reglamento Técnico:

- a) las comisiones técnicas no deberán recomendar que una regla se considere normalizada, a menos que así lo apoye una gran mayoría;
- b) los párrafos del Reglamento Técnico deben contener instrucciones adecuadas para los Miembros con respecto a la ejecución de la disposición de que se trate;
- c) no se deben hacer cambios importantes en el Reglamento Técnico sin obtener el asesoramiento especial de las correspondientes comisiones técnicas;
- d) todas las propuestas de enmiendas al Reglamento

Técnico presentadas por los Miembros o por los órganos integrantes deberán comunicarse a todos los Miembros al menos tres meses antes de presentarlas al Congreso.

13. Como norma general, las enmiendas al Reglamento Técnico son aprobadas por el Congreso.

14. Cuando una reunión de la comisión técnica apropiada recomiende una enmienda, si es necesario que la nueva disposición del Reglamento Técnico se aplique antes de la celebración del próximo Congreso, el Consejo Ejecutivo podrá aprobarla, en nombre de la Organización, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 14 c) del Convenio. Las enmiendas a los anexos al Reglamento Técnico propuestas por las comisiones técnicas apropiadas son normalmente aprobadas por el Consejo Ejecutivo.

15. Cuando la comisión técnica apropiada recomiende una enmienda y sea urgente la aplicación de la nueva disposición del Reglamento Técnico, el Presidente de la Organización podrá tomar disposiciones, en nombre del Consejo Ejecutivo, de acuerdo con lo dispuesto en la Regla 9 5) del Reglamento General.

16. En cuanto a la inclusión de los textos actualizados en la Publicación N° 49 de la OMM, habitualmente se publican nuevas ediciones de los Volúmenes I y III después de cada reunión del Congreso (es decir cada cuatro años). La Organización Meteorológica Mundial y la Organización de Aviación Civil Internacional preparan el contenido del Volumen II, trabajando en estrecha cooperación, de conformidad con los arreglos de trabajo concertados por ambas organizaciones; esto se aplica también a la publicación de nuevas ediciones del Volumen II. Durante el período que transcurre entre la publicación de dos ediciones sucesivas, el Reglamento Técnico se mantiene al día mediante suplementos, según las necesidades.

Reglamento Técnico de Hidrología

17. En el Volumen III del Reglamento Técnico se exponen las prácticas y procedimientos recomendados en materia de hidrología. Algunas de las reglas contenidas en el Volumen I son aplicables a la hidrología. En tales casos, se han reproducido los textos correspondientes en el presente volumen.

18. Este volumen incluye un anexo titulado – Instrumentos y métodos de observación hidrológicos.

Índice

	<i>Página</i>
Finalidad del Reglamento Técnico	v
Clases de reglas y notas	v
Estatuto de los anexos y de los apéndices.	vi
Actualización del Reglamento Técnico y sus anexos	vi
Reglamento Técnico de Hidrología.	vi
D.1 INFORMACIÓN Y ALERTAS HIDROLÓGICAS	D.1.1-1
D.1.1 Capítulo D.1.1 – Redes y estaciones hidrológicas de observación	D.1.1-1
Clasificación de las estaciones hidrológicas de observación	D.1.1-1
Redes de estaciones hidrológicas de observación	D.1.1-1
Emplazamiento de las estaciones hidrológicas de observación	D.1.1-2
Identificación de las estaciones hidrológicas de observación.	D.1.1-2
Información referente a las estaciones hidrológicas de observación	D.1.1-2
Inspección de las estaciones hidrológicas de observación.	D.1.1-3
Sistema de observación hidrológica	D.1.1-3
Funciones y responsabilidades de los Servicios Hidrológicos Nacionales	D.1.1-4
D.1.2 Capítulo D.1.2 – Observaciones hidrológicas.	D.1.2-1
Elementos que hay que observar.	D.1.2-1
Programa de observación y transmisión para las estaciones hidrológicas de observación	D.1.2-1
Equipos y métodos de observación	D.1.2-2
Cada Miembro debería reunir y conservar sus registros hidrológicos	D.1.2-4
Procedimientos de seguridad	D.1.2-5
D.1.3 Capítulo D.1.3 – Avisos y predicciones hidrológicas	D.1.3-1
Generalidades	D.1.3-1
Organización del servicio	D.1.3-1
Programa de predicciones y avisos	D.1.3-1
Crecidas repentinas y mareas de tempestad	D.1.3-3
Inundaciones por insuficiencia del sistema de drenaje	D.1.3-3
Rotura de presas	D.1.3-3
Estuarios y zonas litorales	D.1.3-3
Predicciones de caudales de estiaje.	D.1.3-3
D.1.4 Capítulo D.1.4 – Transmisión de datos hidrológicos	D.1.4-1
Generalidades	D.1.4-1
Sistema y plan de transmisión de datos.	D.1.4-1
Organización de la transmisión de datos.	D.1.4-1
D.1.5 Capítulo D.1.5 – Seguimiento y evaluación de la calidad del agua.	D.1.5-1
Generalidades	D.1.5-1
Programa de control	D.1.5-1

	Objetivos del control	D.1.5-1
	Diseño de la red	D.1.5-1
	Parámetros de la calidad del agua	D.1.5-1
	Recolección de muestras de agua	D.1.5-1
	Seguridad sobre el terreno	D.1.5-2
D.2	SERVICIOS METEOROLÓGICOS PARA LA HIDROLOGÍA	D.2-1
	Generalidades	D.2-1
	Observaciones meteorológicas para fines hidrológicos	D.2-1
	Predicciones y avisos meteorológicos para fines hidrológicos	D.2-2
	Publicación y difusión de datos climatológicos para fines hidrológicos	D.2-2
	Estadísticas climatológicas.	D.2-3
	Publicación y difusión de datos climatológicos para fines hidrológicos	D.2-4
D.3	BIBLIOGRAFÍA Y PUBLICACIONES HIDROLÓGICAS	D.3-1
Apéndice –	Clasificación decimal universal de hidrología	D.3-3
A n e x o –	Instrumentos y métodos de observación hidrológicos	D.3-11
	Definiciones	III.An.-3
	I - Calibración de molinetes en tanques rectilíneos abiertos	III.An.-9
	II – Dispositivos de medición del nivel del agua.	III.An.-13
	III – Equipo de sondeo y suspensión directos	III.An.-19
	IV – Molinetes de elementos giratorios	III.An.-23
	V – Vertederos precalibrados para la determinación del caudal.	III.An.-25
	VI - Establecimiento y explotación de una estación hidrométrica	III.An.-27
	VII – Determinación de la relación nivel-caudal.	III.An.-41
	VIII – Estimación de la incertidumbre de las mediciones del caudal	III.An.-45
	IX - Utilización de canales aforadores para la medición del caudal de la corriente.	III.An.-49
	X - Métodos de dilución para la medición del caudal de la corriente	III.An.-53
	X-1 - Ámbito y campo de aplicación	III.An.-53
	XI - Ecosondas para la medición de la profundidad del agua.	III.An.-55
	XII - Medición del caudal por el método del bote móvil	III.An.-57
	XIII - Seguimiento y evaluación de la calidad del agua	III.An.-59

DEFINICIONES

Nota preliminar: Los siguientes términos se emplean en el Volumen III del Reglamento Técnico con los significados que se dan a continuación. Algunos de estos términos ya han sido definidos en el Volumen I o en el *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM–Nº 544) que constituye el Anexo V al Reglamento Técnico de la OMM, pero para comodidad del lector se ha estimado oportuno reproducirlos en este volumen. Estos últimos términos han sido identificados por medio de un asterisco.

Actualización de la predicción. Ajuste de las predicciones de acontecimientos, a medida que se dispone de nueva información.

Acuífero. Formación porosa capaz de almacenar y transmitir cantidades explotables de agua.

Advertencia hidrológica. Información sobre un fenómeno hidrológico que se considera potencialmente peligroso.

***Altitud.** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y el nivel medio del mar.

***Altura.** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y una referencia especificada.

Aviso hidrológico. Información de emergencia sobre un fenómeno hidrológico previsto que se considera peligroso.

Balance hidrológico. Evaluación de la cantidad de agua que se hace fundándose en el principio de que, durante cierto intervalo de tiempo, el aumento total de agua en determinada zona de captación o masa de agua ha de ser igual a la pérdida de agua más el cambio total de volumen del agua embalsada en la cuenca de captación.

Capa de nieve. Nieve acumulada sobre el terreno.

Caudal. Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal en una unidad de tiempo.

Caudal afluente lateral. Caudal de agua que afluye a un río, lago o embalse a lo largo de cualquier tramo de la parte de la cuenca adyacente a ese tramo.

Crecida repentina. Crecida de breve duración con un caudal de punta relativamente alto, en la que el intervalo

entre el acontecimiento causante observable y la inundación es inferior a un período de cuatro a seis horas.

Cuenca de captación. Toda el área que tenga una salida común para su escorrentía superficial.

Curva de caudales. Curva que muestra la relación existente entre el nivel y la descarga de una corriente en una estación hidrométrica.

Equivalente en agua de la capa de nieve. Profundidad vertical de la capa de agua que se obtendría fundiendo la capa de nieve.

***Estación automática.** Estación en la que los instrumentos efectúan y transmiten o registran automáticamente las observaciones, realizando, en caso necesario, directamente la conversión a la clave correspondiente o bien realizándose esa conversión en una estación transcritora.

***Estación climatológica.** Estación que facilita datos climatológicos.

***Estación climatológica de referencia.** Estación climatológica cuyos datos están destinados a determinar las tendencias climáticas. Esto requiere largos períodos (de 30 años como mínimo) de registros homogéneos, allí donde las modificaciones del medio ambiente debidas a las actividades humanas no han sido y/o se espera sigan siendo mínimas. El registro debe tener, idealmente, la amplitud suficiente para permitir la identificación de los cambios seculares del clima.

***Estación climatológica ordinaria.** Estación climatológica en la que, por lo menos, se efectúan observaciones una vez al día, incluidos los máximos y mínimos diarios de la temperatura y las cantidades diarias de precipitación.

***Estación climatológica para fines especiales.** Estación climatológica instalada para observar uno o varios elementos determinados.

Estación climatológica para fines hidrológicos. Una estación establecida en una cuenca de desagüe especialmente para aumentar la red climatológica existente, con el fin de satisfacer las necesidades hidrológicas.

***Estación climatológica principal.** Estación climatológica en la que se hacen lecturas horarias, u observaciones por lo menos tres veces al día, además de las lecturas horarias efectuadas según datos registrados automáticamente.

Estación de aguas subterráneas. Estación en la cual se obtienen datos de aguas subterráneas de uno o varios de los

siguientes elementos: nivel del agua, temperatura del agua y otras propiedades físicas y químicas del agua y velocidad y

volumen de extracción y/o alimentación.

Estación de observación hidrológica. Un lugar donde se efectúan observaciones hidrológicas o climatológicas para fines hidrológicos.

Estación hidrológica para fines especiales. Estación hidrológica establecida para la observación de uno o varios elementos específicos, necesarios para la investigación de los fenómenos hidrológicos.

Estación hidrométrica. Estación en la cual se obtienen datos del agua, en los ríos, lagos y embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos, temperatura del agua y otras propiedades físicas del agua, características de la capa de hielo y propiedades químicas del agua.

Estación hidrométrica principal. Estación en la cual se observan, durante numerosos años, uno o un cierto número de elementos, teniendo en cuenta la importancia de los mismos en relación con el medio ambiente físico. Habitualmente este tipo de estación está dotado de aparatos registradores.

Estación hidrométrica secundaria. Estación hidrométrica establecida únicamente para que funcione durante un número limitado de años con el fin de complementar la red básica de estaciones hidrométricas principales.

***Estación para la observación de precipitaciones.** Estación en la que sólo se efectúa la observación de precipitaciones.

Estuario. La parte generalmente ancha de un río cerca de su desembocadura, con respecto a la cual los niveles aguas arriba son función del caudal procedente de la zona aguas arriba y los niveles aguas abajo son función de las mareas y los aumentos de nivel del cuerpo de agua al que afluye la corriente.

Flujo fluvial. El volumen de agua que fluye por un canal abierto.

Hidrograma. Gráfico que muestra la variación con respecto al tiempo del nivel del agua, del caudal o de la velocidad u otras características hidrológicas.

Inundación del sistema de drenaje. Inundación resultante del estancamiento del agua de lluvia en el lugar en que cae o cerca de él debido a que la rapidez de su caída es superior a la de su transporte por el sistema de drenaje (natural o artificial).

Marea de tempestad. La diferencia entre el verdadero nivel de agua bajo la influencia de una perturbación meteorológica y el nivel que hubiera registrado en caso de no haber habido participación meteorológica alguna.

Nivel de alarma. Nivel del agua, equivalente al nivel de crecida o que se aproxima a éste, considerado peligroso y que señala el momento en que deben iniciarse los avisos.

Nivel del agua. Distancia vertical de la superficie del agua de una corriente, lago, o embalse con relación a una cota determinada.

Nivel del agua subterránea. Altura en un lugar y momento determinados de la superficie freática o piezométrica de un acuífero.

Nivel de referencia. Distancia vertical del cero de una escala con relación a una cota determinada.

Observación hidrológica. Medición directa o evaluación de uno o varios elementos hidrológicos, tales como el nivel del agua, el caudal, la temperatura del agua, etc.

***Observación meteorológica (observación).** Evaluación o medida de uno o más elementos meteorológicos.

Plazo o período de predicción (aviso). Intervalo de tiempo entre la emisión de una predicción (aviso) y la ocurrencia prevista del elemento objeto de la predicción.

Precisión de la observación o de la lectura. La más pequeña unidad de división de una escala de medición que sea posible apreciar, bien directamente o por estimación.

Predicción de abastecimiento de agua. Exposición del volumen de agua disponible previsto (con la distribución temporal y las probabilidades asociadas, cuando sea posible) durante un período determinado y en una zona determinada.

Predicción del hielo. Exposición de los fenómenos de hielo previstos durante un período determinado y en una localidad determinada.

Predicción hidrológica. Especificación de las condiciones hidrológicas previstas para un período y lugar específicos.

Predicción hidrológica a corto plazo. Predicción del valor futuro de un elemento del régimen de un cuerpo de agua para un período que finalice antes de dos días después de realizada la predicción.

Predicción hidrológica a largo plazo. Predicción del valor futuro de un elemento del régimen de un cuerpo de agua para un período que se extienda más allá de los 10 días después de realizada la predicción.

Predicción hidrológica a plazo medio. Predicción del valor futuro de un elemento del régimen de un cuerpo de agua para un período que finalice entre dos y 10 días después de realizada la predicción.

Predicción hidrológica estacional. Predicción del valor futuro de un elemento del régimen de un cuerpo de agua para una estación (que cubre generalmente un período de varios meses o más).

Predicción meteorológica (predicción). Informe sobre las condiciones meteorológicas previstas durante un tiempo o período y para un área o porción de espacio aéreo determinados.

Profundidad de la nieve. Distancia vertical entre la superficie de la capa de nieve y el terreno. Se supone que la capa se extiende de manera uniforme sobre el terreno que cubre.

Recorrido diario del viento. La distancia representada por la integración de la velocidad del viento durante 24 horas medida en el punto de observación.

Río grande. Río cuyo caudal medio anual en la desembocadura es superior a 2 000 m³/s o cuya cuenca de captación excede los 500 000 km².

Río mayor. Río cuyo caudal medio anual en la desembocadura es superior a 100 m³/s o cuya cuenca de captación excede los 100 000 km².

Ruta nivométrica. Línea marcada con carácter permanente, a lo largo de la cual se toman muestras de nieve o se mide la profundidad de la capa de nieve en ocasiones adecuadas, en estaciones separadas por distancias determinadas.

Sequía hidrológica. Un período de tiempo anormalmente seco, lo bastante prolongado para dar lugar a una escasez de agua, que se refleja en niveles de los escurrimientos y los lagos inferiores a lo normal y/o en la disminución de la humedad del suelo y el descenso de los niveles del agua subterránea.

Verificación de predicciones. Determinación de las predicciones mediante el análisis estadístico de los errores de predicción.

Zona inundada. Zona cubierta por el agua cuando el flujo de la corriente supera la capacidad de transporte del canal o a consecuencia del taponamiento del canal aguas abajo.

SECCIÓN D

HIDROLOGÍA

D.1 – INFORMACIÓN Y ALERTAS HIDROLÓGICAS

Capítulo D.1.1 — Redes y estaciones hidrológicas de observación

Capítulo D.1.2 — Observaciones hidrológicas

Capítulo D.1.3 — Avisos y predicciones hidrológicos

Capítulo D.1.4 — Transmisión de datos hidrológicos

Capítulo D.1.5 — Seguimiento y evaluación de la calidad del agua

D.2 — SERVICIOS METEOROLÓGICOS PARA LA HIDROLOGÍA

D.3 — BIBLIOGRAFÍA Y PUBLICACIONES HIDROLÓGICAS

D.1 — INFORMACIÓN Y ALERTAS HIDROLÓGICAS

CAPÍTULO D.1.1 REDES Y ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE OBSERVACIÓN

[D.1.1.] 1

Clasificación de las estaciones hidrológicas de observación

[D.1.1.] 1.1

Las estaciones hidrológicas de observación deberían clasificarse en:

- a) estaciones hidrométricas;
- b) estaciones de aguas subterráneas;
- c) estaciones climatológicas y estaciones pluviométricas para fines hidrológicos;
- d) estaciones hidrológicas para fines especiales.

NOTA: Cualquier estación puede pertenecer a más de una de las categorías mencionadas.

[D.1.1.] 1.2

Las estaciones climatológicas para fines hidrológicos se deberían clasificar como sigue:

- a) estación climatológica de referencia;
- b) estación climatológica principal;
- c) estación climatológica ordinaria;
- d) estación climatológica para fines específicos;

NOTAS:

- a) Las definiciones de las estaciones anteriormente enumeradas figuran en el Apéndice del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544), en la entrada "Estación climatológica".
- b) Una estación cualquiera puede pertenecer a más de una de las categorías indicadas.

[D.1.1.] 1.3

Las estaciones hidrológicas para fines especiales deberían comprender las estaciones cuyos datos se necesitan o utilizan para uno de los siguientes u otros fines:

- a) determinación del balance hidrológico de las cuencas, lagos, embalses y glaciares;
- b) medida de las olas y corrientes de los lagos y embalses;

- c) medida de la evaporación y evapotranspiración;
- d) medida de la humedad del suelo;
- e) determinación de las propiedades físicas y químicas del agua.

NOTA: Cualquier estación hidrológica para fines especiales puede servir para más de uno de los fines mencionados.

[D.1.1.] 2

Redes de estaciones hidrológicas de observación

NOTA: En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-N° 168) figuran instrucciones detalladas sobre la planificación de redes, incluida la densidad.

[D.1.1.] 2.1

Cada Miembro debería establecer en su territorio una red de estaciones hidrológicas de observación.

NOTA: El diseño de las redes hidrométricas se puede basar en el concepto de estaciones principales y estaciones secundarias.

[D.1.1.] 2.2

La densidad de la red de estaciones hidrológicas de observación debería ser la adecuada para permitir la evaluación con una exactitud que corresponda a este propósito, de los elementos del ciclo hidrológico y de otras características hidrológicas de la región de que se trate.

[D.1.1.] 2.3

Al planificar redes de estaciones hidrológicas de observación, deberían tomarse en cuenta las necesidades de estudios o programas mundiales o regionales. A este respecto, deberían aforarse todos los ríos con caudales medios anuales en la desembocadura superiores a 100 m³/s o en las cuencas de captación a los 100 000 km².

[D.1.1.] 2.4

Las redes de estaciones hidrológicas de observación para las cuencas de captación internacionales deberían tomar

en consideración las necesidades de los diversos Miembros interesados.

[D.1.1.] 2.5

En determinadas estaciones climatológicas deberían llevarse a cabo, para fines hidrológicos, observaciones de la profundidad de la nieve y del equivalente en agua de la capa de nieve.

[D.1.1.] 3

Emplazamiento de las estaciones hidrológicas de observación

[D.1.1.] 3.1

Cada estación debería estar emplazada en un lugar adecuado que permita la exposición y el funcionamiento correctos de los instrumentos y la satisfactoria realización de las observaciones tanto instrumentales como no instrumentales.

[D.1.1.] 3.2

Cada estación hidrométrica y estación de observación de las aguas subterráneas debería estar emplazada en un sitio y en condiciones tales que permitan el funcionamiento ininterrumpido de la estación por lo menos durante 10 años, a menos que los fines específicos de la misma justifiquen su funcionamiento durante un período de tiempo más corto.

[D.1.1.] 3.3

Las estaciones climatológicas para fines hidrológicos deberían estar situadas de acuerdo con las indicaciones que figuran en los párrafos 2.8.5, 2.8.6 y 2.8.7 de la Parte III del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM–N° 544).

NOTA: para mayor comodidad, se reproducen los párrafos 2.8.5, 2.8.6 y 2.8.7 de la Parte III del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación**.

*2.8 Estaciones climatológicas

2.8.5 Las estaciones climatológicas deberían estar situadas en un lugar y en unas condiciones que garanticen su funcionamiento continuo durante 10 años como mínimo, y la invariabilidad de la exposición durante un largo período, a menos que se destinen a fines especiales que justifiquen un funcionamiento de menor duración.

2.8.6 Las estaciones climatológicas de referencia deberían estar situadas de manera que garanticen una exposición adecuada e invariable, para que las observaciones se puedan hacer en condiciones representativas. Los alrededores de la estación no deberían cambiar con el tiempo tanto como para afectar a la homogeneidad de las series de observaciones.

2.8.7 La altitud de cualquier estación climatológica debería especificarse con una aproximación de cinco metros, excepto la de las estaciones que tengan barómetro, que debería especificarse con una aproximación de un metro.

[D.1.1.] 3.4

Cada estación hidrológica para fines especiales debería estar situada en un lugar y en unas condiciones que permitan su correcto funcionamiento durante el período de tiempo requerido.

[D.1.1.] 4

Identificación de las estaciones hidrológicas de observación

Las estaciones hidrológicas de observación deberían identificarse por su nombre y las coordenadas geográficas correspondientes y, cuando sea posible, por el nombre del río, lago, embalse o acuífero sobre o en el cual se hallen situadas.

NOTA: El sistema de indicativos de estaciones para las estaciones hidrológicas de observación utilizado en las claves hidrológicas internacionales de la OMM figura en el Volumen I del Anexo II al Reglamento Técnico (*Manual de claves* (OMM–N° 306), Volumen I.1).

[D.1.1.] 5

Información referente a las estaciones hidrológicas de observación

[D.1.1.] 5.1

Cada Miembro debería llevar al día una lista en la que se reseñen sus estaciones hidrométricas, sus estaciones de aguas subterráneas y sus estaciones hidrológicas para fines especiales. La lista debería contener la información siguiente para cada una de las estaciones, cuando proceda:

- a) nombre de la cuenca fluvial, nombre del río, lago, embalse o acuífero, nombre de la estación y sus coordenadas geográficas;
- b) nivel de referencia de las observaciones o altura de la estación y sistema geodésico de referencia, o ambos;
- c) altura de la superficie del terreno en el pozo utilizado para la medición de las aguas subterráneas;
- d) tipo de estación (aforo de caudales, lagos, observaciones de aguas subterráneas, humedad del suelo, precipitación, nieve, evaporación, sedimentos y calidad química del agua);
- e) elementos observados;
- f) instrumentos, programa de observación y horas de observación;
- g) dimensiones de la cuenca de captación de aguas arriba de la estación en km²;
- h) información sobre control y regulación artificiales del flujo o del nivel del agua, y sobre las condiciones del hielo;

- i) antecedentes de la estación en los que figuren la fecha en que se inician y se terminan o interrumpen los registros, los cambios de nombre de la estación, los cambios de los instrumentos o del programa de observación, los cambios de las unidades de los registros e información sobre el agua recogida, la alimentación de agua y las aguas utilizadas que vuelven a su cauce que, según el caso, se excluyen o incluyen en las observaciones;
- j) nombre de la organización o institución encargada de la inspección y del funcionamiento de las estaciones;
- k) información sobre las características de la cuenca de captación, o de aguas subterráneas, incluidas la altura, la topografía, la geología, la hidrogeología, la vegetación, el desarrollo urbano y los principales recursos hidrológicos, y desarrollo del drenaje, según proceda.

[D.1.1.] 5.2

La información referente a las estaciones climatológicas para fines hidrológicos debería redactarse de acuerdo con las indicaciones que figuran en el párrafo 2.8.4 de la Parte III del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544).

NOTA: Para mayor comodidad se reproduce el párrafo 2.8.4 de la Parte III del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación**

[D.1.1.] 6

Inspección de las estaciones hidrológicas de observación

[D.1.1.] 6.1

Cada Miembro debería tomar las disposiciones pertinentes para que sus estaciones hidrométricas y de observación de aguas subterráneas se inspeccionen por lo menos una vez cada seis meses, con el fin de garantizar una alta calidad de las observaciones y el correcto funcionamiento de los instrumentos de observación. Debería comprobarse el cero de la escala de la estación hidrométrica y de la estación de observación del agua subterránea por lo menos una vez al año.

NOTA: Dichas inspecciones son independientes de la inspección de rutina y del mantenimiento de los instrumentos y estaciones que es esencial al eficaz funcionamiento diario.

[D.1.1.] 6.2

La inspección de las estaciones climatológicas para fines hidrológicos debería efectuarse como se indica en el párrafo 3.1.9 de la Parte III del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544).

NOTA: Para mayor comodidad, se reproduce el párrafo 3.1.9

de la Parte III del Volumen I *Manual del Sistema Mundial de Observación***.

[D.1.1.] 6.3

La inspección de las estaciones hidrológicas para fines especiales debería efectuarse de modo que se satisfagan las necesidades de cada investigación en particular.

[D.1.1.] 7

Sistema de observación hidrológica

[D.1.1.] 7.1

Un sistema de observación hidrológica debería incluir una red de estaciones de observación hidrológica, observadores, dispositivos de observación, métodos de observación, procedimientos y enlaces de comunicación. Debería facilitar observaciones hidrológicas de acuerdo con un plan determinado.

[D.1.1.] 7.2

El plan de observaciones hidrológicas debería generalmente incluir todos los principales componentes del balance hidrológico del agua relativos tanto a la cantidad como a la calidad (con inclusión de estudios de los lechos de los ríos y medición del transporte de sedimentos).

* 2.8 Estaciones climatológicas

2.8.4 Cada Miembro deberá establecer y llevar al día una lista de las estaciones climatológicas que hay en su territorio, con la siguiente información, denominada con frecuencia metadatos, para cada estación:

- a) nombre y coordenadas geográficas;
- b) altitud de la estación;
- c) breve descripción de la topografía local;
- d) categoría a la que pertenece la estación y detalles de sus programas de observación;
- e) exposición de los instrumentos, con indicación de la altura sobre el suelo de los termómetros, pluviómetros y anemómetros;
- f) historia de la estación (fecha en que se comenzaron los registros, traslados de la estación, clausura o interrupción de los registros, cambios de nombre de la estación y modificaciones importantes del programa de observación);
- g) nombre de la organización o institución de quien depende la estación; y
- h) nivel al que se refieren los datos de presión atmosférica de la estación.

**3.1.9 Las estaciones climatológicas principales deberían inspeccionarse por lo menos una vez al año; las estaciones climatológicas ordinarias y las de medición de la precipitación por lo menos una vez cada tres años. De ser posible, durante la estación de invierno, deberían realizarse ocasionalmente las inspecciones pertinentes.

[D.1.1.] 7.3

Cada Miembro debería establecer y explotar un sistema de observación hidrológica de acuerdo con sus necesidades nacionales.

[D.1.1.] 7.4

El sistema de observación hidrológica debería controlarse y revisarse cuando sea necesario.

[D.1.1.] 8

Funciones y responsabilidades de los Servicios Hidrológicos Nacionales

[D.1.1.] 8.1

Generalidades

Cada Miembro debería hacer lo necesario para que haya una capacidad nacional que permita adquirir, almacenar y difundir los datos e información sobre el agua necesarios para un desarrollo y aprovechamiento sostenibles de sus recursos hídricos, y para atenuar los riesgos relacionados con el agua.

NOTA: La *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM–N° 168) da directrices detalladas para la adquisición de datos relacionados con el agua e información hidrológica.

[D.1.1.] 8.2

Organización

Se deberían tomar las disposiciones apropiadas al sistema de gobierno, características socioeconómicas y geográficas del Miembro, para asegurar una coordinación y comunicación eficientes y eficaces entre los proveedores y los usuarios de los datos relacionados con el agua y de la información hidrológica. Cuando varios organismos y/o niveles de gobierno tengan separadamente la responsabilidad de proporcionar o utilizar la información, sus responsabilidades y relaciones deberían ser establecidas claramente, empleando las disposiciones administrativas y legales apropiadas.

NOTA: En *Casebook of Examples of Organization and Operation of Hydrological Services* (WMO–No. 461) (Repertorio de ejemplos de organización y funcionamiento de los Servicios Hidrológicos) y *The Legal Basis and Role of Hydrological Services* (WMO/TD–No 602) (Fundamento legal y cometido de los servicios hidrológicos) se dan ejemplos de métodos para organizar la adquisición de datos relacionados con el agua y de información hidrológica.

[D.1.1.] 8.3

Funciones

En general, las funciones de rutina de los Servicios Hidrológicos Nacionales deberían englobar las siguientes:

- a) coordinación de los organismos que tienen responsabilidades en la adquisición y/o utilización de datos relacionados con el agua y de información hidrológica;

- b) establecimiento de las necesidades de los usuarios actuales o posibles futuros en materia de datos relacionados con el agua y de información hidrológica, y en particular las de otras organizaciones que están reuniendo datos sobre el medio ambiente y sobre los impactos acusados por éste en relación con la utilización de las tierras y con el cambio climático;
- c) definición de las normas (exactitud, precisión, periodicidad y accesibilidad, etc.) de los datos que tales necesidades suponen;
- d) diseño, establecimiento y operación de redes hidrométricas, para medir los diversos tipos de datos necesarios. Pueden necesitarse redes “básicas” y “de utilización específica”, complementarias o incluso superpuestas, y que deberían estar integradas;
- e) evaluación de la idoneidad de la red actual a fin de conseguir que los datos e información reunidos responden a las necesidades de los usuarios;
- f) creación de un programa de garantía de calidad que incluya la formación y desarrollo de personal, la documentación de los métodos y procedimientos de recopilación y análisis de datos, la adquisición y calibración de instrumentos, y el examen y aprobación de informes;
- g) elaboración de métodos para extrapolar los datos obtenidos en los sitios donde se han hecho mediciones a puntos o regiones de las que se consideraran representativos;
- h) concentración de datos y mantenimiento del control de la calidad del proceso de concentración de datos mediante la inspección de las instalaciones y de las prácticas seguidas en el campo;
- i) estructuración y garantía de calidad de los datos relacionados con el agua y la información hidrológica generada por organizaciones no gubernamentales, internacionales y del sector privado, y asegurar el acceso futuro a los mismos;
- j) transmisión, proceso y archivo de datos, y mantenimiento del control de la calidad y seguridad de los datos archivados;
- k) hacer accesibles los datos a los usuarios cuándo, dónde y en la forma en que los necesitan, por ejemplo:
 - i) difusión de predicciones y avisos hidrológicos;
 - ii) publicación de anuarios de datos básicos, en papel, microficha o en forma compatible para computadora;
 - iii) preparación de informes sobre recursos hídricos, con un análisis exhaustivo de los datos. Se pueden incluir atlas hidrológicos o bases de datos en sistemas de información geográfica;

- iv) material informativo o didáctico para uso del público en general, los medios de información, o las escuelas;
- v) información sobre diseño;
- vi) apoyo a los centros de datos mundiales y a los programas y proyectos internacionales;
- l) comunicación a los usuarios potenciales de la información que tienen a su disposición, y ayuda para que la utilicen lo mejor posible;
- m) adopción o desarrollo de nuevos métodos y de tecnología, en relación con:
 - i) diseño de redes;
 - ii) instrumentos y métodos de observación;
 - iii) transmisión y proceso de datos;
 - iv) predicción hidrológica;
 - v) análisis, interpretación y presentación de datos;
- n) investigación de los procesos hidrológicos y afines
 - o) con el fin de ayudar al usuario a interpretar y comprender los datos;
 - p) consiguiendo personal calificado y proporcionando formación y desarrollo;
 - q) colaboración con organismos que adquieren información relacionada con el agua u otra información pertinente como, por ejemplo, sobre calidad del agua, sedimentos, hidrogeología, usos del agua, topografía y uso de los suelos, o información meteorológica;
 - r) participación con organismos extranjeros del sector hídrico en programas y proyectos internacionales;
 - s) suministro de información hidrológica para incluirla en informes periódicos de los países sobre el estado del medio ambiente;
 - t) emprender estudios de evaluación de recursos hídricos con fines de desarrollo;
 - u) participar en la planificación, el desarrollo y la gestión de los proyectos sobre recursos hídricos.

CAPÍTULO D.1.2 OBSERVACIONES HIDROLÓGICAS

[D.1.2.] 1

Elementos que hay que observar

[D.1.2.] 1.1

En una estación hidrométrica se deberían observar uno o más de los elementos que se citan a continuación:

- a) nivel de los ríos, lagos y embalses;
- b) flujo de las corrientes;
- c) transporte o depósito de sedimentos, o ambos;
- d) temperatura y otras propiedades físicas del agua de un río, lago o embalse;
- e) características y extensión de la capa de hielo de los ríos, lagos y embalses;
- f) propiedades químicas del agua de un río, lago o embalse.

[D.1.2.] 1.2

En una estación climatológica para fines hidrológicos, el programa de observación debería comprender el elemento o elementos necesarios para la estimación cuantitativa de la fase atmosférica del ciclo hidrológico, como se especifica a continuación:

- a) precipitación;
 - i) cantidad;
 - ii) hora de ocurrencia;
 - iii) forma (por ejemplo: lluvia, nieve, aguanieve);
 - iv) carácter (continuo, intermitente, chubascos aislados, etc.);
 - v) intensidad;
- b) temperatura del aire (incluidas las temperaturas extremas);
- c) humedad del aire;
- d) viento – velocidad y dirección (promediado en intervalos de 10 minutos);
 - recorrido diario;
- e) cantidad y tipo de nubes;

f) capa de nieve;

- i) profundidad de la nieve;
- ii) densidad;
- iii) equivalente en agua;

g) evaporación (medida con el tanque de evaporación);

h) radiación solar;

i) insolación;

f) temperatura del suelo;

k) presión atmosférica;

l) humedad del suelo.

[D.1.2.] 1.3

En las estaciones de aguas subterráneas deberían efectuarse observaciones de uno o más de los siguientes elementos:

a) nivel del agua;

b) temperatura del agua y otras propiedades físicas del agua;

c) propiedades químicas del agua;

d) velocidad y volumen de extracción o alimentación.

[D.1.2.] 1.4

En las estaciones hidrológicas para fines especiales se deberían hacer observaciones de los elementos que resulten adecuados a los fines de la estación (véase [D.1.1.] 1.3) y en ellas se pueden incluir algunos de los elementos especificados en [D.1.2.] 1.1 y [D.1.2.] 1.2.

[D.1.2.] 2

Programa de observación y transmisión para las estaciones hidrológicas de observación

NOTA : Además de las disposiciones que se enuncian en esta sección, en la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) se dan instrucciones detalladas sobre los programas de observación.

[D.1.2.] 2.1

Cuando no haya registro automático, las observaciones de los elementos para fines hidrológicos deberían efectuarse a intervalos regulares y adecuados para tales elementos y fines.

[D.1.2.] 2.2

Dentro de una cuenca de captación se debería mantener siempre la debida uniformidad de las horas de observación.

[D.1.2.] 2.3

En el caso de ríos en condiciones de crecida o en las estaciones donde existan controles variables, deberían efectuarse mediciones especiales a intervalos frecuentes que permitan definir el hidrograma.

[D.1.2.] 2.4

El intervalo de observación del nivel de un río, de un lago o de un embalse debería fijarse de forma que permita atender las necesidades previstas de la explotación.

[D.1.2.] 2.5

Cuando se produzcan crecidas súbitas y peligrosas de nivel de los ríos, las observaciones deberían efectuarse y comunicarse inmediatamente, sin tener en cuenta la hora habitual de observación, para atender las necesidades previstas de la explotación.

[D.1.2.] 2.6

El programa de observación y de transmisión de las estaciones climatológicas para fines hidrológicos debería llevarse a cabo de acuerdo con las indicaciones que figuran en los párrafos 2.8.12, 2.8.13 y 2.8.14 de la Parte III del *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-Nº 544).

NOTA: Para mayor comodidad, se reproducen los párrafos 2.8.12, 2.8.13 y 2.8.14 de la Parte III del Volumen I del *Manual del Sistema Mundial de Observación**.

[D.1.2.] 2.7

* 2.8 Estaciones climatológicas

2.8.12 Cada Miembro debería tomar las disposiciones necesarias para que las observaciones de una estación climatológica cualquiera se hagan a horas fijas de acuerdo con la hora universal coordinada (UTC), o a la hora media local, sin modificación durante todo el año.

2.8.13 Cuando una estación climatológica efectúe dos o más observaciones meteorológicas, las horas se deberán fijar de manera que reflejen las variaciones diurnas importantes de los elementos climáticos.

2.8.14 Cuando en una red se modifiquen las horas de las observaciones climatológicas, se deberán efectuar observaciones simultáneas en una red de estaciones representativas, durante un período que abarque las estaciones climáticas más características de la zona, a las horas de observación antiguas y nuevas.

La información hidrológica para fines internacionales debería transmitirse en lenguaje corriente o por medio de una clave especial, según se acuerde con carácter bilateral o multilateral,

NOTA: La regla que rige los intercambios en clave internacional (*Reglamento Técnico*, Volumen I (Edición de 1993), [A.2.3.] 1.1.1) figura al pie de la página**.

[D.1.2.] 3

Equipos y métodos de observación

NOTA: Además de las disposiciones que se enuncian en esta sección, en la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) se dan instrucciones detalladas sobre equipos y métodos de observación.

[D.1.2.] 3.1

Cada Miembro debería dotar a sus estaciones de instrumentos adecuadamente calibrados y tomar las disposiciones pertinentes para que dichas estaciones puedan efectuar debidamente las observaciones y aplicar las técnicas de medición que convengan, con el fin de que las observaciones de los diversos elementos hidrológicos sean lo suficientemente precisas para satisfacer las necesidades de la hidrología.

[D.1.2.] 3.1.1

Las especificaciones relativas a las instalaciones, al equipo y al procedimiento que debe utilizarse para la calibración de los molinetes deberían ser las que se indican en el Anexo, sección I – Calibración de molinetes en tanques rectilíneos abiertos.

[D.1.2.] 3.1.2

Los dispositivos para la medición del nivel de agua deberían ajustarse a las especificaciones indicadas en el Anexo, sección II – Dispositivos de medición del nivel del agua.

[D.1.2.] 3.1.3

El equipo para la medición de la profundidad del agua y para la suspensión de los molinetes y de los muestreadores de sedimentos debería ajustarse a las especificaciones indicadas en el Anexo, sección III – Equipo de sondeo y suspensión directos y sección XI – Ecosondas para mediciones de la profundidad del agua.

[D.1.2.] 3.1.4

Las condiciones de funcionamiento, la construcción, la calibración y el mantenimiento de molinetes dotados de ele-

**[A.2.3.] 1.1.1

La información cifrada intercambiada con fines internacionales se cifrará en las correspondientes claves que se especifican en el Anexo II (*Manual de claves* (OMM-Nº 306), Volumen I).

NOTA: La información cifrada para el intercambio exclusivo entre dos Miembros se puede hacer de otra forma, mediante acuerdo bilateral.

mento rotativo deberían ajustarse a lo que se estipula en el Anexo, sección IV – Molinetes de elementos giratorios.

[D.1.2.] 3.1.5

Las condiciones de funcionamiento de los aparatos de medición del caudal, en los que se utilizan vertederos, deberían ajustarse a lo que se estipula en el Anexo, sección V – Vertederos precalibrados para la determinación del caudal.

[D.1.2.] 3.1.6

Las exigencias funcionales para la medición del caudal utilizando canales aforadores deberían ser las que se indican en el Anexo, sección IX – Utilización de canales aforadores para la medición del caudal de la corriente.

[D.1.2.] 3.1.7

Las condiciones y requisitos para la aplicación de métodos de dilución para la medición del caudal en canales abiertos deberían ser los que se indican en el Anexo, sección X – Métodos de dilución para la medición del caudal de la corriente.

[D.1.2.] 3.1.8

El equipo y las necesidades funcionales para la utilización del método del bote móvil para la medición del caudal deberían ser los que se especifican en el Anexo, sección XII – Medición del caudal por el método del bote móvil.

[D.1.2.] 3.2

Cada Miembro debería poder disponer de un laboratorio de análisis de sedimentos equipado para poder llevar a cabo dos funciones primordiales:

- a) determinar las concentraciones de los sedimentos en suspensión en las muestras de agua recogidas en las corrientes;
- b) determinar la distribución del tamaño de las partículas que constituyen los sedimentos en suspensión, los materiales acarreados en el fondo del río, así como los depósitos en los embalses.

[D.1.2.] 3.3

El método de medición de los caudales en un nuevo lugar debería seleccionarse de acuerdo con las características del flujo de corriente en el lugar determinado, por medio de observaciones de la velocidad del agua en diversas verticales de una sección transversal y diferentes profundidades en cada vertical.

[D.1.2.] 3.3.1

El establecimiento y explotación de una estación hidrométrica para la medición del caudal debería ajustarse a las especificaciones indicadas en el Anexo, sección VI – Establecimiento y explotación de una estación hidrométrica.

[D.1.2.] 3.4

El número de medidas de la descarga en una estación de aforo debería ser tal que permita definir, en cualquier momento, la curva de caudales de la estación.

[D.1.2.] 3.4.1

Los métodos para determinar la relación caudal-altura (curva de caudales) de una estación deberían ser los especificados en el Anexo, sección VII – Determinación de la relación nivel-caudal.

[D.1.2.] 3.5

El error límite de las observaciones de los niveles de los ríos, estuarios, lagos y embalses y aguas subterráneas no debería ser superior a:

- a) en general 10 mm, para un intervalo de confianza del 95 por ciento;
- b) 20 mm en condiciones difíciles para un intervalo de confianza del 95 por ciento.

[D.1.2.] 3.6

El caudal de los ríos debería medirse con una precisión que sea conforme al flujo y a las condiciones locales. El error límite porcentual de la medición del caudal no debería ser superior:

- a) en general, al cinco por ciento para un intervalo de confianza del 95 por ciento;
- b) en condiciones difíciles, a un 10 por ciento, para un intervalo de confianza del 95 por ciento.

[D.1.2.] 3.7

El método de evaluación de la incertidumbre en las mediciones del caudal debería ajustarse a las especificaciones indicadas en el Anexo, sección VIII – Estimación de la incertidumbre de las mediciones del caudal.

[D.1.2.] 3.8

El error límite de las observaciones de la temperatura de los ríos, lagos y embalses y aguas subterráneas no debería ser superior:

- a) en general, a 0,1°C, para un intervalo de confianza del 95 por ciento;
- b) en condiciones difíciles, a 0,5°C, para un intervalo de confianza del 95 por ciento.

[D.1.2.] 3.9

Las observaciones efectuadas en las estaciones climatológicas para fines hidrológicos deberían ajustarse a las condiciones de precisión establecidas para estos tipos de observaciones.

NOTA: En la *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos* (OMM-Nº 8) se incluyen instrucciones detalladas sobre los instrumentos y métodos de observación utilizados en las estaciones climatológicas.

[D.1.2.] 3.10

Las medidas de la profundidad y de la equivalencia en agua de la capa de nieve deberían realizarse siempre en áreas determinadas de antemano o en las rutas nivométricas donde se efectúan todos los años las mediciones de la nieve. Esas zonas o rutas nivométricas deberían hallarse situadas en lugares que faciliten un índice seguro del agua equivalente al monto de nieve que abarque una parte importante de la cuenca del río.

[D.1.2.] 3.11

Las muestras de los sedimentos en suspensión deberían recogerse de manera que indiquen concentraciones que sean realmente representativas de la concentración media de los sedimentos en suspensión para toda la sección transversal de la corriente.

[D.1.2.] 4

Concentración, preparación y publicación de datos hidrológicos

NOTA: En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM–N° 168) se dan instrucciones detalladas sobre la concentración, preparación y publicación de datos hidrológicos.

[D.1.2.] 4.1

Cada Miembro debería reunir y conservar sus registros hidrológicos

[D.1.2.] 4.2

Cada Miembro debería tomar las disposiciones necesarias para facilitar la búsqueda y análisis de sus datos hidrológicos mediante equipo automático de proceso de datos.

[D.1.2.] 4.3

Cada Miembro debería llevar al día en sus archivos un inventario de los datos hidrológicos disponibles en su territorio.

[D.1.2.] 4.4

Las unidades de tiempo utilizadas en la preparación de datos hidrológicos para el intercambio internacional deberían estar fundadas en:

- a) el año del calendario gregoriano;
- b) los meses de dicho calendario;
- c) el día solar medio, de medianoche a medianoche, de acuerdo con la hora local, cuando los datos lo permitan;
- d) otros períodos fijados de mutuo acuerdo en el caso de cuencas vertientes internacionales, o en el caso de cuencas vertientes situadas en el mismo tipo de región.

[D.1.2.] 4.5

Deberían calcularse, para cada mes y para cada año, la suma o promedios de todos o de la mayoría de los datos siguientes, procedentes de una selección de estaciones hidrométricas o de observación de aguas subterráneas:

- a) nivel del río, lago, embalse o nivel de las aguas subterráneas;
- b) flujo de la corriente;
- c) transporte de materiales en suspensión;
- d) temperatura del agua;
- e) características químicas del agua.

[D.1.2.] 4.6

Para las estaciones hidrométricas seleccionadas deberían elaborarse anualmente las siguientes características:

- a) valores instantáneos máximos y promedios diarios mínimos del nivel del agua y del flujo de las corrientes;
- b) frecuencia de los niveles medios diarios del agua o del caudal medio diarios, o de ambos;
- c) valores medios semanales de los caudales de los sedimentos en suspensión;
- d) valores medios de la concentración de los constituyentes químicos de las corrientes.

[D.1.2.] 4.7

Para las estaciones de observación de aguas subterráneas seleccionadas deberían prepararse las siguientes características para cada año:

- a) valores máximos y mínimos de los niveles de las aguas;
- b) frecuencia estadística de los niveles medios diarios de las aguas;
- c) valores medidos de la concentración de los constituyentes químicos de las aguas.

[D.1.2.] 4.8

Los Miembros deberían calcular los promedios a largo plazo, tanto anuales como mensuales, de ciertos elementos observados en las estaciones de observación hidrológica seleccionadas de su territorio que dispongan de registros continuos que abarquen un período mínimo ininterrumpido de 10 años.

[D.1.2.] 4.9

Cada Miembro debería asegurar la publicación, en forma adecuada, informes anuales de los datos hidrológicos.

NOTA: Los informes mensuales más un resumen anual pueden constituir un informe anual.

[D.1.2.] 4.9.1

Cuando una estación pertenece a dos o más categorías (véase la nota a [D.1.1.] 1.1), los datos seleccionados de dicha estación deberían publicarse dentro de cada una de las categorías correspondientes.

[D.1.2.] 4.9.2

La información contenida en las publicaciones anuales debería comprender:

- a) una lista de cada estación hidrométrica y de cada estación de observación de agua subterránea en la que figuren, cuando proceda, las siguientes indicaciones:
 - i) nombre y coordenadas geográficas de la estación y nombre del río, lago, embalse o acuífero;
 - ii) altura del nivel de referencia de las observaciones, en metros;
 - iii) dimensiones de la cuenca de captación, aguas arriba de la estación, en km²;
 - iv) categoría de la estación y detalles del programa de observación, incluidas las horas de observación;
 - v) instrumentación;
 - vi) período que abarca el registro;
 - vii) información sobre la principal desviación del río, situada aguas arriba, y de los sistemas artificiales de control de la corriente que puedan existir;
- b) cierto número de tablas que contengan los datos hidrológicos y sus características estadísticas, cuando proceda.

[D.1.2.] 4.9.3

Siempre que se publiquen promedios que abarquen plazos largos, debería indicarse el período al que se refieren dichos promedios.

[D.1.2.] 4.9.4

Si el idioma principal en que se edita la publicación no es el español, francés, inglés o ruso, todos los encabezamientos de las tablas deberían ir en uno de dichos

idiomas oficiales o estar expresados en símbolos o letras internacionalmente reconocidos (las principales tablas ilustrativas serán suficientes).

NOTA: Aunque el árabe y el chino son también lenguas oficiales de la OMM, el Congreso todavía no ha aprobado su empleo a todos los niveles de las actividades de la Organización.

[D.1.2.] 4.10

Excepto cuando las prácticas de la OMM especifiquen otra cosa, los Miembros deberían utilizar el Sistema Internacional de Unidades (Unidades SI) definido por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en las publicaciones y documentos científicos.

NOTA: Las directrices para la utilización de estas unidades figuran en la publicación *International Meteorological Tables* (Tablas meteorológicas internacionales (WMO-Nº 188)) y en el Manual de Normas ISO 2 – Unidades de Medida, 1979.

[D.1.2.] 4.10.1

Para la hidrología deberían utilizarse los símbolos y unidades recomendados que figuran en el Apéndice al presente capítulo.

[D.1.2.] 5

Procedimientos de seguridad

[D.1.2.] 5.1

Cada Miembro deberá asegurarse de que se especifiquen, documenten y utilicen, en todas sus operaciones, los procedimientos de seguridad adecuados.

[D.1.2.] 5.2

Se creará un manual de procedimientos de seguridad nacionales en el que se señalen las precauciones y prácticas específicas para las condiciones del país en cuestión. Estos procedimientos deberían también satisfacer todos los requerimientos del país, y en particular las normativas jurídicas y en materia de salud y de seguridad.

NOTA: Además de las reglamentaciones de esta sección, se remite a los países a la *Guía de Prácticas Hidrológicas*, quinta edición (OMM-Nº 168), que contiene pormenores sobre los procedimientos de seguridad.

APÉNDICE

(Véase [D.1.2] 4.10.1)

SÍMBOLOS Y UNIDADES

NOTA: Cuando existen símbolos internacionales, se han utilizado en los casos oportunos e indicado mediante las siglas ISO en la última columna (véase la Tabla 1.4 para los modificadores de símbolos).

Tabla 1.1

Símbolos y unidades recomendados

<i>Tema</i>	<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Observaciones</i>
1	Aceleración debida a la gravedad	g	$m\ s^{-2}$	ISO
2	Albedo	r	Expresado en forma decimal	
3	Área (de una sección) (cuenca de desagüe)	A	m^2 km^2	ISO ISO ha también en uso
4	Calidad química		mg/l	(para disoluciones diluidas) ppm también en uso
5	Coeficiente de Chézy [$v/(R_h S)^{1/2}$]	C	$m^{1/2}/s$	ISO
6	Conducción	K	m^3/s	ISO
7	Grado día	D	Grado día	
8	Densidad	P	kg/m^3	ISO
9	Profundidad, diámetro, espesor	d	m cm	ISO
10	Caudal (río) (pozos) (superficie unitaria Q/A , o parcial)	Q Q_{we} q	m^3/s m^3/s $m^3/s\ km^2$ $l/s\ km^2$	ISO ISO
11	Descenso de nivel	s	m cm	
12	Viscosidad dinámica (absoluta)	η	Pas	
13	Evaporación	E	mm	
14	Evapotranspiración	E_T	mm	
15	Número de Froude	Fr	Adimensional	ISO
16	Carga, altura	z	m	ISO
17	Carga piezométrica	h_p	m	
18	Carga estática (nivel del agua) $= z + h_p$	h	cm m	ISO

Tema	Elemento	Símbolo	Unidades	Observaciones
19	Carga total = $z+h_p+h_v$	H	m	ISO
20	Carga cinética = $v^2/2g$	h_v	cm m	
21	Conductividad hidráulica (permeabilidad)	K	cm/s	m/d también en uso
22	Difusividad hidráulica	D	cm ² /s	
23	Radio hidráulico = A/P_w	R_h	m	ISO
24	Espesor de hielo	d_g	cm	
25	Infiltración	f	mm	
26	Tasa de infiltración	I_f	mm/h	
27	Permeabilidad intrínseca	k	10 ⁻⁸ cm ²	
28	Viscosidad cinemática	ν	m ² /s	ISO
29	Longitud	l	cm m km	ISO
30	Coefficiente de Manning $= R_h^{2/3} S^{1/2} / \nu$	n	s/m ^{1/3}	ISO
31	Masa	m	kg g	ISO
32	Porosidad	n	%	α también se puede usar si es necesario
33	Precipitación	p	mm	
34	Intensidad de la precipitación	I_p	mm/h	
35	Presión	p	Pa	mb o mbar también en uso; véase además: carga piezométrica
36	Radiación* (cantidad de energía radiante por unidad de superficie)	R	J/m ²	
37	Intensidad de radiación* (Flujo por unidad de superficie)	I_r	J/m ² s	
38	Radio de influencia	r_f	m	
39	Coefficiente de recesión	C_r	Expresado en forma decimal	
40	Humedad relativa	U	%	
41	Número de Reynolds	Re	Adimensional	ISO
42	Escorrentía	R	mm	
43	Concentración de sedimentos	c_s	kg/m ³	ppm también en uso
44	Caudal de sedimentos	Q_s	t/d	
45	Esfuerzo de corte	τ	Pa	ISO
46	Pendiente (de la superficie del agua de la cuenca)	S	Adimensional	ISO
47	Capa de nieve	A_n	%	
48	Profundidad de la nieve	d_n	cm	
49	Fusión de nieves	M	mm	normalmente expresado como media diaria

* Términos generales – Para más detalles sobre terminología y símbolos véase la *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos* (OMM–N° 8)

<i>Tema</i>	<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Observaciones</i>
50	Humedad del suelo	U_s	% volumen	% peso también en uso
51	Deficiencia de humedad del suelo	U_s'	mm	
52	Capacidad específica = Q_{we}/s	C_s	m ² /s	
53	Conductancia específica	κ	μS/cm	a $\theta = 25^\circ\text{C}$
54	Rendimiento específico	Y_s	Expresado en forma decimal	
55	Agua almacenada	S	m ³	
56	Coeficiente de almacenamiento (agua subterráneas)	C_s	Expresado en forma decimal	
57	Insolación	n/N	Expresado en forma decimal	horas reales (n)/posibles (N)
58	Tensión superficial	σ	N/m	ISO
59	Temperatura	θ	°C	ISO; también en uso
60	Total de sólidos disueltos	m_d	mg/l	(para disoluciones diluidas) ppm también en uso
61	Transmisividad	T	m ² /d	
62	Presión de vapor	e	Pa	mb o mbar también en uso
63	Velocidad (del agua)	v	m/s	ISO
64	Volumen	V	m ³	ISO
65	Equivalente en agua de la nieve	w_n	mm	
66	Número del Weber	We	Adimensional	
67	Perímetro mojado	P_w	m	
68	Anchura (de una sección o de la cuenca)	b	m km	ISO
69	Velocidad del viento	u	m/s	km/h, kn (o kt) también en uso

Tabla 1.2

Símbolos diversos

<i>Tema</i>	<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Observaciones</i>
1	concentración	c	ISO
2	coeficiente (en general)	C	ISO
3	diferencia	Δ	ISO, valores expresados en las mismas unidades
4	caudal afluente	I	
5	tiempo de retardo	Δt	unidades variables
6	carga	L	
7	número de (o categoría)	m	ISO
8	caudal efluente	O	
9	recarga	f	(véase Infiltración en Tabla 1.1)
10	número total	N	

Tabla 1.3
Unidades utilizadas en la Tabla 1.1

Tema	Unidad	Símbolo	Observaciones
1	centímetro	cm	ISO
2	día	d	ISO
3	grados Celsius	°C	ISO
4	gramo	g	ISO
5	hectárea	ha	
6	hora	h	ISO
7	julio	J	ISO
8	kilogramo	kg	ISO
9	kilómetro	km	ISO
10	nudo	kn, Kt	
11	litro	l	ISO
12	metro	m	ISO
13	microsiemens	μS	
14	milibar	mb, mbar	ISO
15	miligramo	mg	ISO
16	milímetro	mm	ISO
17	minuto	min	ISO
18	newton	N	ISO
19	partes por millón	ppm	
20	pascal	Pa	ISO
21	porcentaje	%	
22	segundo	s	ISO
23	tonelada (sistema métrico)	t	ISO
24	año	a	ISO

Tabla 1.4
Índices de los símbolos de la Tabla 1.1

Tema	Índices	Símbolo	Observaciones
1	real (o medido)	—	guión debajo del símbolo
2	aire	a	
3	base	b	
4	cauce	ch	
5	calculado	c	
6	crítico	cr	
7	hidráulico	h	
8	hielo	g	
9	inicial	o	léase "cero"
10	intensividad (velocidad)	i	
11	limitativo (o que ejerce una influencia)	l	
12	valor máximo	max	
13	valor medio	—	ISO — guión sobre el símbolo
14	valor mínimo	min	
15	observado	ob	
16	en tierra	ov	
17	presión	p	
18	recesión	r	
19	sedimento, suelo, superficie, específico	s	
20	nieve	n	
21	subterráneo	ss	
22	función del tiempo (en un instante dado)	t	
23	trazador	tr	
24	vapor	e	
25	velocidad	v	
26	agua, húmedo	w	
27	pozo (pozo tubular)	we	

CAPÍTULO D.1.3

AVISOS Y PREDICCIONES HIDROLÓGICOS

[D.1.3.] 1

Generalidades

Cada Miembro debería tomar las disposiciones oportunas para asegurar que se difundan predicciones y avisos hidrológicos, con el fin de asegurar una protección contra las condiciones hidrológicas peligrosas y para que se puedan llevar a cabo las operaciones de ordenación de recursos hidrológicos.

NOTA: En la Parte E de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, se detallan las disposiciones relativas a los principios y la práctica de la predicción hidrológica.

[D.1.3.] 2

Organización del servicio

El servicio de predicción hidrológica debería organizarse de manera que se asegure la eficiente coordinación y comunicación, incluidos la concentración y el intercambio de datos hidrológicos, entre todos sus departamentos y centros y entre el servicio de predicción y los encargados del suministro de datos y predicciones meteorológicas. Cuando el Servicio Hidrológico y el Servicio Meteorológico sean organizaciones independientes, debería definirse con claridad la división de funciones y de facultades entre ellos.

NOTA: En el párrafo 41.4 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, se proporciona información detallada sobre los servicios de predicción hidrológica.

[D.1.3.] 3

Programa de predicciones y avisos

[D.1.3.] 3.1

Tipos de predicciones, avisos y advertencias que habrán de emitirse

[D.1.3.] 3.1.1 Las predicciones hidrológicas deberían clasificarse, según los períodos de predicción (véase «Definiciones»):

- a) predicción hidrológica a corto plazo (hasta dos días);
- b) predicción hidrológica a plazo medio (de dos hasta diez días);
- c) predicción hidrológica a largo plazo (más de diez días);
- d) predicción hidrológica estacional (varios meses).

[D.1.3.] 3.1.2

Los elementos hidrológicos básicos sobre los que deberían emitirse predicciones son los siguientes:

- a) niveles del agua (ríos y lagos) en horas determinadas; asimismo velocidad y caudal, cuando se requieran para la navegación, sistemas de abastecimiento de agua y/o otros datos necesarios;
- b) en los períodos de crecida, cuando el nivel de agua supere el nivel de alarma, el nivel máximo (velocidad y/o caudal) y su tiempo de ocurrencia;
- c) condiciones del hielo en los ríos, lagos y embalses;
- d) volumen y distribución temporal de la escorrentía en diferentes períodos de tiempo (períodos de caudales altos y de estiaje, mes, estación, año) y, cuando sea factible, probabilidades asociadas;
- e) niveles o caudales anormalmente bajos (condiciones de sequía);
- f) mareas de tempestad y altura de las olas en las zonas litorales, estuarios, grandes lagos y embalses;
- g) parámetros seleccionados de calidad del agua.

NOTA: Véase el párrafo 41.2 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición.

[D.1.3.] 3.1.3

Debería emitirse con carácter rutinario la siguiente información hidrológica:

- a) información acerca de la situación hidrológica actual (incluidos, según convenga, los niveles, los caudales y los parámetros de calidad del agua de

ríos, zonas litorales, estuarios, lagos y embalses, las condiciones del hielo, los niveles del agua subterránea; la humedad del suelo; la precipitación y el equivalente en agua de la cubierta de nieve);

- b) evaluación de las condiciones propicias a altos niveles y una gran escorrentía;
- c) evaluación de las circunstancias que pueden indicar la probabilidad de condiciones de sequía en el futuro.

[D.1.3.] 3.2

Necesidades de datos

Las redes deberían diseñarse teniendo en cuenta las necesidades especiales de las predicciones hidrológicas. Cada Miembro debería adoptar disposiciones para la oportuna concentración y distribución de los datos necesarios para preparar las predicciones y advertencias mencionadas en [D.1.3.] 3.1.

[D.1.3.] 3.2.1

Concentración y transmisión de datos

La precisión y la frecuencia de las mediciones de datos hidrológicos deberían ajustarse a los criterios contenidos en la tabla que figura en la Parte E de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición.

NOTAS:

- a) Véanse también los Capítulos D.1.1, D.1.2 y D.1.4 del *Reglamento Técnico*.
- b) La predicción hidrológica tiene requisitos especiales por lo que se refiere a la red de observación y a la concentración de datos. En la Parte C de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, y en las Secciones E y F del *Manual de Referencia del HOMS* se proporciona orientación detallada sobre concentración y transmisión de datos.

[D.1.3.] 3.2.2

Datos meteorológicos

La precisión de las observaciones y la frecuencia de las mediciones de datos meteorológicos para fines de predicción hidrológica deberían ser las indicadas en [D.2.] 2.3.

[D.1.3.] 3.2.2.1

Datos sobre precipitación y predicciones cuantitativas de la precipitación (PCP)

Deberían suministrarse predicciones cuantitativas de la precipitación con regularidad al predictor hidrológico, que deberían actualizarse frecuentemente durante las situaciones de crecida. El predictor meteorológico que efectúe la PCP debería disponer de todas las observaciones actuales sobre precipitación, incluidas las realizadas principalmente con fines hidrológicos.

[D.1.3.] 3.2.2.2

Datos de observación y predicción meteorológica no relativos a la precipitación

Al predictor hidrológico debería proporcionársele a las horas establecidas los siguientes tipos de información, datos y predicciones meteorológicas:

- a) Temperatura, en particular:
 - i) datos actuales;
 - ii) predicciones de cambios repentinos e importantes;
 - iii) predicciones de temperaturas anormalmente altas o bajas.
- b) Viento, en particular:
 - i) datos actuales;
 - ii) predicciones de vientos anormalmente intensos;
 - iii) cuando sean hidrológicamente significativos, predicciones de cambios repentinos de la dirección del viento.
- c) Datos meteorológicos relacionados con el cálculo de la evapotranspiración:
 - i) radiación solar o porcentaje de insolación ;
 - ii) temperatura del punto de rocío o humedad relativa;
 - iii) evaporación observada en los tanques.

[D.1.3.] 3.3

Selección de técnicas

Al seleccionar una técnica de predicción, el servicio de predicción hidrológica debería tener en cuenta las necesidades de predicción, los recursos disponibles y, entre otras cosas, la experiencia obtenida de las investigaciones y las intercomparaciones de técnicas realizadas durante los dos últimos decenios.

NOTA: Se proporciona información sobre la capacidad relativa y las necesidades de recursos de los modelos hidrológicos en el párrafo 33.2, el Capítulo 34, los párrafos 39.1, 39.2, 39.3 y en el Capítulo 43 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, en *Intercomparison of conceptual models used in operational hydrological forecasting* (WMO-No. 429) (Intercomparación de modelos conceptuales utilizados en las predicciones de hidrología operativa), *Intercomparison of models of snowmelt runoff* (WMO-No. 646) (Intercomparación de modelos de la escorrentía de la nieve fundida) y en las Secciones J y K del *Manual de Referencia del HOMS*.

[D.1.3.] 3.4

Consideraciones de carácter administrativo

[D.1.3.] 3.4.1

Utilización de PCP en la predicción hidrológica

[D.1.3.] 3.4.1.1

Las predicciones hidrológicas deberían basarse en aquella combinación de observaciones y predicciones de lluvias que proporcione la predicción más oportuna y precisa.

[D.1.3.] 3.4.1.2

La decisión de utilizar PCP en una predicción hidrológica debería ser una decisión operativa, basada en la siguiente información hidrológica relativa al evento de predicción:

- a) el error probable de la PCP por lo que se refiere al volumen, la ubicación y el tiempo;
- b) el modo en que esos errores se propagan a través de la técnica de predicción hidrológica y afectan a la precisión de la predicción hidrológica;
- c) el modo en que la variación del plazo o período de la predicción y de los niveles de precisión de ésta afectan al usuario.

[D.1.3.] 3.4.2

Ajuste de la predicción

La actualización de la predicción hidrológica debería efectuarse de manera que se aprovechen al máximo los conocimientos y juicios del predictor. Cuando se disponga de técnicas automatizadas de ajuste, éstas deberían utilizarse para contribuir al proceso de ajuste de la predicción.

NOTA: En el párrafo 43.10 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-N°168), quinta edición, y en la Sección J del *Manual de Referencia del HOMS* se proporciona información sobre técnicas de ajuste de la predicción,

[D.1.3.] 3.4.3

Incertidumbre de las predicciones hidrológicas

El servicio de predicción hidrológica debería elaborar disposiciones administrativas acerca del modo en que se expresarán las predicciones hidrológicas y sus errores probables. El servicio debería desarrollar también las actividades docentes que puedan ser necesarias para asegurarse de que el usuario de la predicción comprenda no sólo la predicción, sino también su error probable.

[D.1.3.] 3.5

Crecidas repentinas y mareas de tempestad

En las zonas en que las crecidas repentinas y mareas de tempestad constituyen un problema, el servicio de predicción hidrológica debería ocuparse sobre todo de establecer los procedimientos de automatización y administrativos necesarios para lograr:

- a) la rápida transmisión de las observaciones sobre el terreno a la oficina de predicción;
- b) la rápida elaboración de la predicción;

- c) la rápida transmisión de la predicción al usuario final.

El servicio debería proporcionar avisos generales sobre las crecidas repentinas y las mareas de tempestad sin detenerse a preparar predicciones perfeccionadas para lugares específicos.

[D.1.3.] 3.6

Inundaciones por insuficiencia del sistema de drenaje

En las zonas en que se producen inundaciones del sistema de drenaje y ocurren aportaciones laterales, debería determinarse la intensidad de aquella lluvia que pueda causar problemas. Deberían emitirse avisos cuando se alcance o se considere inminente esa intensidad. El servicio de predicción hidrológica debería asegurarse de que todos los interesados, incluidos los usuarios, comprendan la diferencia entre la inundación del sistema de drenaje y las crecidas causadas por ríos y mareas de tempestad.

[D.1.3.] 3.7

Rotura de presas

El servicio de predicción hidrológica debería realizar un estudio de las presas situadas en su zona. En el caso de aquellas cuya falla causaría extensos daños a la propiedad y/o pérdidas de vidas humanas, deberían calcularse por anticipado el perfil de crecida de la zona aguas abajo y los niveles de alarma para diversos tipos de supuestas fallas, incluido el peor caso posible. Los cálculos deberían poder utilizarse inmediatamente en caso de que se produzca una falla.

NOTA: En el párrafo 44.33 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-N° 168), quinta edición, y en las Secciones J y K del *Manual de Referencia del HOMS* se proporciona información técnica acerca del "routing" de hidrogramas resultante de la falla de presas.

[D.1.3.] 3.8

Estuarios y zonas litorales

Cuando la zona adyacente a un estuario o a una costa esté expuesta a sufrir daños que resulten de crecidas o cuando los niveles y/o caudales extremos en un estuario afecten a las actividades de navegación, deberían emitirse predicciones de los niveles y/o los caudales en el estuario.

NOTA: En los párrafos 43.8 y 44.4 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-N° 168), quinta edición, se proporciona información acerca de los aspectos técnicos de la predicción en estuarios. Si un servicio se enfrenta con un problema relacionado con un estuario y no posee los recursos necesarios para aplicarle un procedimiento de «routing» dinámico, podrá obtener resultados adecuados utilizando una relación empírica gráfica del caudal en la zona aguas arriba, el aumento del nivel del oleaje en mar abierto y el nivel en el estuario.

[D.1.3.] 3.9

Predicciones de caudales de estiaje

[D.1.3.] 3.9.1

Predicciones para abastecimientos de agua

Cuando sea necesario, deberían efectuarse predicciones a largo plazo (generalmente mensuales o estacionales) del flujo de los ríos a fin de permitir el funcionamiento eficiente de los sistemas de abastecimiento de agua. Habitualmente, esas predicciones tendrán que tener en cuenta las condiciones meteorológicas futuras y, por lo tanto, deberían expresarse por lo general en términos probabilísticos.

NOTAS:

- En el párrafo 44.5 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, se proporciona información sobre las técnicas utilizadas para las predicciones para abastecimiento de agua.
- En los párrafos 43.11 y 44.5 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, se tratan las técnicas para hacer predicciones para abastecimiento de agua, utilizando datos de entrada estocásticos en modelos continuos de escorrentía o análisis probabilísticos de productos de modelos basados en datos históricos.

[D.1.3.] 3.9.2

Predicciones de sequías

El servicio de predicción hidrológica debería mantenerse constantemente alerta para observar las condiciones que puedan indicar la iniciación de un período de sequía hidrológica y debería difundir con regularidad su evaluación de la situación.

NOTA: Véanse los párrafos 35.4 y 35.5 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición.

[D.1.3.] 3.10

Fenómenos de las regiones frías

[D.1.3.] 3.10.1

Nieve

NOTA: Véase el Capítulo 45 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, quinta edición, Sección 6.6.8 sobre las predicciones de fusión de nieve y el párrafo 42.6.2 sobre sensores remotos.

- En las zonas en que la precipitación puede tomar la forma de nieve o de lluvia, los procedimientos de información deberían garantizar que se informe al predictor tanto de la naturaleza de la precipitación como de su cantidad.
- En las partes accesibles de las cuencas de los ríos, deberían hacerse estudios de la nieve con la frecuencia necesaria para poder realizar una evaluación cuantitativa continua de la situación de la cobertura de nieve.

[D.1.3.] 3.10.2

Predicciones del hielo

NOTA: Véase el Capítulo 46 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición.

El servicio de predicción hidrológica debería determinar cuáles son los tramos de los ríos propensos a la formación de hielo y barreras de hielo. Durante las épocas de frío, esas zonas deberían inspeccionarse con regularidad. Deberían evaluarse también los efectos previstos de las barreras de hielo en los niveles de agua.

[D.1.3.] 3.11

Difusión de predicciones

El servicio de predicción hidrológica debería ocuparse no sólo de preparar las predicciones y avisos sino también de difundirlos entre los usuarios finales y de presentarlos en forma comprensible para éstos. Se deberían elaborar planes específicos de emergencia para informar al público y a diversos órganos responsables.

NOTA: En el párrafo 41.5 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, se examinan los métodos de difusión y diversas consideraciones al respecto.

[D.1.3.] 3.12

Evaluación y verificación de las predicciones

El servicio de predicción hidrológica debería vigilar constantemente la calidad de sus productos. Esa vigilancia debería centrarse en la utilidad de las predicciones para los posibles usuarios y, por lo tanto, la evaluación debería basarse en la precisión y la oportunidad de las predicciones, así como en la respuesta de los usuarios a las predicciones y avisos facilitados.

NOTA: En los párrafos 41.3 y 41.3.1 de la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168), quinta edición, se proporciona información sobre verificación de predicciones operativas.

[D.1.3.] 3.13

Preparación de los usuarios

El valor de las predicciones y avisos hidrológicos, en particular de las predicciones de crecidas, dependen del grado de comprensión y de la respuesta de los receptores. Para asegurar que se responda correctamente a las predicciones de crecidas, sobre todo de crecidas repentinas, debería establecerse un programa continuo de preparación del público, relativo a la interpretación de las predicciones de crecidas y a las medidas apropiadas que habrán de adoptarse.

[D.1.3.] 3.14

Cuencas internacionales

El intercambio de predicciones y avisos hidrológicos sobre cuencas internacionales debería organizarse sobre la base de acuerdos bilaterales o multilaterales (véase la nota a [D.1.2.] 2.7).

CAPÍTULO D.1.4

TRANSMISIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS

[D.1.4.] 1

Generalidades

[D.1.4.] 1.1

Todo Miembro debería garantizar la transmisión de las observaciones hidrológicas necesarias para satisfacer las necesidades nacionales.

[D.1.4.] 1.2

Las instalaciones de transmisión deberían estar organizadas para el intercambio internacional de datos hidrológicos, predicciones y avisos fundándose en acuerdos bilaterales o multilaterales (véase la nota a [D.1.2.] 2.7).

[D.1.4.] 1.2.1

El Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT) de la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM) debería utilizarse para el intercambio internacional de los datos hidrológicos cuando resulte práctico y económico hacerlo así.

NOTA: Otros sistemas pueden ser más adecuados para la transmisión de datos hidrológicos que no se necesiten en tiempo real.

[D.1.4.] 2

Sistema y plan de transmisión de datos

[D.1.4.] 2.1

En todo sistema de transmisión de datos deberían incluirse instalaciones de comunicación para transmitir, retransmitir y concentrar datos procedentes de un sistema de observación hidrológica, y también para distribuir datos elaborados a los usuarios.

[D.1.4.] 2.2

Todo plan de transmisión de datos hidrológicos debería incluir disposiciones referentes a la conexión de los sensores, equipo de comunicaciones, forma de los datos, personal operativo y procedimientos de funcionamiento.

[D.1.4.] 2.2.1

El plan de transmisión de datos hidrológicos debería ser

examinado y revisado cuando sea necesario.

[D.1.4.] 3

Organización de la transmisión de datos

[D.1.4.] 3.1

Todo Miembro debería garantizar que las instalaciones nacionales destinadas a la transmisión de datos hidrológicos satisfacen tanto las necesidades nacionales como las internacionales acordadas en virtud de acuerdos bilaterales o multilaterales.

[D.1.4.] 3.2

Todo Miembro debería garantizar que las características técnicas y métodos operativos utilizados sean compatibles con las redes regionales de telecomunicación y con sus correspondientes planes.

[D.1.4.] 3.3

Todo Miembro debería garantizar la concentración de los datos de observación hidrológicos y de los correspondientes datos meteorológicos procedentes de su propio territorio, así como la recepción de dichos datos por parte de los Miembros que así lo soliciten en virtud de acuerdos bilaterales o multilaterales.

[D.1.4.] 3.4

Todo Miembro debería garantizar la distribución de los datos y de la correspondiente información elaborada a sus usuarios y, cuando así se requiera, a otros Miembros, fundándose en acuerdos bilaterales o multilaterales.

[D.1.4.] 3.5

Cada Miembro debería en función de:

- a) sus necesidades nacionales, establecer un enlace de comunicación entre su(s) Servicio(s) Hidrológico(s) Nacional(es) y el Centro Meteorológico Nacional (CMN);
- b) sus necesidades internacionales en materia de intercambio, establecer un enlace de comunicación a través del CMN, con objeto de utilizar el SMT.

CAPÍTULO D.1.5

SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

[D.1.5.] 1

Generalidades

Cada Miembro debería establecer un programa de seguimiento y evaluación de la calidad del agua en función de sus necesidades nacionales con el fin de salvaguardar la calidad de sus recursos hídricos.

NOTA: La sección XIII del Anexo a estas reglas y el *Manual sobre el seguimiento y evaluación de la calidad del agua* (OMM-Nº 680), contienen directrices detalladas para establecer un programa de control de la calidad del agua.

[D.1.5.] 2

Programa de control

El programa de control de la calidad del agua debería constar de un cierto número de componentes interrelacionados. Estos son los siguientes:

- a) legislación y política sobre la calidad del agua;
- b) objetivos del programa;
- c) diseño del programa;
- d) actividades sobre el terreno;
- e) actividades de laboratorio;
- f) gestión de datos;
- g) análisis de datos;
- h) programa de garantía de calidad de los datos;
- i) interpretación y elaboración de informes;
- j) utilización de información y toma de decisiones.

[D.1.5.] 3

Objetivos del control

Los objetivos del programa de seguimiento y evaluación de la calidad del agua deberían definirse en función de los "productos" que el programa aportará y deberían estar directamente relacionados con las responsabilidades que emanen de la legislación, políticas y prioridades vigentes, así como con la infraestructura y recursos existentes.

[D.1.5.] 4

Diseño de la red

NOTA: Podrá conseguirse un adecuado control de la calidad del agua mediante la instalación y puesta en funcionamiento de una red de estaciones estratégicamente ubicadas para efectuar observaciones por largos períodos de tiempo (red básica) complementadas, cuando ello sea necesario, por estudios periódicos de corta duración realizados por estaciones intermedias (red secundaria), incluyendo el seguimiento y la evaluación de la contaminación accidental de masas de agua.

El diseño de la red deberá responder básicamente a los objetivos de control del programa y deberá estar coordinado con la red hidrológica en servicio.

[D.1.5.] 5

Parámetros de la calidad del agua

[D.1.5.] 5.1

La selección de los parámetros de la calidad del agua que habrán de evaluarse en ríos, lagos/embalses y aguas subterráneas debería basarse en estudios piloto previos. Los parámetros básicos se indican en la tabla de la sección XIII del Anexo.

[D.1.5.] 5.2

Deberían de tomarse medidas preventivas especiales para garantizar la integridad de las muestras durante las operaciones de almacenamiento y de transporte a los laboratorios encargados de los análisis.

NOTA: La calidad de ciertos parámetros, entre los que figuran la conductibilidad eléctrica, el pH, el oxígeno disuelto, la temperatura, el color, la turbiedad y la transparencia pueden registrar alteraciones durante el almacenamiento y deberían medirse in situ o en el campo inmediatamente después del muestreo.

[D.1.5.] 6

Recolección de muestras de agua

[D.1.5.] 6.1

Se debería determinar el tipo de muestra de agua superficial que ha de recolectarse en función de lo siguiente:

- a) los objetivos del programa, incluyendo los parámetros de interés y las exigencias de exactitud y precisión;
- b) las características del sistema que se estudia, incluyendo el régimen de las corrientes, las corrientes tributarias, la infiltración de aguas subterráneas, la homogeneidad de las masas de agua, las condiciones climáticas, los aportes antropogénicos, y la vida acuática presente.

NOTAS:

- a) Se distinguen tres tipos de muestras de agua: puntual o discreta; de calada integrada de profundidad y la comuesta.
- b) En la sección XIII, párrafo XIII-3.2 del Anexo se indican las directrices generales a las que habrá de ceñirse el muestreo.

[D.1.5.] 6.2

Las muestras de agua subterránea deberían recogerse en pozos de bombeo o en pozos artesianos. En los pozos abiertos o cuando haya que tomar muestras a profundidades determinadas, debería emplearse un muestreador de calada de pequeño diámetro.

[D.1.5.] 6.3

Cuando se tomen muestras para medidas de radioactividad deberían tomarse las precauciones necesarias para impedir la absorción de la radioactividad por las paredes del contenedor o por la materia en suspensión.

NOTA: Los materiales aceptables para contenedores son el polipropileno, el polietileno o el teflón.

[D.1.5.] 6.4

En el muestreo para análisis biológicos es preciso utilizar muestreadores y procedimientos especiales y éstos deberían ajustarse a las recomendaciones que se señalan en la sección XIII, párrafo XIII-4.3 del Anexo.

[D.1.5.] 6.5

La sección XIII, párrafo XIII-4.4 del Anexo ofrece directrices sobre la toma de muestras para la medida de la deposición atmosférica.

[D.1.5.] 6.6

El *Manual on Sediment Management and Measurement* (WMO-No. 948) (Manual de gestión y medición de sedimentos) contiene directrices sobre la toma de muestras para la medición de sedimentos.

[D.1.5.] 6.7

Para los lugares situados en un tramo no homogéneo de un río o corriente, se deberían tomar muestras, en una sección transversal del canal, en determinados puntos de la horizontal y a diversas profundidades.

[D.1.5.] 6.8

La frecuencia del muestreo se debería basar en la variabilidad de los datos, las concentraciones que habrán de medirse y los cambios que habrán de detectarse.

[D.1.5.] 7

Seguridad sobre el terreno

El personal que participe en operaciones sobre el terreno debería estar capacitado para reconocer las situaciones de posible riesgo y para tomar las medidas necesarias a fin de reducir dichos riesgos.

NOTA: Además de los peligros físicos, el agua sometida a muestreo podría contener sustancias químicas y/o bacteriológicas nocivas, por lo que conviene evitar el contacto con la piel. Para la manipulación de aguas negras y de efluentes industriales, será necesario adoptar precauciones especiales.

D.2 — SERVICIOS METEOROLÓGICOS PARA LA HIDROLOGÍA

[D.2.] 1

Generalidades

Cada Miembro debería hacer lo necesario para que la difusión de la información meteorológica que se precisa para satisfacer las necesidades de la hidrología sea segura, regular y adaptada a las necesidades manifestadas y establecidas.

[D.2.] 2

Observaciones meteorológicas para fines hidrológicos

[D.2.] 2.1

Cada Miembro debería difundir las observaciones meteorológicas procedentes de las estaciones que sean ne-

cesarias para analizar las reacciones de una cuenca fluvial ante las modificaciones de las condiciones meteorológicas.

[D.2.] 2.2

Las observaciones meteorológicas para fines hidrológicos procedentes de dichas estaciones deberían referirse a uno o varios de los elementos meteorológicos enumerados en [D.1.2.] 1.2, según proceda.

[D.2.] 2.3

La precisión de la observación de los elementos meteorológicos para fines hidrológicos y el intervalo entre cada informe de predicción hidrológica deberían ser los siguientes:

Elemento	Precisión	Intervalo entre cada informe de predicción hidrológica
a) Precipitación — cantidad y forma*	± 2 mm por debajo de 40 mm ± 5% por encima de 40 mm	6 horas**
b) Profundidad de la nieve	± 2 cm por debajo de 20 cm ± 10% por encima de 20 cm	24 horas
c) Equivalente en agua de la capa de nieve	± 2 mm por debajo de 20 mm ± 10% por encima de 20 mm	24 horas
d) Temperatura del aire	± 0,1°C	6 horas
e) Temperatura del termómetro húmedo	± 0,1°C	6 horas
f) Radiación resultante	± 0,4 MJ/m ² d por debajo de 8 MJ/m ² ± 5% por encima de 8 MJ/m ² d	24 horas
g) Evaporación en el tanque	± 0,5 mm	24 horas
h) Temperaturas de superficie-nieve	± 1°C	24 horas
i) Perfiles de temperatura-nieve	± 1°C	24 horas
j) Viento: velocidad dirección	± 10% } ± 10°C }	6 horas
k) Duración de la insolación	± 0,1 horas	24 horas
l) Humedad relativa	± 1 %	6 horas

* En ciertos lugares será necesario hacer una distinción entre las distintas formas de precipitación (líquida o sólida).

** En las cuencas expuestas a crecidas repentinas, es a menudo necesario que los datos se transmitan cada dos horas o menos; en otros lugares, los valores diarios pueden ser suficientes.

[D.2.] 3

Predicciones y avisos meteorológicos para fines hidrológicos

[D.2.] 3.1

Los Miembros deberían asegurarse de que se proporcionen rutinariamente al predictor hidrológico predicciones y avisos para fines hidrológicos, según se requiera.

[D.2.] 3.2

El programa de predicciones y avisos para la hidrología debería incluir:

- a) el tipo de información meteorológica enumerada en la Sección [D.2.] 2.3. Deberían hacerse predicciones regulares y detalladas que especifiquen con la mayor extensión posible las variaciones locales y regionales;
- b) las siguientes predicciones:
 - i) previsión cuantitativa de la precipitación (PCP) para períodos de hasta 72 horas;
 - ii) temperatura del aire, humedad, punto de rocío y condiciones del viento y del cielo para un período de hasta cinco días;
 - iii) velocidad y dirección del viento para 24 horas o más;
- c) avisos de condiciones meteorológicas peligrosas, especialmente en los casos siguientes:
 - i) precipitación fuerte (cantidad e intensidad);
 - ii) cambios bruscos y persistentes de la temperatura por encima o por debajo del nivel de congelación;
 - iii) vientos fuertes.

[D.2.] 4

Publicación y difusión de datos climatológicos para fines hidrológicos

[D.2.] 4.1

Cada Miembro debería publicar anualmente sus datos climatológicos para fines hidrológicos, además de los que se publican como datos climatológicos.

[D. 2.] 4.2

La publicación de datos climatológicos para fines hidrológicos debería hacerse conforme a lo indicado en [B.1.] 4.1.1, [B.1.] 5.2.2, [B.1.] 5.2.3 y [B.1.] 5.2.4 del Reglamento Técnico, que se refieren a la publicación de datos climatológicos, excepto que deben ser agrupados de acuerdo con las principales cuencas fluviales.

NOTA: Por razones de conveniencia, [B.1.] 4.1.1, [B.1.] 5.2.2, [B.1.] 5.2.3 y [B.1.] 5.2.4 figuran en el Apéndice al presente capítulo.

[D. 2.] 4.3

Los datos climatológicos publicados o difundidos para fines hidrológicos deberían incluir las frecuencias, sumas o valores medios, según convenga, de los siguientes elementos y para las unidades de tiempo que se indican en [B.1.] 4.1.1, [B.1.] 4.2.1 y [B.1.] 4.2.2 del Reglamento Técnico:

- a) temperatura del aire;
- b) humedad relativa;
- c) velocidad y dirección del viento;
- d) precipitación (cantidad e intensidad);
- e) radiación solar;
- f) capa de nieve;
- g) evaporación medida en los tanques;
- h) temperatura del termómetro húmedo;
- i) duración de la insolación.

NOTA: Por razones de conveniencia, [B.1.] 4.1.1, [B.1.] 4.2.1 y [B.1.] 4.2.2 figuran en el Apéndice al presente capítulo.

APÉNDICE

(Véase [D.2.] 4.2 y 4.3)

ESTADÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

Reproducción del Capítulo [B.1.] del Volumen I

[B.1.] 4.1

Unidades de tiempo

[B.1.] 4.1.1

Las unidades de tiempo empleadas para establecer datos climatológicos deberían escogerse entre las siguientes:

- a) el año civil del calendario gregoriano;
- b) los meses de dicho calendario;
- c) cuando los datos climatológicos lo permitan, el día solar medio, de medianoche a medianoche, según la hora local o la hora solar media del lugar de observación.

[B.1.] 4.2

Frecuencias, sumas y medias climatológicas

[B.1.] 4.2.1

Las frecuencias, sumas y medias, según corresponda, de las observaciones de un elemento climatológico a una hora fija del día, o de los valores extremos del día, deberían calcularse sea para unidades individuales de tiempo, sea para una serie de unidades periódicas de tiempo (por ejemplo: el mes de enero de diez años consecutivos, etc.), utilizando la designación internacional de tiempo.

[B.1.] 4.2.2

Las frecuencias, sumas y medias, según corresponda, de todos los datos siguientes o de la mayor parte de ellos, obtenidas en cierto número de estaciones climatológicas seleccionadas, deberían calcularse para cada mes:

- a) presión atmosférica a horas fijas y reducida al nivel de referencia correspondiente a la estación, como se indica en [B.1.] 5.2.2.2 b);
- b) temperatura del aire a horas fijas;
- c) temperaturas extremas diarias del aire;
- d) humedad relativa a horas fijas;
- e) tensión del vapor a horas fijas;

- f) velocidad del viento a horas fijas y durante períodos fijos;
- g) dirección del viento a horas fijas
- h) nubosidad a horas fijas;
- i) cantidad de precipitaciones durante períodos fijos;
- j) duración de la insolación en períodos fijos.

[B.1.] 5.2.2

La información general contenida en los informes climatológicos anuales debería consistir en:

[B.1.] 5.2.2.1

Un preámbulo con:

- a) las horas fijas empleadas;
- b) los tipos de instrumentos utilizados;
- c) los métodos para introducir correcciones;
- d) los métodos para calcular medias convencionales;
- e) las horas en que se leen las temperaturas extremas.

[B.1.] 5.2.2.2

Una lista para cada estación, en la que figure:

- a) el nombre y las coordenadas geográficas;
- b) la altitud del nivel de referencia para la presión de la estación;
- c) las alturas del depósito del termómetro, de la cabeza del anemómetro y del reborde del pluviómetro sobre el nivel del suelo.

NOTA : En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-Nº 100) se dan modelos de tablas para los resúmenes climatológicos.

[B.1.] 5.2.3

Si el idioma principal de una publicación no fuera el español, francés, inglés o ruso, todos los títulos de las ta-

blas deberían estar en uno de los idiomas oficiales o en símbolos o letras internacionalmente reconocidos.

NOTA: Aunque el árabe y el chino son también lenguas oficiales de la OMM, el Congreso todavía no ha aprobado su empleo a todos los niveles de las actividades de la Organización.

[B.1.] 5.2.4

Cada Miembro debería publicar o facilitar, a escala na-

cional y regional, por lo menos los siguientes datos de radiación:

- a) en las estaciones radiométricas principales, los totales horarios de la radiación solar global y de la radiación celeste [véase el *Reglamento Técnico*, Volumen I, [B.1.] 5.2.4 a)];
- b) en las estaciones radiométricas ordinarias, los totales diarios de la radiación solar global [véase el *Reglamento Técnico*, Volumen I, [B.1.] 5.2.4 b)].

D.3 — BIBLIOGRAFÍA Y PUBLICACIONES HIDROLÓGICAS

[D.3.] 1

Documentos y resúmenes hidrológicos

[D.3.] 1.1

Forma general de presentación de los documentos y resúmenes hidrológicos

[D.3.] 1.1.1

Las publicaciones oficiales en que figuren los resultados de los estudios realizados en la esfera de la hidrología, y que sean susceptibles de una difusión a nivel internacional, deberían incluir un resumen en, por lo menos, uno de los siguientes idiomas oficiales de la OMM: español, francés, inglés o ruso,

NOTA: Aunque el árabe y el chino son también lenguas oficiales de la OMM, el Congreso todavía no ha aprobado su empleo a todos los niveles de las actividades de la Organización.

[D.3.] 1.1.2

El sistema de transliteración cirílica de la Organización Internacional de Normalización (ISO) debería utilizarse en todos los documentos y publicaciones hidrológicas de uso internacional.

[D.3.] 1.1.3

Los microfilmes, perforados o no perforados, utilizados para la reproducción de documentos hidrológicos deberían tener una anchura de 16, 35 ó 70 mm.

[D.3.] 1.2

Clasificación de los documentos y resúmenes hidrológicos

Los documentos, resúmenes y bibliografías hidrológicas oficiales destinados a la difusión internacional deberían clasificarse de conformidad con lo dispuesto en la Sección 556 de la Clasificación Decimal Universal (CDU) que figura en el Apéndice al presente capítulo, y llevar el número correspondiente de esa clasificación.

[D.3.] 1.3

Preparación de los catálogos de documentos hidrológicos

[D.3.] 1.3.1

Las fichas de catálogo preparadas por los Miembros, destinadas a una difusión internacional, deberían llevar impresos los números CDU correspondientes de los documentos, libros, folletos y periódicos hidrológicos a que se refieren dichas fichas,

[D.3.] 1.3.2

Las fichas de catálogo preparadas por los Miembros, y que se refieren a libros, folletos y periódicos, deberían contener la siguiente información: indicación de la Clasificación Decimal Universal; nombre del autor (o nombres de los autores); título y eventualmente su traducción; nombre del redactor jefe; número de la edición; número del volumen o del tomo o el año de publicación o de reimpresión (en el caso de una serie o de una publicación periódica); número de entrega; lugar de la publicación; nombre del editor; la fecha de publicación, número de volúmenes de una obra determinada; formato, paginación del libro o del artículo; las ilustraciones y placas; indicación de la colección o serie a que pertenece la obra, eventualmente una nota indicando que existe un resumen del autor, y cualquier otra precisión que permita aclarar el título.

APÉNDICE

(Véase [D.3.] 1.2)

CLASIFICACIÓN DECIMAL UNIVERSAL DE HIDROLOGÍA

NOTA: La Clasificación Decimal Universal (CDU) está patrocinada a nivel internacional por la Federación Internacional de Documentación (FID), con cuya autorización se reproduce, en el presente documento, el nuevo plan de hidrología general (CDU 556), así como las tablas principales y secundarias aplicables a la hidrología. La estructura de la CDU y las explicaciones de la notación utilizada en ella se dan en la "Medium English Edition, FID N° 571, 1985". La lista que se presenta a continuación se actualizará en cuanto una nueva edición de la CDU esté disponible.

TABLAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS APLICABLES A LA HIDROLOGÍA

0	GENERALIDADES
3	CIENCIAS SOCIALES
31	Estadística. Demografía. Sociología
32	Política
33	Economía
34	Derecho
35	Administración Pública
37	Educación
5	MATEMÁTICAS. CIENCIAS NATURALES
51	Matemáticas
519.2	Cálculo de probabilidades y estadística matemáticas
52	Astronomía. Astrofísica. Investigación espacial. Geodesia
520	Instrumentos y técnicas
527	Astronomía náutica y aeronáutica. Navegación
528	Geodesia. Topografía. Fotogrametría. Medición a distancia. Cartografía
53	Física
531	Mecánica General. Mecánica de los sólidos y cuerpos rígidos
532	Mecánica de los fluidos. Hidráulica
533	Mecánica de los cuerpos gaseosos. Aerodinámica. Física del plasma
536	Calor. Termodinámica
539	Constitución física de la materia
54	Química
546	Química inorgánica
547	Química orgánica
548	Cristalografía
55	Geología y ciencias afines. Meteorología
550	Ciencias afines a la Geología
.3	Geofísica
.34	Terremotos. Sismología
.37	Electricidad de la tierra. Corrientes telúricas
.38	Magnetismo terrestre
551	Geología General. Meteorología. Climatología. Geología histórica. Paleografía
.2	Geodinámica interna (fenómenos endógenos)
.3	Geodinámica externa (fenómenos exógenos)
.32	Glaciología. Ciencias de los glaciares
.33	Geología glacial
.34	Acción del frío sobre las piedras y el suelo. Suelos helados. Frío permanente
.4	Geomorfología. Estudio de la forma física de la tierra

- .46 Oceanografía. Topografía submarina
- .5 Meteorología*
- .7 Geología histórica. Estratigrafía
- .8 Paleografía
- 552 Petrología. Petrografía
- 553 Geología económica. Minerografía. Formación y yacimientos de minerales
- 556 Hidrosfera. Agua en general. Hidrología
 - .1 Ciclo hidrológico. Propiedades. Condiciones
 - .3 Hidrología del agua subterránea. Geohidrología. Hidrogeología
 - .5 Hidrología del agua de superficie. Hidrología terrestre
- 56 Paleontología
- 57 Ciencias biológicas
- 58 Botánica
- 59 Zoología

- 6 **CIENCIAS APLICADAS. MEDICINA. TÉCNICA**
- 61 Medicina
- 62 Ingeniería técnica e industria en general
 - 621 Técnica general. Ingeniería mecánica. Técnica nuclear. Electrotécnica
 - .22 Energía hidráulica. Fuerza hidroeléctrica
 - .3 Electrotecnia
 - .39 Telecomunicaciones
 - 623 Ingeniería militar y naval
 - 624 Ingeniería de la construcción en general
 - 625 Técnica de las vías de comunicación terrestre. Ferrocarriles. Carreteras. Caminos
 - 626 Construcciones hidráulicas en general. Canales. Riegos. Drenajes
 - 627 Cursos de agua naturales. Trabajos hidráulicos en los ríos y en el mar. Embalses
 - 628 Técnica sanitaria. Ingeniería sanitaria. Agua. Instalaciones sanitarias. Luminotecnia
 - 629 Técnica de los medios de transporte. Ingeniería del transporte
 - 63 Agricultura. Silvicultura. Zootecnia. Caza. Pesca
 - 630 Silvicultura
 - 633 Cultivos específicos
 - 634 Horticultura en general
 - 635 Horticultura. Floricultura. Jardinería
 - 636 Zootecnia en general
 - 639 Caza. Pesca. Piscicultura
 - 65 Gestión y organización de la industria, del comercio y de las telecomunicaciones
 - 68 Industrias diversas
 - 681.2 Construcción de instrumentos en general. Balanzas
 - .3 Equipo para proceso de datos. Calculadoras. Ordenadores
 - .5 Ingeniería del control automático
 - 69 Materiales de construcción. Trabajos de construcción

- 7 **ARTE. ARQUITECTURA. FOTOGRAFÍA. MÚSICA. JUEGOS. DEPORTES**
- 71 Ordenación del territorio. Planificación rural. Urbanismo. Arquitectura de jardines. Configuración del paisaje
- 72 Arquitectura
- 77 Fotografía
- 79 Diversiones. Juegos. Deportes

- 8 **LINGÜÍSTICA. FILOLOGÍA. LITERATURA**

- 9 **GEOGRAFÍA. BIOGRAFÍAS. HISTORIA**
- 91 Geografía
- 929 Estudios biográficos y relacionados
- 93/99 Historia

* El esquema completo de la CDU 551.5 se reproduce en el Apéndice C del Volumen I del *Reglamento Técnico* de la OMM

SECCIÓN 556 — HIDROSFERA. AGUA EN GENERAL. HIDROLOGÍA

- 556 **HIDROSFERA. AGUA EN GENERAL. HIDROLOGÍA**
 Trabajos integrados sobre aguas superficiales y subterráneas
 →532 Mecánica de los fluidos. Hidráulica
 551.4 Geomorfología. Estudio de la forma física de la tierra
 551.46 Oceanografía. Topografía submarina
 621.6 Máquinas y dispositivos para el transporte de y almacenamiento de gases y fluidos
 626/627 Construcciones hidráulicas
 628.1/3 Agua (abastecimiento, tratamiento, consumo y utilización)
- 556.01 Teoría. Principios de investigación
 .011 Principios teóricos
 .012 Investigación. Metodología. Requisitos, etc.
 .013 Investigación teórica. Uso de modelos
 .014 Investigación experimental (de campo y en laboratorio)
- 556.02 Trabajos prácticos: organización, programas, proyectos
 Detalles de organización :061...
 Técnicas de organización y administración :65...
 .023 Laboratorios. Trabajo de laboratorio
 .024 Estaciones. Trabajo de campo en general
 .025 Servicios y redes
 .028 Representación experimental, modelos básicos
- 556.04 Observaciones. Datos. Registros
 .042 Métodos de observación
 .043 Datos manuales. Recogida. Procesamiento
 .044 Datos de observación de fenómenos hidrológicos específicos
 .045 Registros
 .047 Análisis hidrológico
 .048 Cómputo hidrológico. Coeficientes
- 556.06 Previsiones hidrológicas
 "32" Previsiones estacionales
 (1/9) Previsiones regionales
- 556.07 Equipos, instalaciones, aparatos para el trabajo hidrológico
 .072 Modelos, analogías, etc. Subdividido como en 53.072
 .078 Aparatos y equipos para el estudio de fenómenos hidrológicos, por ejemplo, 556.132.8.078 Tanques de evaporación
- 556.08 Medidas: principios e instrumentos. Subdividido como en 53.08
 .082 Principios de la medición y de los instrumentos de medida
 .084 Instrumentos: diseño, construcción y componentes
 .085 Indicadores. Escalas, etc.
 .088 Errores de medición, corrección y evaluación
- 556.1 **CICLO HIDROLÓGICO. PROPIEDADES. CONDICIONES**
 .11 Propiedades del agua
 .113 Propiedades físicas del agua.
 .2 Temperatura cf. 556.535.4/.5 y 556.555.4/.5
 .3 Turbiedad
 .4 Color
 .114 Propiedades químicas del agua
 Más detalles: 54...
 :541.132 Disociación electrolítica y pH (concentración de iones H)
 :543.242 Análisis de oxidación-reducción. Potencial redox
 :543.319 Alcalinidad
 .2 Gases disueltos en el agua
 .3 Dureza del agua
 .4 Sabor y olor del agua
 .42 Sabor del agua

- .44 Olor del agua
- .5 Salinidad
- .6 Elementos del agua. Contenido inorgánico del agua
Subdividido como en 546
 - .6.027 Contenido del isótopo (en general)
 - .611*3 Contenido de tritio (3H)
 - .679 Elementos radiactivos (en general)
Cf. 556.388; 556.535.8; 556.555.8
- .7 Contenido químico orgánico del agua
Subdividido como 547... (o :547)
- .115 Propiedades biológicas y microbiológicas del agua
Más detalles: 57/59, por ejemplo
:579.8 Bacterias, microorganismos
:582 Plantas, flora
:592/599 Animales, fauna
- 556.12 Precipitaciones: agua, nieve, etc. (como elementos del ciclo hidrológico)
 - 551.57 Vapor de agua, precipitación e hidrometeoros (meteorología)
 - "32" Variaciones estacionales
 - "45" Variaciones anuales
 - (1/9) Distribución geográfica, por zonas
 - .04 Observaciones, datos y registros, por ejemplo, índice de fusión de nieve y glaciares
- .121 Cuantía y duración de la precipitación
 - .2 Media o promedio
 - .3 Máximo
 - .4 Mínimo
 - .6 Intensidad
 - .7 Duración
 - .8 Relación entre duración e intensidad
- .123 Precipitación. Subdividido como en 556.121 y se usa "32" y "45" para variaciones estacionales y anuales
- .124 Nieve y hielo. Manto de nieve. Glaciar
 - 551.32/.34
 - .1 Cantidad y duración. Subdividido como en 556.121
 - .2 Cubierta de nieve: distribución y equivalente en agua
 - .3 Fusión de la nieve: índice, relaciones, etc.
 - .4 Fusión de los glaciares
- 556.13 Evaporación. Evapotranspiración. Transpiración (en el ciclo hidrológico)
 - .131 Evaporación total. Evapotranspiración
 - .1 Cálculo y determinación: métodos y equipo
 - .11 Métodos de equilibrio de las aguas
 - .112 Evaporimetría y evaporímetros
 - .114 Lisimetría y lisímetros
 - .116 Variaciones de la humedad del suelo y del nivel de las aguas subterráneas
 - .12 Métodos de equilibrio de energía
 - .13 Flujo de vapor, difusión turbulenta
 - .14 Advección de la humedad
 - .18 Métodos de cálculo de fórmulas empíricas
 - .2 Cantidades de evaporación total
 - .3 Condensación de la superficie de la tierra
 - .5 Control de la evaporación →556.18
- .132 Evaporación
 - .2 Evaporación en cuerpos de agua
 - .28 Evaporación en estanques
 - .4 Evaporación en nieve y hielo, antiguo número 556.134
 - .6 Evaporación en la tierra (suelo, campos, bosques), antiguo número 556.133
 - .8 Evaporación en tanques
- 556.14 Infiltración (como elemento en el ciclo hídrológico)
 - .142 Humedad del suelo →631.432 (Agricultura)
 - .143 Almacenamiento de agua subterránea →556.32 (Distribución vertical)
- 556.15 Almacenamiento del agua (como elemento en el ciclo hidrológico)
 - .152 Retención de superficie
 - .153 Canal (y márgenes) de almacenamiento

- .5 Almacenamiento en los márgenes
- .155 Lago de almacenamiento. Embalse de almacenamiento →627.81 Presas
- .157 Almacenamiento de valle
- 556.16 Escorrentía de aguas
 - "32" Estacional
 - "45" Anual
- .01 Teoría de la escorrentía
- .044 Datos de observación, por ejemplo: profundidad de escorrentía
- .045 Registros, por ejemplo: registros del flujo de escorrentía
- .047 Análisis. Hidrografías. Unidades hidrográficas
- .048 Cálculos y coeficientes
- .06 Previsiones
- .161 Relación entre la precipitación y la escorrentía de aguas. Factores de las escorrentías
- .162 Distribución. Frecuencia. Útese "32", "45" y (1/9)
- .164 Escorrentía de superficie. Flujo sobre tierra
- .165 Escorrentía de aguas normal
- .166 Escorrentías máximas. Crecidas. Inundaciones
 - 627.51
 - "321" Primavera (fusión de la nieve)
 - "324" Invierno
- .2 Inundaciones de tormentas
- .4 Crecidas repentinas
- .167 Escorrentía mínima. Flujo de base. Sequía
 - .2 Flujo de base
 - .6 Secado. Sequía
- .168 Escorrentía de aguas subterránea →556.332.2 Acuíferos
- 556.18 Gestión de las aguas. Hidrología aplicada. Control por el hombre de las condiciones hidrológicas
 - Dividido por: 626/627, :628..., :631.6..., etc.
- .182 Uso conjunto de fuentes de aguas superficiales y subterráneas
- 556.3 **HIDROLOGÍA DEL AGUA SUBTERRÁNEA. GEOHIDROLOGÍA. HIDROGEOLOGÍA**
 - 550.8 Métodos de investigación geológica
 - 551.44 Espeleología. Aguas subterráneas, etc.
 - .01 Teoría de las aguas subterráneas, principios de búsqueda e investigación
 - .02 Organización práctica del trabajo: proyectos, laboratorios, estaciones, servicios y redes
 - .04 Observaciones, datos y registros
 - .06 Previsiones
 - .07 Equipo, aparatos, modelos, etc.
 - .08 Mediciones: principios e instrumentos
- 556.31 Propiedades del agua subterránea. Subdividido como en 556.11, por ejemplo
 - .313 Propiedades físicas del agua subterránea: temperatura, color, turbiedad, etc.
 - .314 Propiedades químicas y fisicoquímicas del agua subterránea: dureza, sabor y olor, salinidad, contenido químico
 - .315 Propiedades biológicas y microbiológicas del agua subterránea: bacterias, plantas, animales
- 556.32 Agua subterránea. Distribución vertical en el suelo
 - .322 Zona de ventilación. Agua en suspensión. Agua vadosa
 - .2 Agua de suelo
 - .4 Agua pelicular y de gravedad
 - .6 Agua capilar
 - .324 Zona de saturación. Agua subterránea, freática (en sentido estricto)
- 556.33 Acuíferos. Estratos que contienen agua
 - .332 Acuíferos ilimitados. Acuíferos freáticos
 - .2 Capacidad de almacenamiento
 - .4 Permeabilidad de las formaciones rocosas
 - .04 Observaciones y pruebas, datos, registros, análisis
 - .042 Ensayos de bombeo
 - .048 Coeficiente de almacenamiento. Coeficiente de drenaje
 - .41 Impermeable, sin contenido de agua. Acuífugos
 - .42 Impermeable, con contenido de agua. Acuícludos
 - .43 Estratos con contenido de agua de lenta permeabilidad
 - .44 Estratos permeables con contenido de agua

- .46 Formaciones kársticas →551.435.8 Geomorfología del karst
- .5 Nivel hidrostático. Superficie freática
- .52 Fluctuaciones (o nivel hidrostático)
 - "32" Fluctuaciones estacionales
 - :551.466.7 Mareas
 - :550.348 Perturbaciones sísmicas, temblores, terremotos
 - :551.54 Efectos de la presión atmosférica
 - :556:53 Ríos y corrientes (como factores de fluctuación)
- .6 Restablecimiento del nivel hidrostático.
- .62 Restablecimiento natural del nivel hidrostático y sus fuentes
 - :556.12 Precipitación, llluvias, etc.
 - :556.168 Escorrentía subterránea
 - :556.55 Lagos y embalses
- .625 Agua juvenil
- .629 Otras fuentes de restablecimiento natural del nivel hidrostático
- .63 Restablecimiento artificial del nivel hidrostático y sus métodos →628.112.2/.3
- .632 Fosos y pozos
- .633 Encharcamiento
- .634 Pozos de inyección
- .636 Restablecimiento inducido del nivel hidrostático
- .639 Otros métodos de restablecimiento artificial del nivel hidrostático
- .7 Infiltración de agua del mar →536.388 Contaminación
- .72 Interfase agua dulce-salada
- .78 Métodos de prevención (de infiltración de agua salada)
- .334 Aguas confinadas. Aguas artesianas
 - Subdividido como en 556.332 cuando convenga, añadiendo:
 - .3 Compresibilidad
 - .5 Superficie piezométrica
- .336 Acuíferos aislados. Subdividido como en 556.332 cuando convenga
- 556.34 Corriente subterránea. Hidráulica de los pozos
 - 532.5 Hidrodinámica. Corriente de los fluidos
 - 628.112 Pozos (abastecimiento de agua)
 - .042 Pozos de observación
- .342 Velocidad de la corriente. Gradiente
 - .2 Ley de Darcy
 - 532.546 Corriente en un medio poroso
- .343 Flujo hacia los pozos. Descenso de nivel
 - .2 Flujo radial
 - .22 Flujo constante
 - .24 Flujo no constante
 - .3 Pozos parcialmente penetrantes
 - .4 Interferencia de los pozos
 - .5 Pérdidas de los pozos
- 556.36 Manantiales y fuentes. Cf. 556.182 →628.112.1 Captación de aguas
 - .362 Manantiales de depresión
 - .363 Manantiales de contacto
 - .364 Manantiales artesianos
 - .366 Manantiales de fisura
 - .367 Manantiales intermitentes
 - .368 Manantiales volcánicos
 - 553.7 Manantiales minerales
- 556.38 Tierras con agua subterránea. Gestión del agua subterránea
 - Cf. 556.182 Uso conjunto de fuentes de aguas superficiales y subterráneas
 - .02 Organización práctica del trabajo: proyectos, redes, etc.
 - .382 Caudal asegurado
 - .383 Sobreexplotación
 - .388 Contaminación del agua subterránea. Medidas de protección
 - 556.332.7 Infiltración de agua del mar
 - 504.43 Medioambiente de aguas subterráneas
 - .2 Protección de las zonas de tomas y puentes
 - .4 Protección de manantiales y pozos

- 556.5 **HIDROLOGÍA DEL AGUA DE SUPERFICIE. HIDROLOGÍA TERRESTRE**
- 551.435 Geomorfología de la superficie de las aguas
 - .01 Teoría, principios de investigación y búsqueda
 - .02 Organización práctica del trabajo: estaciones, redes, etc.
 - .028 Cuencas representativas y experimentales
 - .04 Observaciones, datos y registros
 - .06 Previsiones
 - .07 Equipo, aparatos, modelos
 - .072 Modelos. Subdividido como en 53.072
 - .08 Mediciones: principios e instrumentos. Subdividido como en 53.08
- 556.51 Superficies de drenaje o de captación de agua. Depósitos de recepción. Cuencas de los ríos
- 551.435.164 Geomorfología: cuencas de captación de agua
 - .028 Cuencas representativas y experimentales
 - .512 Equilibrio de las aguas en las superficies de drenaje
 - .513 Zona de superficie de drenaje
 - .514 Forma de las superficies de drenaje
 - .515 Inclinación de las superficies de drenaje
 - .516 Densidad de la corriente
- 556.52 Sistemas fluviales. Potamología
- .522 Clasificaciones. Ordenamiento de las corrientes
 - .523 Corrientes grandes
 - .524 Tributarias
- 556.53 Ríos. Corrientes. Canales
- .531 Propiedades del agua de los ríos. Agua fluvial. Subdividido como un 556.11, por ejemplo
 - .3 Propiedades físicas: temperatura, turbiedad, color
 - .4 Propiedades químicas: dureza, sabor y olor
 - .5 Propiedades biológicas y microbiológicas
 - .532 Equilibrio de las aguas de las corrientes perennes
 - :556.16 Escorrentía de aguas
 - .535 Regímenes fluviales
 - .2 Nivel
 - .3 Caudal
 - .4 Régimen termal
 - .5 Régimen de hielos →551.326.83 Hielo en la corriente
 - .6 Transporte de sedimentos →532.584 Hidrodinámica
 - .8 Contaminación (de los ríos) →504.453 Medio ambiente fluvial, ríos, corrientes
 - .536 Hidráulica e hidrodinámica de los ríos. Corrientes
 - .2 Hidráulica fluvial →532.5 Hidrodinámica
 - .3 Corrientes, corrientes de los ríos
 - .3 Olas
 - .5 Influencia del viento Cf. 551.556.8 (Meteorología)
 - .537 Formación del cauce y de las riberas
 - 551.435.1 Geomorfología de los ríos
 - 627.4 Mejora de los ríos y rectificación de los cauces
 - .538 Corrientes de agua intermitentes, efímeras
 - .1/7 Subdividido como en 556.531/.537, cuando convenga
- 556.54 Desembocaduras. Estuarios. Deltas. Agua fluvio-marina. Subdividido como en 556.53, cuando convenga
- 551.435.126 Geomorfología de los deltas
 - 551.468.6 Estudios. Intercambio de agua dulce y salada
 - .541 Propiedades del agua en las desembocaduras de los ríos y estuarios. Agua fluvio-marina. Subdividido como en 556.11
 - .542 Equilibrio de las aguas en las desembocaduras de los ríos y estuarios
 - .545 Regímenes de los estuarios. Contaminación de los estuarios. Intercambio de agua dulce y salada
 - 504.454 Medioambiente fluvio-marino. Desembocaduras de los ríos. Estuarios
 - .546 Hidráulica e hidrodinámica de los estuarios
- 556.55 Lagos. Estanques. Pantanos. Limnología
- 551.435.38 Geomorfología de las cuencas de los lagos
 - (211) Polar
 - (212) Templado
 - (213) Tropical y subtropical
 - .551 Propiedades del agua de los lagos, estanques, embalses. Agua límnic. Subdividido como en 556.11

- .552 Equilibrio de las aguas en los lagos, etc.
 - .555 Regímenes de los lagos.
 - .2 Nivel
 - .3 Caudal afluente y efluente
 - .4 Régimen termal. Estratificación termal
 - .41 Epilimnio
 - .42 Metalimnion. Termoclina
 - .43 Hipolimnión
 - .5 Régimen de hielos →551.326.85 Hielo en lagos
 - .6 Sedimentación y atarquinamiento (en lagos)
 - .7 Estratificación térmica
 - .8 Contaminación de los lagos
 - 504.455 Medio ambiente del agua dulce, lagos, embalses y estanques
 - .556 Hidrodinámica de los lagos. Hidráulica lacústica. Corrientes
 - 532.5 Hidrodinámica
 - .2 Corrientes
 - .3 Olas
 - .4 Seiches
 - .5 Influencias del viento. Sobrelevación debida al viento
Cf. 551.556.8 (Meteorología)
 - .557 Orillas de los lagos y sus alteraciones
 - 551.435.3 Geomorfología de los lagos
 - :627.8 Presas
 - 556.56 Pantanos. Cenagales. Marjales
 - :626.86 Drenaje de los pantanos
 - 551.435.1 Geomorfología de los pantanos
 - .561 Propiedades de las aguas de los pantanos. Agua palustre. Subdividido como un 556.11
 - .562 Equilibrio de las aguas en los pantanos
 - .565 Regímenes de los pantanos. Contaminación de los pantanos. →Medioambiente del agua dulce, pantanos
 - .566 Hidráulica e hidrodinámica de los pantanos. Hidráulica palustre
 - 532.5 Hidrodinámica
-

A N E X O

INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE OBSERVACIÓN HIDROLÓGICOS

	<i>Página</i>
Definiciones	III–An. – 3
I — Calibración de molinetes en tanques rectilíneos abiertos	III–An. – 9
II — Dispositivos de medición del nivel del agua	III–An. – 13
III — Equipo de sondeo y suspensión directos	III–An. – 19
IV — Molinetes de elementos giratorios	III–An. – 23
V — Vertederos precalibrados para la determinación del caudal	III–An. – 25
VI — Establecimiento y explotación de una estación hidrométrica	III–An. – 27
VII — Determinación de la relación nivel-caudal	III–An. – 41
VIII — Estimación de la incertidumbre de las mediciones del caudal	III–An. – 45
IX — Utilización de canales aforadores para la medición del caudal de la corriente	III–An. – 49
X — Métodos de dilución para la medición del caudal de la corriente	III–An. – 53
XI — Ecosondas para la medición de la profundidad del agua	III–An. – 55
XII — Medición del caudal por el método del bote móvil	III–An. – 57
XIII — Seguimiento y evaluación de la calidad del agua	III–An. – 59

DEFINICIONES

NOTA: Los siguientes términos se emplean en el anexo del Volumen III – Hidrología – del *Reglamento Técnico* con los significados que se dan a continuación. No se repiten aquí los términos que ya han sido definidos al principio del *Reglamento Técnico*.

Acidez. Capacidad cuantitativa de medios acuosos de reaccionar con iones hidroxílicos.

Adsorción. Retención superficial de moléculas, átomos e iones de sólidos, líquidos o gases por un sólido o líquido.

Agua muerta. Agua que no circula o lo hace lentamente.

Altura del vertedero. Elevación del agua sobre el punto más bajo de la cresta del vertedero, medido en un punto situado aguas arriba (el punto de medición depende del tipo de vertedero que se utilice).

Altura sobre el vertedero. Altura entre el lecho y el punto más bajo de la cresta, medida aguas arriba.

Barra de molinete. Barra rígida, ligera y portátil graduada para medir la profundidad y situar el molinete para medir la velocidad en aguas poco profundas y vadeables.

NOTA: Se puede utilizar desde embarcaciones o capas de hielo de poca profundidad.

Barra lastrada. Barra flotante con un lastre en su base de forma que se desplaza en posición casi vertical; la porción sumergida puede tener una longitud ajustable.

Bastidor (o soporte) de muestreo. Soporte de hierro destinado a sostener botellas de muestreo de diferentes tamaños.

Cable de suspensión. Cable del que está suspendido el molinete y que posiblemente posee un núcleo eléctrico aislado.

Caída. Diferencia de elevación de la superficie del agua entre dos puntos de un curso de agua en un momento determinado.

Calibración (tarado). Determinación experimental de las relaciones entre la cantidad a medir y la indicación del instrumento o proceso que las mide.

Canal aforador (canal aforador de la sección, canal aforador de onda estacionaria). Canal aforador con estrechamientos laterales y/o en el fondo dentro del cual la corriente cambia para pasar del régimen subcrítico al supercrítico, determinándose el caudal por el área de la sección transversal y la velocidad de la corriente a una profundidad crítica en la sección.

Canal de descarga. Cauce artificial de forma y dimensiones claramente especificadas que se puede utilizar para la medición del caudal.

Cauce estable. Canal cuyo fondo y cuyos lados bajo control se mantienen sensiblemente estables durante un considerable período de tiempo y en el que la sedimentación y la erosión durante los períodos de crecimiento y decrecimiento de la corriente son inapreciables.

Cauce inestable. (Véase Cauce estable.)

Celeridad. Velocidad de propagación de una onda.

Compuerta. Muro o conjunto de bloques situados en una corriente para disipar la energía o mejorar la distribución de velocidad.

Confluencia. Unión, o lugar de unión de dos o más cursos de agua.

Contracción lateral.

- a) Reducción de la anchura de la lámina vertiente aguas abajo de un vertedero de pared delgada causada por el componente de velocidad orientada hacia el centro de la corriente y que se produce en los bordes laterales.
- b) Reducción local de la anchura de un canal abierto en un canal aforador de resalto.

Control. Propiedades físicas de un cauce, natural y artificial, que determinan la relación entre el nivel y el caudal en un punto determinado del cauce.

Control inestable. Control en el que se produce un cambio en la relación de caudales-alturas resultante de cambios físicos de corriente.

Corrección de cable aéreo. Corrección en profundidad de la medición efectuada por medio de una sondaleza, correspondiente a la parte del cable situada por encima del agua cuando la corriente desvía la sondaleza aguas abajo.

Corrección de cable sumergido. Corrección en profundidad de la medición efectuada por medio de una sondaleza, correspondiente a la porción del cable sumergido cuando la corriente desvía la sondaleza aguas abajo.

Corriente crítica. Flujo en que el número de Froude es igual a la unidad. En esta condición la celeridad de las pequeñas perturbaciones es igual a la media de la velocidad de flujo.

Corriente de densidad. Fenómeno de flujo por gravedad de un líquido con relación a otro líquido, o de un flujo relativo dentro de un medio líquido debido a una diferencia de densidad.

Corriente modular (corriente libre). Corriente que no está influenciada por el nivel de la corriente aguas abajo de un dispositivo de medición.

Corriente subcrítica. Corriente en la que el número de Froude es inferior a la unidad y las perturbaciones superficiales se desplazan aguas arriba y aguas abajo.

Corriente subfluvial. (Véase corriente de densidad.)

Corriente supercrítica. Corriente en la que el número de Froude es superior a la unidad y las perturbaciones superficiales se desplazan aguas abajo.

Cota de referencia. Marca permanente, natural o artificial, que tiene un punto de cota conocida respecto de un origen adoptado.

Cresta. La línea o superficie que determina la cima del vertedero.

Criterios de la calidad del agua. Información científica por ejemplo, datos sobre concentración-efecto utilizados para recomendar objetivos de la calidad del agua.

Desviación típica (s_y). Raíz cuadrada positiva de la suma de los cuadrados de las desviaciones de la media aritmética, dividida por $(n - 1)$; viene dada por la expresión:

$$s_y = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

en la que \bar{y} es la media aritmética de n mediciones independientes de la variable y .

Distribución normal (distribución Gaussiana). Distribución continua, matemáticamente definida, en forma de campana asimétrica que tradicionalmente representa errores aleatorios.

Dopante. Sustancia química conocida que se añade en cantidades determinadas a una muestra.

Duración de mezcla. Distancia mínima que atraviesa el trazador después de la cual se obtiene una buena mezcla.

Ecosonda. Instrumento que utiliza la reflexión de una señal acústica en el lecho para determinar la profundidad.

Error. Diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la cantidad medida.

NOTA: Este término significa también la diferencia entre el resultado de una medición y la mejor aproximación al valor verdadero (en vez del propio valor verdadero). La mejor aproximación puede ser la media de varias o muchas mediciones.

Error aleatorio. Parte de un error total que varía de manera imprevisible en magnitud y signo cuando se hacen mediciones de una cantidad determinada en las mismas condiciones.

Error espúreo. Valor del que se sabe con certeza que es erróneo, debido por ejemplo a fallos humanos o a defectos de funcionamiento del instrumento.

Error sistemático. Parte del error que presenta algunas de las características siguientes:

- se mantiene constante durante un número de mediciones de una cantidad determinada;
- varía según una ley definida cuando cambian las condiciones.

Error típico de una estimación (S_e). Medida de la variación o dispersión de las observaciones alrededor de una relación de regresión lineal. Es numéricamente similar a la desviación típica, salvo que la relación de regresión sustituye a la media y $(n - 1)$ es sustituido por $(n - m)$:

$$S_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (d_i)^2}{n - m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

en la que d_i es la desviación de una observación del valor de regresión calculado, m es el número de constantes de la ecuación de regresión y $(n - m)$ representa el grado de libertad en la derivación de la ecuación.

Filtración. Proceso por el que un líquido atraviesa un medio filtrante para eliminar las materias en suspensión o coloidales.

Flotador. Todo cuerpo natural o artificial soportado por el agua y parcial o totalmente sumergido en ella, cuyo movimiento vertical indica cambios del nivel del agua y cuyo movimiento horizontal indica la velocidad del agua en la superficie o a diversas profundidades.

Flotador de profundidad. Flotador cuya resistencia máxima está bajo la superficie para medir las velocidades profundas.

Flotador de superficie. Flotador cuya resistencia máxima está cerca de la superficie para medir las velocidades superficiales.

Flotador doble. Cuerpo de flotabilidad ligeramente negativa que se desplaza con la corriente a una profundidad conocida y cuya posición viene indicada por una pequeña boya de superficie de la que está suspendido.

Garganta. Superficie transversal mínima de un canal de descarga. Puede tener forma trapezoidal, rectangular, de U o cualquier otra.

Geoquímica. Ciencia que trata de la composición química y de los cambios químicos de la corteza terrestre.

Herbicida. Agente químico que destruye determinado tipo de vegetación.

Histéresis (en la relación de caudales-alturas). Variabilidad de la relación de caudales-alturas de una estación de aforo situada en un punto en el que la inclinación del cauce es variable, en virtud de la cual, para el mismo nivel de agua, el caudal no es el mismo cuando el nivel de la corriente tiende a crecer que cuando tiende a decrecer.

Homogéneo. De composición uniforme.

Incertidumbre. Intervalo dentro del cual cabe esperar que se sitúe el valor verdadero de una cantidad con una probabilidad establecida.

Intervalo de confianza. Intervalo que incluye el valor verdadero con una probabilidad determinada y que es función de las estadísticas de la muestra.

Lámina vertiente. Chorro que se forma como consecuencia del flujo de la corriente sobre el vertedero.

Lecho. Parte inferior de un cauce.

Límite de detección. Concentración mínima de una sustancia que puede ser detectada con un determinado grado de exactitud y precisión gracias a un método analítico específico.

Macrófitas. Plantas de gran tamaño.

Marea. Flujo y reflujo periódico de las aguas en mares o grandes lagos que resulta de la atracción gravitatoria de la luna y el sol.

Media aritmética. Suma de un conjunto de valores dividida por su número, o suma de un conjunto de variables aleatorias dividida por el número de veces que aparecen.

Media ponderada. Media aritmética de una serie de resultados de mediciones, calculada como la suma de las observaciones multiplicada cada una de ellas por la correspondiente ponderación normalizada (la suma de las ponderaciones es la unidad).

Medidas in situ. Medidas que se efectúan directamente en la masa de agua.

Medidor de flotador. Dispositivo que consiste esencialmente en un flotador sobre la superficie del agua que se eleva o desciende con ella y cuyo movimiento se transmite a un indicador o a un dispositivo de grabación.

Método de dilución. Método para determinar el caudal de una corriente midiendo el grado de dilución de una solución trazadora que se añade al agua de la corriente.

Método de integración (inyección en una o varias veces). Método para medir el caudal en el que se inyecta una cantidad conocida de trazador en un corto período de tiempo en una sección transversal y se mide su dilución en otra sección transversal situada aguas abajo, en la que la mezcla ha sido completa, a lo largo de un período lo bastante largo para que el trazador pueda pasar a través de dicha sección transversal con el fin de poder determinar la relación concentración-tiempo del trazador durante el tiempo de muestreo.

Método de inyección en régimen constante. Método de medición del caudal en el que se inyecta un trazador de concentración conocida a un régimen constante y predeterminado en una sección transversal y se mide su dilución en otra sección aguas abajo cuando ha tenido lugar la mezcla completa.

Método del bote móvil. Método de medición del caudal en el que un bote atraviesa la corriente a lo largo de la sección de medición y que mide, de manera continuada, la velocidad, la profundidad y la distancia recorrida.

Molinete. Instrumento para medir la velocidad del agua en un punto.

Molinete de cazoletas. Molinete cuyo rotor se compone de una rueda dotada de cazoletas que giran alrededor de un eje vertical.

Molinete de hélice. Molinete cuyo rotor es una hélice que gira alrededor de un eje paralelo a la corriente.

Muestra compuesta secuencial. Muestra obtenida bien sea mediante el bombeo continuado y constante de agua o mediante la mezcla de volúmenes iguales de agua tomada a intervalos regulares de tiempo. Gracias a este muestreo se podrá conocer la calidad media del agua a lo largo del período de tiempo que dure la operación.

Muestra en blanco. Muestra de agua destilada o desionizada exenta de analitos de interés.

Muestra fraccionada. Muestra única que se divide en dos o más partes de forma que cada parte representa la muestra original.

Muestra puntual. Muestra que se toma en un lugar, profundidad y tiempo determinados.

Muestra replicada (temporal). Dos o más muestras tomadas en el mismo lugar, secuencialmente y a intervalos determinados, durante un determinado período concreto de tiempo. Se utilizan para determinar las incertidumbres de los diversos parámetros de la calidad del agua en función de variaciones temporales.

Muestras duplicadas. Las que se obtienen de dividir una muestra en dos o más submuestras idénticas.

Muestras replicadas (espaciales). Dos o más muestras tomadas simultáneamente en una determinada sección transversal de la masa de agua que se observa. Se utilizan para medir las variaciones de los parámetros de la calidad del agua en la sección transversal.

Muestreador de bombeo. Muestreador en el que se retira la mezcla de agua-sedimento por medio de un tubo o manguera de goma y cuyo orificio de entrada se coloca en el punto de muestreo deseado.

Muestreador Kemmerer. Muestreador de puntos de la vertical con cable de suspensión para medir el sedimento suspendido en el agua.

Muestreador múltiple. Instrumento que permite la toma simultánea de diversas muestras de sedimentos suspendidos en el agua de volumen igual o diferente en cada lugar.

Muestreador Shipek. Instrumento destinado a tomar muestras de sedimentos de la superficie del fondo relativamente poco enturbiadas (también Mini-Shipek).

Muestreador Van Dorn. Muestreador de punto de sedimentos suspendidos en el agua con cable de suspensión, que se utiliza para tomar muestras a una profundidad determinada. El eje longitudinal del cilindro puede colocarse horizontal o verticalmente.

Nivel de confianza. Probabilidad de que el intervalo de confianza incluya el valor verdadero.

Núclidos producidos por rayos cósmicos. Radioisótopos de vida corta como, por ejemplo, el tricio, el berilio-7 y el carbono-14 formados por la «lluvia» continuada de electrones y núcleos de átomos provenientes del espacio que interactúan con determinados elementos atmosféricos y terrestres.

Número de Froude. Magnitud numérica adimensional que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d}}$$

v = velocidad característica

g = aceleración de la gravedad

d = profundidad media de la corriente

Objetivo de la calidad del agua. Especificación de concentraciones o descripción de las condiciones que deberá reunir la masa de agua que, una vez cumplidas, protegerán las aplicaciones a las que se destina el agua.

Onda estacionaria. Onda en la que la superficie del agua oscila verticalmente entre nodos fijos.

Película vertiente. Película de agua que fluye por la cresta de un muro, presa o vertedero construido de una parte a otra de la corriente y que tiene una superficie superior y otra inferior.

Perfil del lecho (de una corriente). Forma del lecho en un plano vertical; puede ser longitudinal o transversal.

Perifiton. La asociación de organismos acuáticos que se fijan o se adhieren a las plantas enraizadas por encima de la raíz.

Pesticida. Agente químico que destruye las plagas.

Plancton. Organismos de tamaño relativamente pequeño, en su mayoría microscópicos, que poseen cierta capacidad de locomoción o de movimiento en el medio acuático y que están sometidos a la acción de las olas y corrientes.

Pozo de amortiguación. Pozo conectado a la corriente principal de forma que permita la medición del nivel en un agua relativamente tranquila.

Profundidad crítica. Profundidad de una corriente de agua en un canal abierto en condiciones de flujo crítico.

Radiactividad. Propiedad que poseen algunos elementos de emitir espontáneamente rayos alfa, beta y gamma o neutrones como resultado de la desintegración de sus núcleos.

Rango. Diferencia entre los valores mínimos y máximos de una serie de datos.

Resistencia. Fuerza ejercida por un fluido, por ejemplo, el agua, y referida a la dirección del flujo, sobre un objeto situado en el fluido o adyacente al mismo.

Sección de control de un vertedero o canal aforador. Sección que produce la corriente crítica.

Sección de inyección. Sección transversal de una corriente en la que se inyecta la solución trazadora con el fin de medir el caudal.

Sección transversal. Sección de una corriente que forma ángulo recto con la dirección principal (media) de la corriente.

Sección transversal de muestreo. Sección transversal de una corriente en que se toman muestras y en que se observa y mide directamente la dilución de la solución trazadora.

Sedimento de fondo. Sedimentos que forman el lecho de un curso de agua corriente o estancada.

Sonda de peso. Peso de forma estilizada atado a una sondaleza o a la suspensión de un molinete para medir la profundidad del agua o la velocidad de la corriente.

Sondaleza. Cadena o cable con un peso atado a su extremo inferior, que se utiliza para determinar la profundidad del agua.

Sondeo. Medición de la profundidad del agua mediante una sonda, varilla u otros medios.

Subsidencia. Descenso del nivel en un área considerable de terreno, debido al arrastre del material líquido o sólido subyacente o a la retirada del material soluble por el agua.

Tanque de calibración (tarado). Tanque que contiene un líquido tranquilo (agua) a través del cual se desplaza el molinete a velocidad constante para calibrar el aparato de medir.

Teflón. Politetrafluoroetileno, material plástico artificial que no reacciona con la mayor parte de las sustancias

químicas o reactivos exceptuándose los metales alcalinos fundidos. Se emplea para equipo de laboratorio y para operaciones sobre el terreno.

Tolerancia. Variación admisible del valor especificado de una cantidad.

Tramo. Parte de un cauce abierto, comprendida entre dos secciones transversales determinadas.

Tramo de medición. Tramo de un canal abierto seleccionado para medir el caudal.

Transductor. Dispositivo que responde a un fenómeno y produce una señal que está en función de una o más características del fenómeno.

Trazador. Sustancia o materia, de ordinario un ion, compuesto o radionúclido, que se vierte en un sistema de corriente para observar el comportamiento de algún componente de dicho sistema; es necesario que el trazador, que puede observarse, se comporte de forma exactamente idéntica al componente que ha de observarse y cuyo comportamiento no puede observarse fácilmente.

Tubo de Pitot. Tubo que tiene uno de sus extremos abierto y se mantiene perpendicular al flujo del líquido. La velocidad del líquido se determina por la diferencia de la presión dinámica y la estática.

Valor verdadero. Valor que se supone que caracteriza una cantidad en las condiciones existentes en el momento en que esa cantidad se observa (o determina). Es un valor ideal que sólo se podría conocer si se eliminaran todas las causas de error.

Varilla de sondeo. Varilla rígida graduada para medir la profundidad del agua.

Velocidad crítica. 1) Velocidad de la corriente crítica de un canal. 2) Velocidad a la que la corriente cambia para pasar del régimen subcrítico al supercrítico y viceversa.

Vertedero. Estructura de rebosamiento que se puede utilizar para controlar el nivel del agua o para medir el caudal o para ambas cosas.

Vertedero con orificio. Vertedero de pared delgada, cualquiera que sea su forma, que produce contracciones laterales.

Vertedero de contracción. Vertedero de cresta ancha cuyo perfil es triangular en un plano vertical a la dirección de la corriente.

Vertedero de cresta ancha. Vertedero en que la cresta no se extiende a toda la anchura del canal.

Vertedero de cresta horizontal y de umbral redondeado. Vertedero con umbral redondeado aguas arriba de la corriente.

Vertedero de pared delgada y orificio rectangular. Vertedero de pared delgada con orificio de forma rectangular en el plano perpendicular a la dirección de la corriente.

Vertedero de pared delgada. Vertedero de pared vertical y de cresta delgada que al ser atravesada por el agua hace saltar la lámina vertiente de forma claramente perceptible.

Vertedero de pared fina y orificio de forma triangular (orificio en forma de V). Vertedero de pared delgada con dos aristas que se inclinan simétricamente respecto a la vertical para formar un orificio de forma triangular en el plano perpendicular a la dirección de la corriente.

Vertedero de perfil triangular. Vertedero de cresta ancha cuyo perfil es triangular en un plano vertical a la dirección de la corriente.

NOTA: No debe confundirse con el vertedero de pared delgada triangular.

Vertedero sumergido. Vertedero en el que el nivel de aguas abajo queda afectado por el nivel de aguas arriba.

Vertical de muestreo. Línea vertical que une la superficie del agua y el fondo y a lo largo de la cual se toman una o más muestras para determinar diversas propiedades de la masa de agua.

Viscosidad. Propiedad de un fluido para resistir el esfuerzo cortante producido por gradientes de velocidad. Se expresa por lo general en forma de coeficiente.

Zona de inundación. Terreno adyacente y casi al mismo nivel que el cauce del curso del agua, que sólo se inunda cuando el caudal excede la capacidad del cauce.

I - CALIBRACIÓN DE MOLINETES EN TANQUES RECTILÍNEOS ABIERTOS

(Véase [D.1.2.] 3.1.1)

I-1 Objeto y sector de aplicación

NOTA: La presente sección del Anexo se funda en la norma ISO 3455 (1976), titulada "Medición del flujo líquido en canales abiertos - Calibración de molinetes con elemento rotativo en tanques rectilíneos abiertos".

En esta sección se especifica el procedimiento que debe utilizarse para la calibración de los molinetes, a fin de ajustarse a las disposiciones del párrafo [D.1.2.] 3.1 del *Reglamento Técnico*, y de satisfacer los criterios de precisión indicados para la medición del caudal de los ríos en [D.1.2.] 3.6 de dicho *Reglamento Técnico*. También se especifica el tipo de tanque y el equipo que ha de utilizarse, así como el método de presentación de los resultados.

NOTA: En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) y en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilitan directrices detalladas para la calibración de los molinetes.

I-2 Principio de calibración

El molinete debería desplazarse en agua clara tranquila en un tanque rectilíneo de sección uniforme, a un cierto número de velocidades uniformes. Debería medirse la velocidad del carro de remolque y la velocidad de rotación del rotor del molinete. Las dos series de valores deberían relacionarse mediante una o varias ecuaciones cuyos límites de aplicación habrían de indicarse.

I-3 Características de construcción de las estaciones de calibración

I-3.1 Dimensiones del tanque de calibración

NOTA: Las dimensiones del tanque y el número y posición relativa de los molinetes en su sección pueden afectar los resultados de las pruebas.

I-3.1.1 Longitud

a) La longitud total de un tanque de calibración debería fijarse por la longitud de las cuatro secciones que lo componen, es decir: la sección de acelera-

ción, la sección de estabilización, la sección de medición y la sección de frenado.

- b) La longitud de las secciones de aceleración y de frenado debería ser compatible con la concepción del carro y la velocidad máxima de remolque del molinete en el tanque. La longitud necesaria de la sección de frenado se determina en función de imperativos de seguridad.
- c) La longitud de la sección de medición debería ser tal que el error de calibración, que se compone de imprecisiones en la medición del tiempo, de la distancia recorrida y de la velocidad de rotación, no sea superior a la tolerancia requerida a ninguna velocidad.

Ejemplo: Si la incertidumbre de la medición del tiempo, tanto para la medición de la distancia recorrida por el carro como para el número de revoluciones, es de 0,01 s, a fin de limitar el error en la medición del tiempo a 0,1 por ciento para un intervalo de confianza de 95 por ciento, la duración de la prueba debiese ser de por lo menos 10 s a la velocidad máxima. Si la velocidad máxima es de 6 m/s, la sección de medición del tanque debiese tener una longitud de 60 m, y la longitud total unos 100 m, de los cuales 20 m estarían reservados a la aceleración y a la estabilización y 20 m al frenado.

NOTA: En el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilita una descripción detallada de varios tanques.

I-3.2 Carros de calibración

I-3.2.1 Para poder desplazarlo en el agua a velocidades constantes y medidas con precisión, el molinete debería estar suspendido de un carro que se desplace sobre rieles o sobre una vía.

I-3.2.2 Los rieles o la vía deberían ser rigurosamente paralelos al eje longitudinal del tanque y el plano de los rieles debería ser paralelo a la superficie del agua del tanque.

I-3.2.3 Las ruedas del carro no deberían tener ninguna irregularidad para evitar movimientos irregulares del carro y la aparición de vibraciones que podrían transmitirse al molinete y perturbar la calibración.

NOTA: Generalmente se utilizan dos tipos de carros, a saber:

- a) el carro remolcado que se desplaza a lo largo de los rieles por intermedio de un cable accionado por un motor de velocidad constante situado al exterior del carro móvil. El carro remolcado puede ser de construcción ligera, con la consiguiente ventaja de una aceleración y de un frenado rápidos, pero la elasticidad del cable de remolque puede provocar irregularidades en la marcha del carro;
- b) el carro autopropulsado que se desplaza sobre los rieles gracias a un motor incorporado. El carro autopropulsado es de construcción más pesada ya que también debe soportar el motor, lo que aumenta su inercia y contribuye a la regularización del movimiento del carro.

I-3.3 Equipo de medición

NOTA: La calibración de un molinete exige la medida simultánea de las tres magnitudes siguientes:

- a) la distancia recorrida por el carro;
- b) el número de impulsiones emitidas por el molinete;
- c) el tiempo.

La velocidad de remolque se calcula a partir de la medición simultánea de la distancia y del tiempo, y la velocidad de rotación del rotor se obtiene mediante la medición simultánea del número de impulsiones y del tiempo.

I-3.3.1 Distancia

La incertidumbre de la medición de la distancia no debería rebasar el 0,1 por ciento para un intervalo de confianza del 95 por ciento.

NOTA: Dos de los métodos más corrientemente utilizados son los siguientes:

- a) la fijación, a intervalos regulares a lo largo de toda la longitud del tanque de calibración, de marcadores que accionan transmisores mecánicos u ópticos de impulsiones fijados al carro;
- b) la utilización de ruedas de medida provistas de transmisores de impulsiones mecánicos o fotoeléctricos tirados por el carro a lo largo del riel.

I-3.3.2 Tiempo

La medida del tiempo debería efectuarse con una precisión comprendida dentro del 0,1 por ciento para un intervalo de confianza de 95 por ciento.

NOTA: Dos de los métodos más corrientemente utilizados son los siguientes:

- a) un reloj que da una impulsión de contacto a intervalos de uno o de varios segundos. Estas impulsiones de tiempo se registran generalmente en un gráfico o en una cinta magnética junto con aquéllas del elemento rotativo del molinete y aquéllas que corresponden a las distancias recorridas. El tiempo correspondiente a un número entero de impulsiones del molinete se determina generalmente por interpolación de las impulsiones de tiempo;
- b) relojes electrónicos capaces de medir fracciones de segundo que permiten registrar y presentar un número definido de intervalos de distancia y un número correspondiente de impulsiones.

I-3.3.3 Impulsiones del molinete

- a) La incertidumbre de la medición de las revoluciones del rotor no debería rebasar el 0,1 por ciento para un intervalo de confianza del 95 por ciento. Las impulsiones del molinete deberían contarse o registrarse.
- b) Para medir el número de revoluciones del molinete en un tiempo dado, debería efectuarse la medición en puntos idénticos de la impulsión de éste.
- c) Si se efectúa el registro, la velocidad del registrador debería ajustarse de manera que se haga corresponder la separación de la impulsión del molinete con la velocidad del carro y la precisión de medición deseada.

I-3.4 Equipo auxiliar

Para aumentar la eficacia de una estación de calibración de molinetes debería utilizarse cierto número de materiales auxiliares:

- a) materiales de filtrado, de dosificación y de depuración para mantener el agua clara;
- b) dispositivos de amortiguación, para reducir la reflexión de las perturbaciones del agua sobre las paredes extremas del tanque;
- c) dispositivos para verificar que un molinete con suspensión por cable está correctamente alineado al comienzo de la prueba;
- d) un termómetro para indicar la temperatura del agua en el tanque.

NOTA: Es necesario medir la temperatura del agua en el tanque para determinar la existencia de corrientes de densidad en el mismo y calcular la viscosidad del lubricante utilizado en el molinete que va a calibrarse.

I-4 Método de calibración

I-4.1 Instrucciones para la calibración

Las instrucciones para la calibración deberían incluir lo siguiente:

- a) los límites de las velocidades de calibración;

- b) precisiones relativas a los medios de suspensión y pesos;
- c) para los molinetes con cámara de aceite, especificaciones relativas al aceite utilizado;
- d) información referente a los documentos de calibración requeridos (ecuaciones, gráficos o tablas de calibración, y unidades en las cuales deben expresarse los resultados);
- e) cualquier prescripción particular, por ejemplo calibración del molinete "en el estado en que ha sido entregado" y "después de una reparación".

I-4.2 Suspensión del molinete

I-4.2.1 Antes de la inmersión del molinete en el agua, debería verificarse su limpieza, su lubricación y su funcionamiento mecánico y eléctrico.

I-4.2.2 La suspensión del molinete debería ser normalmente la misma que la utilizada para las medidas sobre el terreno.

I-4.2.3 El molinete debería colocarse a una profundidad suficiente por debajo de la superficie del agua para que la influencia de la superficie sea despreciable.

NOTAS:

- a) Para un molinete de hélice, generalmente es suficiente una profundidad (contada desde la superficie del líquido al eje de rotación) igual a dos veces el diámetro de la hélice.
- b) Un molinete de cazoletas debería sumergirse a una profundidad mínima de 0,3 m o a una vez y media la altura del rotor, si este último valor es superior.

I-4.2.4 Si se calibran varios molinetes simultáneamente, debería tenerse cuidado para que no se produzca ninguna interferencia entre ellos.

I-4.2.5 Cuando el molinete está fijado en una varilla, la fijación debería ser lo suficientemente rígida para garantizar que permanece paralela a la dirección del movimiento.

I-4.2.6 Un molinete suspendido por un cable debería alinearse en la dirección del movimiento al comienzo de cada recorrido.

I-4.2.7 Si el molinete es de un tipo susceptible de girar en un plano vertical y/u horizontal, su equilibrio debería verificarse y, de ser necesario, ajustarse antes de que comiencen las pruebas de calibración para que sea horizontal y perpendicular a la sección transversal.

I-4.3 Ejecución de la calibración

I-4.3.1 Velocidad mínima de respuesta

La velocidad mínima de respuesta debería determinarse aumentando progresivamente la velocidad del carro a partir del momento de parada hasta que el elemento ro-

tativo gire a una velocidad angular constante.

I-4.3.2 Número de puntos de calibración

Las mediciones deberían efectuarse a partir de la velocidad mínima de respuesta a un número de velocidades de remolque suficiente para definir con precisión la calibración del molinete.

NOTA: En general es necesario prever intervalos más pequeños de velocidad para los valores inferiores de la gama, ya que de ordinario es para estos valores para los que se observan los mayores porcentajes de errores.

I-4.3.3 Tiempo de tranquilización

El agua del tanque debería estar relativamente tranquila antes de cada prueba. El período de espera debería elegirse de forma que las velocidades residuales sean despreciables en relación con la velocidad de la prueba siguiente.

NOTA: La duración de tranquilización del agua depende de las dimensiones del tanque, del tipo de los dispositivos de amortiguación, de la velocidad de la prueba precedente, del tamaño y de la forma de los molinetes y de la parte sumergida del material de suspensión.

I-5 Presentación de los resultados

I-5.1 Diagramas de calibración

Los puntos de calibración deberían indicarse en un gráfico que tenga como ordenada la velocidad v y como abscisa la velocidad de rotación del rotor n .

I-5.2 Ecuaciones de calibración

El certificado de calibración debería indicar la ecuación (o las ecuaciones) de la línea o líneas rectas a las cuales puede asimilarse la curva de calibración, precisando los intervalos de los valores de n en los cuales cada una de ellas es aplicable:

$$a) \quad v = a + bn$$

donde: v es la velocidad en metros por segundo;
 n es el número de revoluciones del rotor por segundo;
 a y b son constantes determinadas para cada ecuación;

o

$$b) \quad v = a + b \frac{N}{t}$$

cuando es cómodo indicar el tiempo t correspondiente al número total N de revoluciones del rotor.

I-5.3 Tablas de calibración

La relación entre v y n debería presentarse en forma de tablas.

NOTA: Se puede facilitar la velocidad para cada 0,01 rev/s o para un número entero de revoluciones en un tiempo predeterminado, o también en función de un número predeterminado de revoluciones.

I-5.4 **Certificado de calibración**

Además de los elementos mencionados en 1-5.1, 1-5.2 y 1-5.3, el certificado de calibración debería incluir la siguiente información:

- a) el nombre y la dirección de la estación de calibración;
- b) la fecha de la calibración;
- c) el número de la calibración;
- d) la marca y el tipo de molinete;
- e) el número de serie del molinete y de cada rotor;
- f) detalles sobre la suspensión utilizada y pesos;
- g) la posición del molinete en la sección transversal del tanque;
- h) una indicación de la velocidad mínima de respuesta;
- i) los límites de calibración;
- j) cualquier comentario, tal como calibración del molinete «en el estado en que se ha recibido», o indicación de las modificaciones introducidas en el molinete, por ejemplo la adaptación de piezas de recambio;
- k) la temperatura del agua durante la calibración;
- l) la viscosidad del aceite de los rodamientos;
- m) una indicación de la precisión de la ecuación de calibración, que debería incluir una evaluación de la precisión del método de base de calibración;
- n) la firma del responsable del equipo de la estación de calibración.

II – DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL AGUA

(Véase [D.1.2.] 3.1.2)

II-1 Objeto y sector de aplicación

NOTAS:

- a) La presente sección del anexo se basa en la norma ISO 4373 (1995), titulada "Medición del flujo líquido en canales abiertos - Dispositivos de medición del nivel del agua".
- b) En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-N° 168) y en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilitan directrices detalladas para los dispositivos de medición del nivel del agua.

En esta sección se especifican las características funcionales de:

- a) un pozo de amortiguación con tubos de alimentación para limnigrafos accionados por flotadores;
- b) indicadores limnimétricos;
- c) dispositivos de registro del nivel del agua;

a fin de ajustarse a las disposiciones de la regla [D.1.2.] 3.1 y de satisfacer los criterios de precisión indicados para la medición de la altura de los niveles del agua subterránea en la regla [D.1.2.] 3.5 del *Reglamento Técnico*.

II-2 Pozos de amortiguación y tomas

II-2.1 Pozo de amortiguación

NOTA: El pozo de amortiguación tiene por objeto:

- a) contener los instrumentos y proteger el sistema de flotadores;
- b) reproducir exactamente las condiciones del nivel del agua del río;
- c) amortiguar las oscilaciones de la superficie del agua.

II-2.1.1 El pozo puede estar situado en una orilla de la corriente o en el cauce, aunque no debería estar situado en el cauce si las condiciones de la corriente producen efectos de desprendimiento y estancamiento.

II-2.1.2 El pozo no debería perturbar el diagrama de la corriente en el cauce de aproximación y, si está aso-

ciado a un control, debería estar situado en la charca formada por el control pero aguas arriba con relación a la zona de descenso de nivel en el control.

II-2.1.3 El pozo debería estar firmemente asentado cuando se encuentre en la orilla y sólidamente anclado si se encuentra en la corriente, de forma que se mantenga estable en todo tiempo.

II-2.1.4 El pozo y todas las juntas de construcción así como los tubos de admisión deberían ser estancos, de manera que el agua sólo pueda entrar o salir por la toma.

II-2.1.5 El pozo debería ser vertical y tener la altura y profundidad suficientes para que el flotador se desplace libremente dentro de la gama de niveles de agua.

II-2.1.6 Las dimensiones del pozo deberían permitir el funcionamiento sin obstáculos de todos los instrumentos instalados en el mismo. La distancia entre las paredes y el flotador debería ser de por lo menos 75 mm y si el pozo contiene dos o varios flotadores, la distancia entre dos flotadores debería ser, como mínimo, de 150 mm. En los ríos de aguas cargadas de limo, el pozo debería tener las dimensiones suficientes para que se pueda entrar en él para proceder a su limpieza.

II-2.1.7 Cuando el pozo esté situado en la orilla, debería tener un fondo estanco para evitar infiltraciones o fugas.

II-2.1.8 En los pozos de fondo estanco, el fondo debería encontrarse como mínimo a 300 mm por debajo de la parte más baja de la toma más baja, a fin de dejar espacio para el depósito de sedimentos y evitar el peligro de que el flotador toque el fondo cuando la corriente es más baja.

II-2.1.9 En climas fríos el pozo debería protegerse contra la formación de hielo, utilizándose a este efecto tapaderas, paneles aislantes, dispositivos de calentamiento o aceite extendido por la superficie del agua. En este último caso el aceite forma una capa que se sitúa sobre

el nivel del agua de la corriente, por lo que se requiere la aplicación de un factor de corrección.

II-2.2 Tomas

NOTA: Las tomas del pozo de amortiguación tienen por función:

- a) permitir la entrada o la salida del agua en el pozo, de forma que se mantenga al mismo nivel que la del río, cualesquiera que sean las condiciones de la corriente;
- b) limitar el retorno y los efectos oscilatorios dentro del pozo.

Las tomas pueden presentarse bajo la forma de un tubo que conecta el pozo con el río cuando el pozo se encuentra en la orilla o de una serie de ranuras u orificios practicados en el propio pozo cuando está situado directamente en el río. En los ríos que contienen mucho limo, el pozo situado en la corriente puede tener un fondo de tolva que actúe como toma y también como medio de autolimpieza. Se pueden instalar dos o varias tomas a diferentes niveles para asegurar el funcionamiento del sistema si una de ellas se obstruye:

II-2.2.1 Las dimensiones de las tomas deberían ser lo bastante grandes para que el nivel del agua del pozo pueda reflejar los ascensos y descensos de nivel en el río sin demora apreciable.

II-2.2.2 Las dimensiones de las tomas deberían ser lo bastante pequeñas para amortiguar las oscilaciones causadas por las ondas superficiales o los golpes de agua.

NOTA: Como estas dos últimas condiciones son contradictorias, es preciso conseguir un equilibrio entre ellas. Por regla general, la sección transversal total de las tomas no debe ser inferior al uno por ciento de la sección transversal del pozo.

II-2.2.3 Si el pozo de amortiguación está en la orilla, la parte más baja de la toma más baja debería estar al menos 150 mm por debajo del nivel más bajo previsto y al menos 300 mm por encima del fondo del pozo. En climas fríos, esta toma debería estar situada por debajo de la línea de congelación.

II-2.2.4 Los tubos de alimentación deberían tener una pendiente constante y una cimentación idónea para no hundirse.

II-2.2.5 La toma debería estar orientada en la corriente de forma que se pueda medir el verdadero nivel del agua. Si la velocidad de la corriente en el punto de medición es lo bastante grande para que la presión dinámica tenga un valor apreciable, la toma debería llevar un dispositivo de medición de la presión estática.

II-2.2.6 Los tubos de alimentación de longitud superior a 20 m deberían tener un registro intermedio provisto

de compuertas internas que sirvan para detener los sedimentos y permitir el acceso para la limpieza.

II-2.2.7 Deberían preverse medios de limpieza de las tomas, bien sea por un sistema de descarga cuando se pueda lanzar agua con una presión de varios metros al extremo de la toma situado en el pozo, o bombeando agua a través de la toma, o limpiándola a mano con baquetas.

II-2.2.8 Cuando la velocidad de la corriente sea elevada en el extremo de la toma situado en la parte del río, la aspiración de agua debería reducirse fijando un tubo estático, cerrado y perforado en el extremo de la toma situado en la parte del río, y extendiéndolo horizontalmente aguas abajo.

II-3 Indicadores limnimétricos

II-3.1 Cota del cero de la escala

NOTA: La cota del cero de la escala puede ser un dato reconocido, como el nivel medio del mar, o un plano arbitrario elegido por la comodidad que supone utilizar lecturas que den valores relativamente bajos, pero positivos.

II-3.1.1 Si se utilizara un plano de referencia arbitrario, debería relacionárselo con una cota de referencia de elevación conocida sobre el nivel del mar mediante una nivelación precisa.

II-3.1.2 El cero de la escala debería estar correlacionado con una cota de referencia nacional por medio de la cota de referencia de la estación.

II-3.1.3 La cota de referencia de la estación debería situarse en un punto que ofrezca la máxima seguridad contra las perturbaciones. Debería fijarse sólidamente a un bloque de hormigón o a una estructura similar que penetre en el suelo hasta un nivel inferior a la zona susceptible de perturbaciones tales como el hielo o las infiltraciones.

II-4 Escalas limnimétricas verticales o inclinadas

NOTA: Estos aparatos contienen una escala graduada, fijada a una superficie idónea o marcada en la misma.

II-4.1 Características funcionales

Estas escalas deberían reunir las características funcionales siguientes:

- a) deberían ser precisas y estar claramente graduadas;
- b) deberían ser duraderas y de fácil mantenimiento;
- c) deberían ser fáciles de instalar y utilizar.

II-4.2 Material

El material de construcción de las escalas limnimétricas debería ser duradero y tener un bajo coeficiente de expansión.

II-4.3 **Graduación**

II-4.3.1 Las graduaciones deberían ser claras y permanentes. Las cifras deberían ser claramente legibles y estar situadas de forma tal que no haya ninguna posibilidad de ambigüedad.

II-4.3.2 Las placas limnimétricas deberían fabricarse en longitudes adecuadas y con la cara de la escala de por lo menos 50 mm de anchura.

II-4.3.3 Las marcas de las subdivisiones deberían tener una precisión de $\pm 0,5$ mm y el error acumulado de longitud no debería ser superior al mayor de los dos valores siguientes: 0,1 por ciento o 0,5 mm.

II-4.4 **Instalación y uso**

II-4.4.1 **Consideraciones generales**

- a) la escala limnimétrica debería situarse preferiblemente cerca de la orilla para permitir la lectura directa del nivel;
- b) la escala debería situarse lo más cerca posible de la sección de medición, pero sin que afecte a las condiciones de la corriente en ese punto;
- c) debería ser de fácil y cómodo acceso, a fin de que el observador pueda hacer las lecturas lo más cerca posible del nivel de sus ojos.

II-4.4.2 **Escalas verticales**

La plancha limnimétrica o su soporte deberían estar sólidamente fijados a la superficie de un muro o a pilotes que tengan una cara vertical paralela a la dirección del flujo.

II-4.4.3 **Escalas por secciones**

Cuando la gama de niveles del agua rebasa la capacidad de una sola escala vertical, se pueden instalar secciones adicionales en la línea de la sección perpendicular a la dirección de la corriente.

- a) Deberían instalarse las diferentes secciones a intervalos que permitan la medición del nivel del agua en todas las alturas;
- b) las graduaciones de las secciones deberían tener las zonas comunes (traslapos) suficientes.

II-4.4.4 Escalas inclinadas

Las escalas inclinadas deberían instalarse de forma que permitan seguir fielmente el contorno de la orilla y deberían calibrarse *in situ* mediante una nivelación precisa con relación a la cota de referencia de la estación.

II-5 **Agujas limnimétricas**

Una aguja limnimétrica es un aparato formado por un vástago y un dispositivo para determinar la posición vertical de su punta con relación a una referencia. Hay dos tipos de agujas limnimétricas:

- a) la aguja limnimétrica recta, cuya punta está orientada hacia abajo;
- b) la aguja limnimétrica curva, que tiene forma de gancho y cuya punta está sumergida y orientada hacia arriba.

La posición vertical se puede determinar por medio de una escala graduada, una cinta con un nonio o un indicador digital.

II-5.1 **Características funcionales**

- a) La instalación de una aguja limnimétrica debería permitir la medición del nivel del agua a cualquier altura entre el nivel mínimo y el nivel máximo previstos;
- b) el lugar donde la punta toca la superficie libre del líquido debería estar bien iluminado;
- c) la punta debería ser cónica y terminar formando un ángulo de unos 60° cuyo vértice sería redondeado con un radio de unos 0,25 mm.

II-5.2 **Material**

El limnímetro de aguja y sus piezas auxiliares deberían estar contruidos con materiales duraderos y resistentes a la corrosión.

II-5.3 **Graduación**

La graduación de los limnímetros rectos o curvos debería estar en milímetros y ser clara y precisa.

II-5.4 **Instalación y uso**

- a) La aguja limnimétrica debería instalarse por encima del agua, en el borde de la corriente, si las condiciones lo permiten. Si ello no es posible por la existencia de turbulencias, viento o dificultades de acceso, debería instalarse un pozo de amortiguación;
- b) la aguja limnimétrica debería estar situada lo más cerca posible de la sección de medición;
- c) si se instalan a diferentes niveles varias placas de referencia con soporte, o si se utilizan limnímetros por secciones, todas ellas deberían estar situadas en la misma sección transversal y perpendicular al sentido de la corriente. Si ello no es posible y si es necesario escalonar las agujas, todas ellas deberían estar situadas a menos de un metro de cualquier lado del eje de la sección transversal;
- d) las placas y soportes de referencia deberían estar montados en bloques sólidos que penetren hasta más abajo de la línea de congelación;
- e) la cota de las placas de referencia, con la que se determina el nivel de la superficie libre, se establecerá con el máximo cuidado. La tolerancia de transferencia de nivel desde el nivel de referencia de la estación hasta cada placa de referencia no debería ser superior a $\pm 1,0$ mm.

II.6 Limnímetros de flotador

NOTA: El limnímetro de flotador se utiliza para medir el nivel dentro de un pozo de amortiguación. Un limnímetro de flotador típico consta de un flotador que funciona en un pozo de amortiguación, una cinta de acero graduada, un contrapeso, una polea y un índice.

II-6.1 Características funcionales

- Un limnímetro de flotador debería permitir medir el nivel a cualquier altura comprendida entre el nivel mínimo y el nivel máximo previstos;
- el flotador debería estar construido a base de un material duradero, resistente a la corrosión y antiincrustante. Debería ser estanco y funcionar en una dirección verdaderamente vertical;
- el flotador debería flotar adecuadamente y la cinta o el alambre no deberían enroscarse ni formar cocas;
- debería instalarse un dispositivo que permita comparar fácilmente las lecturas del limnímetro de flotador con el nivel real de la corriente.

II-6.2 Graduación

El limnímetro de flotador debería estar graduado en milímetros y las graduaciones deberían ser claras y precisas.

II-7 Sondas de cable lastrado

NOTA: Una sonda de cable lastrado típica consta de un tambor que tiene arrollada una sola capa de cable, un peso de bronce atado al extremo del cable, un disco graduado y un contador, todo ello encerrado en una caja de protección. La sonda de cable lastrado se utiliza como limnímetro de referencia exterior cuando es difícil mantener otros limnímetros exteriores. La sonda de cable lastrado se monta normalmente en un puente o en otra estructura análoga sobre el agua.

II-7.1 Características funcionales

La sonda de cable lastrado debería permitir la medición de la corriente a cualquier nivel.

II-7.2 Material

La sonda de cable lastrado debería estar construida a base de materiales duraderos y resistentes a la corrosión.

II-7.3 Graduación

La sonda de cable lastrado debería estar graduada en milímetros.

II-7.4 Instalación y uso

- La sonda no debería instalarse en un lugar en el que la superficie del agua esté perturbada por turbulencias, vientos o sobreelevación;
- debería verificarse con frecuencia la cota de la sonda de cable lastrado para garantizar la fiabilidad de las observaciones del nivel.

II-8 Limnímetros de presión

NOTA: Los limnímetros de presión se utilizan con frecuencia en los puntos donde resultaría demasiado caro instalar pozos de amortiguación. Un método muy utilizado para medir el nivel del agua consiste en medir la altura de una columna de agua con relación a un plano de referencia determinado. Esto puede hacerse indirectamente detectando una presión del agua en un punto fijo por debajo de la superficie y aplicando a continuación el principio hidrostático según el cual la presión de un líquido es proporcional a la profundidad. El método más ampliamente utilizado de transmitir la presión es la técnica de la purga de gas.

II-8.1 La técnica de la purga de gas (burbujeo)

- Debería disponerse de una alimentación suficiente de gas o aire comprimido. La presión de la alimentación debería ser superior a la gama de presiones que se van a medir;
- debería instalarse una válvula de reducción de la presión con objeto de reducir con seguridad la presión superior a la gama máxima. Debería instalarse asimismo una válvula de control de flujo y un indicador visual del caudal con objeto de ajustar adecuadamente el volumen de gas suministrado al sistema. La presión debería impedir la penetración de agua en el tubo, incluso en caso de fluctuación sumamente rápida del caudal;
- deberían reducirse al mínimo los errores de lectura debidos a la fricción del gas en el tubo;
- los tubos deberían estar instalados en pendiente negativa constante hasta el orificio.

II-8.2 Compensación de la densidad del agua

Como la densidad del agua que el detector debe medir varía según la temperatura y el contenido de limo, deberían preverse medios automáticos o manuales de compensar estas variaciones.

II-8.3 Variaciones del peso del gas

Si se utiliza la técnica del gas para transmitir la presión, deberían preverse medios de compensar las variaciones de la densidad del gas en función de la temperatura y la presión.

II-8.4 Gama

La gama del instrumento debería ser suficiente para adaptarse a toda la gama prevista de niveles de agua.

II-8.5 Respuesta

La respuesta del instrumento debería ser lo bastante rápida para seguir cualquier tipo previsto de cambio de nivel del agua.

II-9 **Dispositivos de registro (limnógrafos)**

II-9.1 **Limnógrafos mecánicos**

II-9.1.1 **Par de arrastre**

NOTA: En los limnógrafos, el movimiento angular del árbol de entrada es transformado por una transmisión mecánica en movimiento de la aguja de un registrador analógico o en el mecanismo de codificación de un registrador digital. Si la fricción es elevada, es decir, si el par de arrastre requerido para situar en posición al elemento registrador es elevado, se produce un apreciable retardo en seguir las variaciones del nivel del agua.

- a) El par de arrastre debería ser suficiente para superar la fricción generada por las transmisiones mecánicas;
- b) la fricción debería ser lo más baja posible y no superior a 7 mN m.

II-9.1.2 **Histéresis (movimiento perdido)**

Debería mantenerse la histéresis en un valor mínimo y no debería ser superior a 3 mm.

NOTA: Si el árbol de entrada gira en una dirección, seguido del estilete, para girar a continuación en dirección inversa, la histéresis total es la cantidad de movimiento necesaria para que el estilete comience a seguir en la dirección inversa.

II-9.1.3 **Mecanismo de temporización**

- a) El mecanismo de reloj que hace girar la placa gráfica debería ser de elevada calidad, robusto y fiable y estar protegido contra el polvo, la corrosión y los insectos;
- b) el error límite de la medición del tiempo no debería rebasar los ± 30 s/d, por término medio, durante un período de 30 días por lo menos;
- c) debería haber un sistema de ajuste del movimiento para permitir la regulación con las condiciones de precisión establecidas en b).

II-9.1.4 **Papel (gráfico o cinta)**

El papel utilizado debería mantenerse estable dentro de unos límites relativamente estrechos en toda la gama de condiciones previstas de temperatura y humedad.

II-9.1.5 **Estilete**

Si se utiliza una pluma, la pluma y la tinta deberían producir un trazo fácilmente legible sin corrimiento. Si se utiliza un lápiz, éste debería tener la dureza adecuada para producir un trazo legible.

II-9.1.6 **Errores**

Las fuentes de error cuando se utiliza un limnógrafo son las siguientes:

- a) roces en el mecanismo de arrastre;
- b) histéresis en el mecanismo de arrastre;
- c) deriva del cable, causada por una variación de la profundidad de flotación del flotador cuando el nivel cambia con rapidez y con él cambia el peso del cable del flotador;
- d) expansión y contracción del papel;
- e) ambigüedad, si en el caso de limnógrafos digitales el nivel se encuentra entre dos cifras.

En los limnógrafos digitales, si el nivel está entre dos cifras, el limnógrafo debería ser forzado a pasar a la cifra más próxima antes de perforar la cinta para evitar toda ambigüedad.

II-9.1.7 **Condiciones ambientales**

El limnógrafo debería funcionar satisfactoriamente en las condiciones ambientales dominantes de temperatura y humedad relativa.

II-9.1.8 **Material**

Todas las partes del limnógrafo deberían estar fabricadas a base de materiales resistentes a la corrosión en condiciones de utilización a la intemperie.

II-9.1.9 **Caja**

El limnógrafo debería estar alojado en una caja resistente a la humedad, al polvo y a la intemperie. La caja debería tener una ventana que permita el control visual del limnógrafo sin necesidad de abrirla.

II-9.1.10 **Nivelación del árbol de entrada**

Deberían preverse los medios de nivelar horizontalmente el árbol de entrada.

II-9.1.11 **Instrucciones de empleo**

Debería proporcionarse un folleto con las instrucciones de empleo, descripciones y diagramas que sean necesarios para el funcionamiento y mantenimiento adecuados del limnógrafo.

II-9.2 **Limnógrafos de presión**

II-9.2.1 **Gama de presiones**

- a) La gama de presiones del limnógrafo debería elegirse de forma tal que coincida estrechamente con la gama total prevista de presión del agua. Deberían tenerse en cuenta las condiciones extremas para evitar daños al detector de presión;
- b) los elementos mecánicos y los detectores deberían ser de elevada calidad de fabricación y acabado a fin de reducir al mínimo la histéresis;
- c) el limnógrafo debería disponer de un mecanismo que permita su ajuste en función de la altura.

II-9.2.2 Mecanismo de temporización

Véase II-9.1.3.

II-9.2.3 Papel (gráfico o cinta)

Véase II-9.1.4.

II-9.2.4 Estilete

Véase II-9.1.5.

II-9.2.5 Condiciones ambientales

El limnógrafo debería funcionar satisfactoriamente en la gama de temperatura ambiental y humedad relativa correspondiente a las condiciones locales.

II-9.2.6 Material

Véase II-9.1.8.

II-9.2.7 Caja

Véase II-9.1.9.

II-9.2.8 Instrucciones de empleo

Véase II-9.1.11.

II-9.3 Limnógrafos electrónicos**II-9.3.1 Precisión**

El error límite de los registros del registrador electrónico no debería rebasar el 0,5 por ciento de la lectura en todas las escalas de medición.

II-9.3.2 Legibilidad

El movimiento general del mecanismo de funcionamiento (estilete) debería permitir la discriminación de la división más pequeña de la escala. La anchura del papel

gráfico debería ser como mínimo igual al movimiento del estilete.

II-9.3.3 Estabilidad

La estabilidad de un limnógrafo para medir el nivel del agua debería mantenerse entre ± 2 divisiones de la escala de lectura en un período de 30 días.

NOTA: La estabilidad del limnógrafo es su capacidad de mantener la misma lectura con una tolerancia dada para la misma señal de entrada.

II-9.3.4 Mecanismo de temporización

Véase II-9.1.3.

II-9.3.5 Papel

Debería utilizarse sólo papel de la mejor calidad con una escala impresa con precisión.

II-9.3.6 Estilete

Véase II-9.1.5.

II-9.3.7 Condiciones ambientales

Véase II-9.1.7.

II-9.3.8 Material

El limnógrafo debería estar construido y protegido de forma que funcione satisfactoriamente en las condiciones de empleo *in situ* durante períodos prolongados.

II-9.3.9 Caja

Véase II-9.1.9.

II-9.3.10 Instrucciones de empleo

Véase II-9.1.11.

III – EQUIPO DE SONDEO Y SUSPENSIÓN DIRECTOS

(Véase [D.1.2.] 3.1.3)

III-1 Objeto y sector de aplicación

NOTAS:

- a) La presente sección del Anexo se funda en la norma ISO 3454 (1983), titulada “Medición del flujo líquido en canales abiertos - Equipo de sondeo y suspensión directos”.
- b) En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) y en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilitan directrices detalladas sobre el equipo de sondeo y suspensión directos.

En esta sección se especifican las condiciones de funcionamiento del equipo utilizado en la medición del flujo líquido en canales abiertos para:

- a) medir la profundidad del agua;
- b) suspender el equipo de medición (molinete o colector de muestras de sedimentos) a fin de ajustarse a las disposiciones de [D.1.2.] 3.1 del *Reglamento Técnico* y de satisfacer los criterios de precisión indicados para la medición del caudal en [D.1.2.] 3.6 de dicho Reglamento.

III-2 Equipo de sondeo

NOTA: El sondeo tiene por objeto medir la profundidad desde la superficie del agua hasta el lecho del cauce. Para ello se utiliza una vara o una sondaleza, según la velocidad y profundidad de la corriente.

III-2.1 Vara de sondeo

NOTA: La vara (o pértiga) de sondeo es de construcción rígida. Puede ser de funcionamiento manual o de funcionamiento mecánico con un soporte.

III-2.1.1 La vara manual se puede utilizar para medir profundidades hasta 3 metros y velocidades no superiores a 2 m/s.

NOTA: La vara mecánica con soporte permite por lo general medir profundidades de hasta 6 metros y velocidades no superiores a 2 m/s.

III-2.1.2 Para profundidades y velocidades menores (hasta 1 m y 1 m/s respectivamente) debería utilizarse la barra de molinete.

III-2.1.3 Durante las mediciones, la vara debería mantenerse en posición vertical.

III-2.2 Sondaleza

III-2.2.1 La sondaleza debería utilizarse cuando la profundidad y la velocidad del agua impidan el empleo de la vara.

III-2.2.2 Debería sujetarse de la sondaleza un peso adecuado para mantenerla vertical.

III-2.3 Sonda de peso

La sonda de peso debería tener un perfil aerodinámico para ofrecer una resistencia mínima al agua corriente.

NOTA: Para calcular la masa de la sonda de peso necesaria para determinadas profundidades y velocidades se puede aplicar la fórmula siguiente:

$$m = 5 \bar{v} d$$

donde:

m es la masa de la sonda de peso en kg;

\bar{v} es la velocidad media de la corriente en m/s;

d es la profundidad del agua en m.

III-3 Equipo de suspensión

III-3.1 Equipo de suspensión

El material de suspensión debería:

- a) permitir la suspensión del dispositivo de medición o de muestreo a una profundidad y posición determinadas, de manera que no se causen perturbaciones notables al dispositivo, cualesquiera que sean la profundidad y la velocidad;
- b) mantener el dispositivo de medición o de muestreo a la profundidad y en la posición predeterminadas en condición estable durante el período de observación.

III-3.2 Equipo de suspensión por varilla

NOTA: El equipo de suspensión por varilla tiene la ventaja de que se puede situar un dispositivo de medición o de muestreo en el punto de medición sin desviaciones apreciables de la vertical.

III-3.2.1 Equipo de suspensión por varilla de funcionamiento manual

Las barras de molinete deberían utilizarse en corrientes poco profundas y vadeables y en aguas cuya profundidad no sea superior a 3 metros y cuya velocidad no sobrepase los 2 m/s.

III-3.2.2 Equipo de suspensión por varilla de funcionamiento mecánico

NOTA: Aunque este equipo permite situar el dispositivo de medición o de muestreo con una mejor precisión a la profundidad y en la posición requeridas, es más pesado y requiere una instalación precisa y cierta habilidad de manejo.

El equipo de suspensión de funcionamiento mecánico se puede utilizar cuando no es posible el uso de una varilla manual, pero por lo general no se debería usar en profundidades superiores a 6 m y con velocidades de más de 2 m/s.

III-3.3 Equipo de suspensión por cable

III-3.3.1 El equipo de suspensión por cable debería utilizarse cuando la profundidad y la velocidad del agua no permitan el uso del equipo de suspensión por varilla.

NOTA: El equipo de suspensión por cable más comúnmente utilizado es de dos tipos:

- equipo de suspensión por funcionamiento manual, que se puede utilizar con pesos no superiores a 15 kg;
- equipo de suspensión desde un torno montado en un puente, en una vagoneta de tracción por cable, en una embarcación, una grúa o una capa de hielo, que debería utilizarse cuando la sonda tenga un peso superior a 15 kg.

III-3.3.2 Cuando la corriente desvía el cable de suspensión a tal punto que el ángulo formado por el cable con la vertical sea superior a cuatro grados, se produce un error inaceptable en la profundidad indicada, por lo que deberían introducirse dos tipos de corrección en dicha profundidad indicada:

- la "corrección de cable aéreo", que corresponde a la parte del cable situada entre el punto de suspensión y la superficie del agua;
- la "corrección de cable sumergido", para la parte del cable sumergida en el agua.

NOTA: En el en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales), Volumen 1–Trabajos sobre el terreno, páginas 141 y 143, se dan tablas de corrección.

III-4 Condiciones básicas

III-4.1 Varillas de sondeo y suspensión

III-4.1.1 Varillas de funcionamiento manual

Este material debería reunir las condiciones siguientes:

- su masa debería ser lo más reducida posible;
- debería ser rectilíneo y tener la resistencia suficiente para soportar la fuerza de la corriente sin vibrar ni doblarse de manera pronunciada. Puede estar compuesto de varias secciones que permitan su desmontaje;
- debería estar construido con materiales anticorrosivos;
- no debería producir una obstrucción que eleve de manera notable el nivel del agua;
- el intervalo entre las graduaciones debería permitir las observaciones cada diez milímetros; los incrementos de graduación de 0,1; 0,5 y 1 m deberían estar claramente identificados;
- debería tener un terminal plano que impida su hundimiento en el lecho del cauce;
- debería contener un montaje móvil para el equipo y un medio de transmitir una señal eléctrica.

III-4.1.2 Equipo de sondeo y suspensión de funcionamiento mecánico

Además de las condiciones indicadas en III-4.1.1 a) a g), el equipo de sondeo de funcionamiento mecánico (véase III-3.2) debería incluir lo siguiente:

- un dispositivo de bloqueo, tal como una rueda dentada con un trinquete, que mantenga el instrumento en la posición deseada;
- un dispositivo mecánico que permita subir o bajar fácilmente el instrumento;
- un dispositivo que permita fijar con seguridad el instrumento a la plataforma de aforo o a cualquier otra estructura;
- un contrapeso suficiente para asegurar la estabilidad.

III-4.2 Equipo de sondeo y suspensión por cable

III-4.2.1 Cable de sondeo y suspensión

El cable utilizado con los instrumentos de sondeo y suspensión debería:

- ser resistente a la corrosión, preformado y de colchado inverso para que no gire;
- tener un punto de enganche adecuado para la suspensión de los instrumentos de medición y de los pesos;

- c) llevar conductores aislados que permitan la transmisión de señales desde el instrumento;
- d) estar construido de forma tal que en uso normal no se doble ni se tuerza, pues ello influiría en su utilidad y en su longitud;
- e) tener la resistencia suficiente para soportar con seguridad el molinete y la sonda de peso. Su coeficiente de alargamiento en condiciones de carga no debería ser superior al 0,5 por ciento.

NOTA: Una carga de ruptura de como mínimo cinco veces el peso de la sonda proporciona un margen de seguridad suficiente para tener en cuenta los efectos del arrastre y la carga móvil. Si el manejo del cable es manual, la parte del cable en contacto con la mano debería ser de un material y de unas dimensiones idóneas (por ejemplo 10 mm de diámetro, con una cubierta de goma o de PVC) con el fin de facilitar su manejo y no producir lesiones al operador. La porción sumergida debería tener el menor diámetro posible (de acuerdo con las condiciones indicadas en a) a e), a fin de minimizar la resistencia al arrastre.

III-4.2.2 **Tornos**

Los tornos utilizados para soltar y medir el cable de suspensión deberían reunir las condiciones siguientes:

- a) el radio de los tambores, poleas y fundas no debería ser inferior al radio mínimo de flexión del cable especificado por el fabricante;
- b) deberían tener un dispositivo para medir la longitud de cable desenrollado. Podrá ser accionado por el tambor cuando el cable se enrolle en una sola capa o, en otro caso, directamente por el cable;
- c) deberían tener un dispositivo que asegure el arrollado uniforme del cable en el tambor; el extremo del cable se fijará con seguridad al tambor;
- d) deberían tener un dispositivo de bloqueo que permita mantener el tambor en la posición deseada;
- e) deberían tener una conexión eléctrica entre el equipo de registro y el instrumento suspendido;
- f) el tambor debería estar diseñado de tal forma que su accionamiento manual sea fácil; podrá estar dotado de un motor para subir o bajar los instrumentos de medición y sus pesos correspondientes; el

método de fijación a la plataforma de base debería ser sencillo y seguro. La plataforma de base puede ser una vagoneta, una pasarela, un marco de hielo, una grúa, un tangón, etc.

III-4.2.3 **Soportes y monturas para tornos**

Los soportes o monturas que se utilicen o fijen a los puentes, vagonetas, embarcaciones o hielo deberían:

- a) tener la resistencia suficiente para soportar el torno junto con el material de muestreo o de medición y los pesos eventuales;
- b) permitir subir o bajar el material de medición o muestreo en un plano vertical a distancia suficiente de la estructura de soporte;
- c) llevar incorporado un transportador para medir la desviación del cable con respecto a la vertical;
- d) llevar los contrapesos suficientes para asegurar su estabilidad en todo momento;
- e) poder comportar un dispositivo para fijar un motor;
- f) ser fácilmente transportables, y con esa finalidad podrían ser desmontables.

III-4.2.4 **Sondas de peso**

Las sondas de peso deberían estar construidas a base de materiales densos para reducir su volumen, tener una línea aerodinámica para minimizar la resistencia al arrastre y deberían estar dotadas de aletas para conseguir una estabilidad direccional. Con relación al instrumento de medición, el peso debería estar colocado de forma tal que se reduzca al mínimo su influencia en las características de funcionamiento del instrumento. El punto de unión del cable de suspensión debería ser lo más reducido posible o debería estar incorporado al cuerpo del peso. No se recomienda atar dos o más pesos al cable de sondeo o de suspensión.

NOTA: Además, la sonda de peso podrá:

- a) estar equipada de un dispositivo que detecte y señale el contacto con el lecho;
- b) llevar otros materiales hidrométricos;
- c) ser parte de un conjunto que tenga una base en voladizo para fijar el material hidrométrico.

IV – MOLINETES DE ELEMENTOS GIRATORIOS

(Véase [D.1.2.] 3.1.4)

IV-1 **Ámbito y campo de aplicación**

NOTAS:

- a) Los textos que contiene la presente sección del Anexo se basan en la norma ISO 2537 (1988), titulada: “Medición del flujo líquido en canales abiertos - Molinetes de elementos giratorios”;
- b) en la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) y en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilitan directrices detalladas aplicables a los molinetes.

En la presente sección se especifica lo referente a las condiciones de funcionamiento, la construcción, la calibración y el mantenimiento de los molinetes de elementos giratorios con el fin de que se ciñan a las disposiciones del *Reglamento Técnico* [D.1.2.] 3.1.4.

IV-2 **Condiciones de funcionamiento**

NOTA: Los molinetes de diseño tradicional están concebidos para funcionar en posición horizontal o casi horizontal. Los molinetes que funcionan en otras posiciones quedan excluidos de la presente sección.

IV-2.1 El equipo debería mantenerse alineado en paralelo con la corriente de forma que el elemento giratorio reaccione al movimiento de la corriente en la forma prevista. Si el molinete está dotado de un sistema de suspensión, éste no debería impedir el movimiento libre del molinete en el plano vertical para conseguir su alineamiento correcto con la corriente.

IV-2.2 El molinete debería ofrecer un mínimo de resistencia a la fuerza de la corriente.

IV-2.3 El rotor del molinete debería girar, cuando la corriente lo ponga en movimiento, a una velocidad angular relacionada, en una magnitud determinada, con la velocidad de la corriente dentro de la gama de velocidades calibradas establecidas por el fabricante o el laboratorio de calibración.

IV-2.4 El molinete debería ponerse en movimiento con rapidez y registrar de manera coherente los cambios de velocidad; el fabricante debería establecer los tiempos de respuesta previstos.

IV-2.5 A menos que se indique otra cosa, el molinete debería ser apto para utilizarse en aguas limosas o salobres.

IV-3 **Características de construcción**

IV-3.1 Las hélices deberían estar fabricadas con un material que impida su fácil alabeo o deformación.

IV-3.2 El par resistente de los rodamientos debería ser lo más pequeño posible y ser estable durante su utilización. La lubricación de los rodamientos debería efectuarse con arreglo a las prescripciones del fabricante. Debería de tomarse las medidas necesarias para mantener los rodamientos exentos de limo y agua, excepto en el caso de que se trate de rodamientos lubricados por agua.

IV-3.3 Las revoluciones del rotor deberían producir, bien sea por contacto mecánico o por dispositivos magnéticos, ópticos o de otra clase, una señal clara o positiva para toda la gama de velocidades comprendida en el alcance efectivo del molinete. Si se utilizaran conexiones eléctricas, éstas deberían ser suficientemente impermeables al agua.

IV-3.4 Los fabricantes deberían indicar la conductividad máxima del agua en la que se puede utilizar el molinete.

IV-3.5 Para medir velocidades bajas, habría de poder elegirse la frecuencia de las señales transmitidas por el mecanismo de conteo de forma que queden reducidos al mínimo los errores en las mediciones de duración normal.

IV-3.6 Para medir velocidades altas, si la frecuencia de las señales es tal que resulta imposible contarlas o indicarlas de manera adecuada, debería proporcionarse un dispositivo para detectar las señales de entrada a las referidas velocidades.

IV-3.7 Las piezas de repuesto deberían ser totalmente intercambiables con el fin de conseguir características uniformes de funcionamiento y evitar desviaciones superiores al 2 por ciento respecto de los valores de calibración.

IV-3.8 Los molinetes deberían estar fabricados, en su totalidad, con materiales no corrosibles o materiales

convenientemente protegidos contra la corrosión causada en aguas naturales. Deberían construirse con la solidez necesaria para conservar los valores de calibración en las condiciones normales de uso.

IV-4 Calibración

IV-4.1 Todas las calibraciones deberían ajustarse a las condiciones establecidas en la sección I del presente Anexo.

IV-4.2 Cuando se proceda a la calibración de molinetes, bien sea individualmente o en grupo, cada molinete debería ir acompañado de los documentos de calibración que se indican en el párrafo I-5.4 de la sección I del presente Anexo.

IV-4.3 En las calibraciones en grupo debería utilizarse como base de referencia un conjunto de molinetes de fabricación uniforme. El número de unidades componentes de la muestra debería ser suficiente y abarcar, de ser posible, tanto molinetes nuevos como molinetes usados y en buen estado de mantenimiento.

IV-4.4 Cuando se proceda a la calibración en grupo, los molinetes calibrados deberían someterse a verificaciones periódicas para comprobar si siguen funcionando sin rebasar las tolerancias previstas.

IV-4.5 Cuando la calibración de molinetes se efectúe por unidades separadas, éstos deberían recalibrarse periódicamente cada año o después de haberse utilizado durante 300 horas, eligiéndose el tiempo menor.

IV-4.6 Además de lo dispuesto en las reglas anteriores, los molinetes deberían recalibrarse siempre que su funcionamiento resulte sospechoso.

IV-4.7 Para que la calibración sea fiable, el laboratorio de calibración debería establecer límites de tolerancia a un nivel de fiabilidad del 95 por ciento para velocidades de 0,15; 0,25 y 0,50 m/s y superiores.

IV-4.8 Para verificar la validez de la curva de calibración, el fabricante o los laboratorios de calibración deberían establecer el error medio de los datos para los límites inferior y superior de la calibración y, cuando menos, dos puntos intermedios. El error típico debería expresarse en términos porcentuales de la media de su clase de velocidad y en relación con límites del intervalo de confianza del 95 por ciento.

IV-5 Mantenimiento

NOTA: En general, en condiciones de funcionamiento normal, el usuario debería ceñirse a los procedimientos de verificación recomendados antes y después de proceder a la medición del caudal de acuerdo con lo estipulado en el manual de funcionamiento y servicio de los fabricantes.

IV-5.1 El molinete debería inspeccionarse antes y después de proceder a cada una de las mediciones del

caudal con el fin de comprobar si los rodamientos están desgastados o dañados, si la alineación del eje es adecuada, si el funcionamiento de los puntos de contacto es correcto y si hay deformaciones del armazón de la cazoleta, en el caso de molinetes de cazoleta, o de la hélice, respecto a los molinetes de hélice.

IV-5.2 Para las operaciones de inspección, debería ser posible desmontar y montar el molinete sobre el terreno, sin necesidad de instalaciones o talleres especializados ni de personal con formación profesional especializada. Las herramientas que se requieran para efectuar esta operación deberían suministrarse junto con los accesorios corrientes.

IV-5.3 Antes de utilizarlo, debería comprobarse el molinete por medio de la verificación de señal con el fin de averiguar si su funcionamiento es correcto. Para esto bastará girar las cazoletas o la hélice lentamente, y comparar el número de rotaciones con el número que indica el contador o las señales audibles. Respecto a los molinetes provistos de generador, debería comprobarse si la salida varía en función de la velocidad del rotor.

IV-5.4 El estado del molinete debería comprobarse mediante una prueba de rotación antes y después de utilizarlo para la medición del caudal.

NOTA: La prueba de rotación se lleva a cabo de la siguiente manera: se coloca el molinete en posición normal de funcionamiento y se protege el rotor de las corrientes de aire; se hace girar el rotor manualmente y cuando se acerca al punto de reposo, se observa minuciosamente el movimiento para determinar si la parada del rotor se produce de forma brusca o gradual. Si la parada es brusca, debería indagarse la causa y corregir el defecto antes de utilizar el molinete.

IV-5.5 En las especificaciones del fabricante debería indicarse la duración probable de la rotación correspondiente a los distintos tipos de molinete.

IV-5.6 La duración de la rotación debería cronometrarse, consignarse y compararse con la duración mínima que se hubiera especificado.

IV-5.7 Después de cada medición, o durante la misma en el caso de mediciones de larga duración, deberían limpiarse y lubricarse completamente todas las superficies de los rodamientos. El lubricante que se utilice debería ajustarse a las mismas especificaciones que las recomendadas por el fabricante.

IV-5.8 Para el transporte y almacenamiento del molinete, sus piezas de repuesto y las herramientas de mantenimiento debería proporcionarse una caja protectora apropiada.

IV-5.9 El fabricante debería suministrar, junto con el instrumento, un manual completo de la forma de funcionamiento y servicio del aparato. Dicho manual debería contener instrucciones completas e ilustraciones cuando fueren necesarias.

V – VERTEDEROS PRECALIBRADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

(Véase [D.1.2.] 3.1.5)

V-1 **Ámbito y campo de aplicación**

NOTAS:

- a) Los textos que contiene esta sección del Anexo se basan en las normas ISO 1438/1 (1998) titulada “Medición del flujo de agua en canales abiertos utilizando vertederos y canales aforadores de Venturi”, Parte 1: “Vertederos de pared delgada”; ISO 3846 (1989) titulada “Medición del flujo líquido en canales abiertos utilizando vertederos y canales aforadores – Vertederos rectangulares de cresta ancha”; ISO 4360 (1984) titulada “Medición del flujo líquido en canales abiertos utilizando vertederos y canales aforadores – Vertederos de perfil triangular”; ISO 4374 (1990) titulada “Medición del flujo líquido en canales abiertos – Vertederos de cresta horizontal y umbral redondeado” e ISO 4377 (2002) titulada “Determinaciones hidrométricas – Medición del flujo en canales abiertos utilizando estructuras – Vertederos planos en forma de V”;
- b) en las referidas normas ISO se establecen también datos sobre las ecuaciones correspondientes de caudal. En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) y en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilitan directrices adicionales sobre la determinación del caudal.

La presente sección versa sobre las condiciones de funcionamiento que deben reunir los vertederos para medición del caudal que se consignan a continuación:

- a) vertederos de pared delgada;
- b) vertederos rectangulares de cresta ancha;
- c) vertederos de perfil triangular;
- d) vertederos de cresta horizontal y umbral redondeado;
- e) vertederos planos en forma de V;

los cuales deben ajustarse a lo que se estipula en el *Reglamento Técnico* [D.1.2.] 3.1.5.

V-2 **Elección del lugar del emplazamiento**

V-2.1 El vertedero debería emplazarse en un tramo rectilíneo del canal evitándose las obstrucciones, las

desigualdades de rugosidad y los desniveles del lecho de la corriente.

V-2.2 Debería efectuarse un estudio preliminar del lugar propuesto como se indica en el párrafo VI-4.15 de la sección VI.

V-2.3 El lugar elegido debería ajustarse, en la medida de lo posible, a las condiciones establecidas, en general, en el párrafo VI-3.2 y, en particular, en el párrafo VI-4.16 de la sección VI.

V-3 **Condiciones de instalación**

La instalación completa de medición debería constar de un canal de acceso, de una instalación de medición y un canal aguas abajo.

V-3.1 **Canal de acceso**

V-3.1.1 La corriente del canal de acceso debería ser regular y debería estar libre de perturbaciones y poseer una velocidad lo más uniforme posible en la sección transversal. El lecho de la sección de acceso debería estar exento de bloques rocosos y cantos rodados. No deberían producirse ondas estacionarias aguas arriba de la estructura a una distancia de 30 veces la carga máxima.

V-3.1.2 La sección transversal debería ser uniforme y el canal de acceso debería ser rectilíneo a lo largo de una longitud de por lo menos cinco veces la anchura de la superficie del agua en corriente máxima.

V-3.1.3 Cuando la entrada del canal de acceso esté situada en un recodo o si el canal recibe el agua a través de un conducto o por una sección transversal más pequeña, o por un tramo en ángulo, la parte rectilínea del canal de acceso debería tener la suficiente longitud para que la distribución de las velocidades sea uniforme.

V-3.1.4 Cuando el canal artificial, libre de residuos o materias en suspensión, esté dotado de deflectores, éstos no deberían estar situados a una distancia del punto

de medición inferior a 10 veces la altura piezométrica máxima que haya de medirse.

V-3.2 **Instalaciones de medición**

V-3.2.1 El vertedero debería tener una estructura rígida y ser impermeable, debería resistir las corrientes de crecida y debería estar emplazado formando ángulo recto con la dirección de la corriente.

V-3.2.2 Cuando se utiliza un vertedero de pared delgada, el muro sobre el que esté construido no debería presentar proyecciones y su pared aguas arriba no debería sobresalir de la cara frontal del vertedero. Aguas abajo, la estructura del vertedero no debería dificultar la aireación de la lámina vertiente.

V-3.2.3 El terreno sobre el que debe emplazarse la estructura debería ser impermeable o estar impermeabilizado mediante cementación, apilamiento u otro procedimiento.

V-3.3 **Condiciones aguas abajo de la estructura**

En los vertederos que se utilizan en condiciones de

corriente libre, debería evitarse toda acumulación de residuos en el canal situado aguas abajo de la instalación cuando éstos puedan aumentar el nivel de las aguas lo suficiente para anegar la estructura.

V-4 **Medición de la altura piezométrica**

V-4.1 La carga aguas arriba del vertedero debería medirse por medio del dispositivo adecuado de medición del nivel del agua que se indica en la sección II del presente anexo.

V-5 **Mantenimiento**

V-5.1 El canal de acceso debería mantenerse limpio y libre de limo y vegetación, por lo menos a lo largo de la distancia que se especifica en V-3.1.2.

V-5.2 El pozo de flotación y la entrada del canal de acceso deberían mantenerse limpios y libres de depósitos.

V-5.3 La estructura del vertedero debería mantenerse limpia de residuos adherentes.

VI - ESTABLECIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE UNA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

(Véase [D.1.2.] 3.3.1)

VI-1 Objeto y sector de aplicación

NOTAS:

- a) La presente sección del Anexo se funda en la norma ISO 1100-1 (1996), titulada "Medición del flujo líquido en canales abiertos – Parte I: Establecimiento y explotación de una estación de aforo", y en la norma ISO 748 (1997), titulada "Medición del flujo líquido en canales abiertos – Métodos de área – velocidad".
- b) En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-Nº 168) y en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) se facilitan directrices detalladas sobre el establecimiento y explotación de una estación hidrométrica.

En esta sección se especifican las condiciones de establecimiento y explotación de una estación hidrométrica para la medición del nivel o del caudal, o de ambos, a fin de ajustarse a las disposiciones de la regla [D.1.2.] 3.3.1 del *Reglamento Técnico* y de satisfacer los criterios de precisión de las mediciones indicados en las reglas [D.1.2.] 3.5 y [D.1.2.] 3.6 de dicho Reglamento.

VI-2 Estación de aforo del nivel de agua (altura)

VI-2.1 Estudio preliminar

Debería hacerse un estudio preliminar de las características físicas e hidráulicas del emplazamiento propuesto para cerciorarse de que cumpla con las condiciones necesarias para la medición del nivel de agua especificadas en el presente Anexo, sección II – Dispositivos de medición del nivel del agua.

VI-2.2 Selección del emplazamiento

VI-2.2.1 La selección del punto de observación de la altura del agua debería hacerse en función del objeto de las mediciones, la accesibilidad del lugar y la disponibilidad de un observador si el limnómetro carece de un dispositivo de registro.

VI-2.2.2 En las grandes masas de agua los limnómetros deberían colocarse de tal forma que se reduzcan los

efectos de los vientos fuertes que pueden dar lugar a la obtención de datos erróneos.

VI-2.2.3 Las condiciones hidráulicas constituyen un factor importante en cuanto a la elección de los emplazamientos sobre cauces, en particular cuando el nivel de agua se utiliza para calcular datos de caudal.

VI-2.3 Concepción y realización

Una estación de medición del nivel de agua debería comprender esencialmente uno o varios limnómetros de referencia. Cuando se requiera una medición continua de la altura, además del limnómetro de referencia debería instalarse un limnógrafo.

NOTA: En la sección II del presente Anexo se especifican diversos tipos de dispositivos de medición del nivel de agua, su instalación y utilización.

VI-3 Estaciones para la medición del caudal; mediciones individuales

NOTA: Los métodos que se describen a continuación son especialmente adecuados para la realización de una sola medición, un número limitado de mediciones o mediciones infrecuentes del caudal, pero siempre que no se requiera una medición continua del mismo.

VI-3.1 Método de área-velocidad y su principio

Se mide la velocidad y el área de la sección transversal de una corriente en un cauce abierto y a partir de estos datos se obtiene el caudal.

VI-3.2 Selección del emplazamiento

VI-3.2.1 En un estudio preliminar deberían hacerse mediciones aproximadas de las anchuras, profundidades y velocidades para estudiar la idoneidad del emplazamiento. Estas mediciones deberían utilizarse como guía para asegurarse de que los perfiles longitudinal y transversal del lecho y la distribución de velocidad son aceptables a los efectos de la medición del caudal.

VI-3.2.2 En el emplazamiento escogido debería ser posible medir toda la gama de caudales y todos los tipos de corriente que se puedan presentar o que sea necesario medir.

VI-3.2.3 El emplazamiento escogido debería reunir, en lo posible, las condiciones siguientes:

- a) en el punto de medición, el cauce debería ser, en lo posible, recto y de sección y pendiente uniformes. Cuando la longitud del canal rectilíneo es limitada, la longitud recta aguas arriba de la sección de medición debería ser igual al doble de la longitud recta aguas abajo;
- b) la profundidad del agua en el tramo escogido debería ser suficiente para la inmersión efectiva de los aparatos utilizados, ya se trate de molinetes o de flotadores;
- c) en el emplazamiento de medición las aguas deberían estar limpias y no obstruidas por plantas acuáticas u otros obstáculos.

VI-3.2.4 Además de las características especificadas en el párrafo VI-3.2.3, deberían tenerse en cuenta en la elección del emplazamiento de medición los factores siguientes:

- a) grado de accesibilidad;
- b) el lecho del tramo no debería estar sometido a cambios durante el período de medición;
- c) todo el flujo debería estar contenido en uno o varios cauces determinados que tengan límites suficientemente estables y dimensiones geométricas bien definidas;
- d) el emplazamiento debería estar alejado de todo codo o de cualquier obstáculo natural o artificial;
- e) deberían evitarse en lo posible los emplazamientos ricos en vegetación acuática;
- f) deberían evitarse los emplazamientos en que pueden producirse remolinos, reflujos o remansos;
- g) deberían evitarse las mediciones en corrientes convergentes y, más aún, en corrientes divergentes con relación a una sección de medición oblicua;
- h) el tramo debería estar orientado de tal manera que la dirección de la corriente sea en lo posible perpendicular a la del viento dominante;
- i) deberían evitarse en lo posible las mediciones en puntos donde se produzcan remansos de naturaleza variable;
- j) las planicies de inundación, si no se pueden evitar, deberían tener una anchura mínima, ser lo más planas posible, carecer de un cauce definido y estar libres de arbustos y árboles;
- k) si la medición se hace en las proximidades de un puente, es preferible que el emplazamiento se en-

cuentre aguas arriba del puente. Sin embargo, el emplazamiento debería situarse aguas abajo en casos de acumulación de hielo, troncos o residuos diversos;

- l) si existe la posibilidad de formación de capas de hielo, deberían cumplirse las condiciones siguientes:
 - i) el hielo debería ser lo bastante resistente para soportar el peso de personas y su equipo durante una proporción importante del tiempo en que la corriente esté helada. Como consecuencia, se aplicarán métodos seguros para determinar la resistencia del hielo cuando se está formando y, en particular, cuando se funde;
 - ii) los lugares de medición deberían estar aguas arriba en los tramos de aguas abiertas a fin de reducir al mínimo la presencia de barro o de cristales de hielo;
 - iii) los lugares de medición deberían elegirse de tal forma que se evite la presencia de varias capas de hielo. Este fenómeno se puede producir en los emplazamientos sometidos a numerosas fluctuaciones del nivel del agua o cuando la corriente se hiela hasta el fondo;

NOTA: Cuando un buen emplazamiento no reúna todas estas condiciones, se podrá utilizar un emplazamiento diferente para las mediciones de invierno siempre que el caudal afluente local entre ambos emplazamientos sea insignificante. En ciertos casos puede ser necesario utilizar más de un emplazamiento para las mediciones de invierno. Los emplazamientos para las mediciones de invierno deberían determinarse durante la estación de aguas abiertas, a fin de comprobar si cumplen las condiciones mencionadas más arriba.

- m) si una vez seleccionado el emplazamiento se producen cambios inaceptables en las condiciones del cauce, debería seleccionarse otro emplazamiento.

VI-3.2.5 El estudio topográfico del emplazamiento seleccionado debería incluir un plano del lugar y detalles del cauce, lecho y características de la corriente de la sección de medición.

VI-3.3 Concepción y realización

VI-3.3.1 Una vez escogido el emplazamiento, debería equiparse de medios de delimitación de la sección y de determinación del nivel.

VI-3.3.2 La posición de cada sección debería estar definida en las dos orillas del río por medio de marcas claramente visibles e inmediatamente identificables, y debería establecerse una cota de referencia de la estación.

NOTA: Cuando el emplazamiento pueda ser cubierto por una importante capa de nieve, las marcas de la línea de sección podrán tomar como referencia otros objetos, tales como túmulos de piedras.

VI-3.3.3 Debería instalarse un limnómetro de referencia para comprobar los cambios del nivel del agua que puedan producirse durante la medición.

VI-3.3.4 El cero de la escala para la medición del nivel debería relacionarse mediante una nivelación precisa con una cota de referencia.

VI-3.3.5 Debería instalarse un limnómetro auxiliar en la orilla opuesta cuando sea posible una diferencia de nivel de la superficie del agua entre las dos orillas.

NOTA: Esto es particularmente importante en el caso de ríos muy anchos.

VI-3.3.6 Deberían podarse o talarse los árboles que impidan ver claramente la sección o el tramo de medición.

VI-3.3.7 Debería construirse, cuando sea posible, un acceso adecuado al emplazamiento que permita el paso seguro en todo tiempo y cualquiera que sea el caudal.

VI-3.3.8 Deberían señalarse todos los puntos clave del emplazamiento de manera permanente en el suelo mediante señales introducidas a la profundidad necesaria para asegurar su inmovilidad.

VI-3.3.9 **Limnómetro de referencia**

El limnómetro de referencia debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.3.10 **Cota de referencia de la estación**

Debería establecerse una cota de referencia de la estación conforme a las especificaciones indicadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.3.11 **Pozo de amortiguación**

El pozo de amortiguación debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.3.12 **Limnígrafo**

El limnígrafo debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.3.13 **Material de sondeo y suspensión**

El material de suspensión del molinete debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.4 **Verificación final**

VI-3.4.1 Una vez construida la estación de aforo, debería procederse a la verificación final.

VI-3.4.2 Para las estaciones de medición del caudal, debería trazarse un perfil normalizado de la sección, indicando en el mismo la posición de las marcas. Este perfil debería ser objeto de frecuentes comprobaciones y veri-

sarse en caso necesario. En el local donde se guarden los instrumentos de medición debería conservarse una copia de este perfil normalizado (la versión más reciente).

VI-3.4.3 Para las estaciones de aforo por flotador debería prepararse un plan normalizado en el que se indicaran las líneas de las series de flotadores seleccionados y los puntos donde se sueltan. Debería conservarse una copia de este plan en todo momento en el local donde se guarden los instrumentos de medición.

VI-3.4.4 La verificación final, que se repetirá cuantas veces sea necesaria y en todo caso una vez al año por lo menos, debería incluir la determinación precisa de las cotas y las posiciones relativas de todas las instalaciones de la estación y de otros puntos de importancia crucial o elementos característicos del emplazamiento.

VI-3.5 **Medición del área de la sección transversal**

VI-3.5.1 **Medición de la anchura**

VI-3.5.1.1 La anchura del cauce y de los segmentos individuales debería medirse con relación a un punto de referencia fijo que debería encontrarse en el mismo plano vertical que la sección transversal.

VI-3.5.1.2 Cuando la anchura del cauce lo permita o cuando la superficie esté cubierta de hielo, debería medirse la anchura directamente, por ejemplo con la ayuda de una cinta de acero o de un cable convenientemente marcado, teniendo cuidado de introducir las correcciones necesarias. Deberían medirse de la misma manera los intervalos entre las verticales, es decir, la anchura de los segmentos.

NOTA: Pueden ser necesarias las correcciones siguientes:

- a) corrección de inflexión;
- b) corrección de tracción;
- c) corrección de inclinación;
- d) corrección de temperatura.

VI-3.5.1.3 Cuando el cauce sea demasiado ancho para los métodos de medición descritos, debería determinarse la distancia con ayuda de aparatos ópticos o eléctricos de medición o aplicando cualquiera de los métodos topográficos más comunes.

NOTA: Los métodos topográficos más comunes son:

- a) el método angular;
- b) el método lineal;
- c) método del punto pivote.

VI-3.5.1.4 La incertidumbre de la medición de la anchura no debería ser superior al 0,5 por ciento del valor verdadero.

VI-3.5.1.5 La distancia entre secciones sucesivas utilizadas para la medición de la velocidad por medio de

flotadores debería determinarse por métodos similares a los descritos más arriba y con un grado análogo de precisión.

VI-3.5.2 **Medición de la profundidad**

VI-3.5.2.1 La profundidad debería medirse a intervalos lo bastante próximos para definir con precisión el perfil de la sección. En general, los intervalos no deberían ser superiores al 1/15 de la anchura total en el caso de perfiles de cauces regulares y al 1/20 de la anchura en el caso de perfiles de cauces irregulares.

NOTA: En el caso de cauces pequeños con perfil regular, el número de intervalos se puede reducir.

VI-3.5.2.2 Debería medirse la profundidad utilizando sondalezas, varillas de sondeo o cualesquiera otros dispositivos idóneos que se especifican en la sección III del presente Anexo.

NOTA: Cuando el cauce tiene la profundidad suficiente, se puede utilizar una sonda acústica. Si la velocidad es elevada, es preferible utilizar una sonda acústica u otro dispositivo que no requiera correcciones importantes.

VI-3.5.2.3 Cuando se utiliza la varilla de sondeo o la sondaleza, deberían hacerse como mínimo dos lecturas en cada punto y adoptarse para los cálculos el valor medio de las mismas, a menos que la diferencia entre ambos valores sea superior al 5 por ciento, en cuyo caso debería hacerse otras dos nuevas lecturas.

VI-3.5.2.4 Si se utiliza una sonda acústica, debería tomarse preferentemente en cada punto la media de varias lecturas y deberían hacerse frecuentes calibraciones del instrumento.

VI-3.5.2.5 Cuando se determina la profundidad por medio de sondeos referidos a la superficie del agua, deberían hacerse frecuentes lecturas del nivel del agua en el limnómetro de referencia, con el objeto de que todas las mediciones se puedan corregir con referencia al mismo plano.

VI-3.5.2.6 Cuando durante la medición del caudal el perfil del lecho cambia de manera apreciable, las mediciones de profundidad deberían hacerse tomando una lectura de profundidad en cada uno de los puntos al comienzo y otra al final de cada medición de la velocidad en la vertical, y debería tomarse como profundidad efectiva el valor medio de estas dos mediciones.

NOTA: Es probable que los sondeos presenten inexactitudes debidas a las condiciones siguientes:

- a) la desviación con respecto a la vertical de la sondaleza o de la varilla de sondeo, particularmente en aguas profundas. La sondaleza puede desviarse con relación a la vertical debido a la fuerza ejercida por la corriente sobre el propio cable y sobre el peso. La intensidad de la desviación (deriva) se

puede minimizar utilizando un cable fino (2,5 mm de diámetro como máximo) y un peso estilizado. Para compensar la desviación deberían aplicarse correcciones a la profundidad indicada;

- b) la penetración de la varilla o sonda de peso en el fondo del cauce. Esta dificultad se puede evitar montando una base plana;
- c) la presencia de morrillos o grandes piedras. Su influencia puede reducirse haciendo varias mediciones;
- d) cuando se utiliza una sonda acústica, la presencia de depósitos blandos puede dar lugar a un doble eco. El eco superior da normalmente la profundidad efectiva, aunque se requieren investigaciones ulteriores. Esta dificultad se elimina utilizando una sonda acústica cuya frecuencia de operación sea igualo superior a 200 kHz.

VI-3.5.2.7 Cuando exista una capa de hielo, debería calcularse la profundidad efectiva, es decir, la profundidad del agua por debajo de la capa de hielo.

NOTA: La profundidad total se mide en agujeros practicados en el hielo con una tijera cortahielos, una sierra articulada o una taladradora de hielo, midiéndose a continuación la distancia entre la superficie del agua y el fondo de la capa de hielo con ayuda de una escala en forma de L o de un dispositivo similar. La profundidad efectiva se calcula restando estos dos valores.

VI-3.5.2.8 La incertidumbre del perfil no debería rebasar de ± 2 por ciento, ó 0,1 mm respecto a la escala completa de profundidades, eligiéndose el más alto de estos valores.

VI-3.6 **Medición de la velocidad**

VI-3.6.1 **Medición de la velocidad por medio de molinetes**

VI-3.6.1.1

- a) El molinete debería mantenerse en la posición deseada en cada vertical con ayuda de una barra de molinete en el caso de aguas poco profundas, o suspendido de un cable o de una barra desde un puente, un trole o una embarcación en el caso de cauces más profundos;
- b) cuando se utiliza una embarcación, el molinete debería ir dispuesto de tal forma que no sea afectado por los remolinos causados por la embarcación;
- c) una vez colocado el molinete en la vertical del punto escogido, se lo debería orientar en el sentido de la corriente antes de comenzar las lecturas.

NOTA: El molinete utilizado para medir el flujo de corriente puede ser un molinete con elemento rotativo, un molinete ultrasónico (acústico), un molinete electromagnético, un molinete de péndulo, un tubo de Pitot o cualquier otro instrumento de medición idóneo.

VI-3.6.1.2 Deberían utilizarse como mínimo 20 verticales y el caudal en cualquiera de los segmentos no debería ser superior al 10 por ciento del total.

VI-3.6.1.3

- a) Debería observarse la velocidad en cada punto exponiendo el molinete durante un mínimo de 30 segundos;
- b) cuando la velocidad esté sometida a importantes impulsos periódicos, debería aumentarse proporcionalmente el tiempo de exposición.

VI-3.6.1.4 El eje horizontal del molinete no debería estar situado a una distancia de la superficie del agua inferior a una vez y media la altura del rotor, ni a una distancia del fondo del cauce inferior a tres veces la altura del rotor. Además, todas las partes del molinete deberían estar sumergidas.

VI-3.6.1.5 El molinete debería sacarse del agua y examinarse al pasarlo de una vertical a otra.

VI-3.6.1.6 Cuando se hacen observaciones de la velocidad desde una capa de hielo, el molinete debería estar expuesto a la temperatura del aire el menor tiempo posible, con el fin de evitar la formación de hielo en las partes móviles. Si pese a ello se forma hielo, debería sumergirse el molinete durante algunos minutos antes de comenzar el cómputo.

VI-3.6.1.7 Si no se puede evitar el flujo de corriente oblicuo, debería medirse el ángulo formado por el sentido del flujo con la perpendicular de la sección transversal y corregir la velocidad medida.

NOTA: Si γ es el ángulo con la perpendicular, entonces

$$v_{\text{corregida}} = v_{\text{medida}} \cos \gamma$$

VI-3.6.1.8 La velocidad media del agua en cada vertical debería determinarse por cualquier método normalizado.

NOTA: Los métodos normalizados son:

- a) método de la distribución de las velocidades;
- b) métodos que utilizan un número reducido de puntos:
 - i) método de dos puntos (mediciones a 0,2 y 0,8 veces la profundidad a partir de la superficie);
 - ii) método de un solo punto (medición a 0,6 veces la profundidad a partir de la superficie);
- c) método de integración;
- d) otros métodos:
 - i) método de los seis puntos (mediciones a 0,2; 0,4; 0,6 y 0,8 veces la profundidad a partir de la superficie y lo más cerca posible de la superficie y del fondo);
 - ii) método de los cinco puntos (mediciones a 0,2; 0,6 y 0,8 veces la profundidad a partir de la superficie y lo más cerca posible de la superficie y del

fondo):

- iii) método de los tres puntos (mediciones a 0,2; 0,6 y 0,8 veces la profundidad a partir de la superficie);
- iv) variante del método de un solo punto (medición a 0,5 veces la profundidad a partir de la superficie);
- v) método del punto único en superficie (medición en un solo punto situado inmediatamente debajo de la superficie).

VI-3.6.2 Mediciones con ayuda de flotadores

NOTA: Los flotadores deberían utilizarse únicamente cuando no sea posible emplear un molinete por ser excesiva la velocidad o la profundidad, por la presencia de materiales o porque la velocidad es tan pequeña que no permite el funcionamiento del molinete.

VI-3.6.2.1 Selección del emplazamiento

- a) Deberían elegirse tres secciones a lo largo del tramo del cauce, una al principio, otra hacia la mitad y la tercera al final del tramo;
- b) las secciones deberían estar lo suficientemente alejadas entre sí para que el tiempo que tardan los flotadores en desplazarse de una sección a otra se pueda medir con exactitud.

NOTA: Se recomienda que el desplazamiento de los flotadores tenga una duración mínima de 20 segundos.

VI-3.6.2.2 Procedimiento de medición

- a) Debería lanzarse flotador aguas arriba a distancia suficiente de la sección para que alcance una velocidad constante a su paso por la primera sección;
- b) debería tomarse nota del momento en el que el flotador pasa por cada una de las tres secciones;
- c) debería repetirse el procedimiento con varios flotadores a distancias variables de la orilla;
- d) debería dividirse la anchura del cauce en segmentos de igual anchura o de caudal aproximadamente igual;
- e) el número de segmentos no debería ser inferior a tres, pero si es posible deberían utilizarse por lo menos cinco;

NOTA: Los tipos de flotadores más usados son los flotadores de superficie, los flotadores dobles, los flotadores de profundidad y las barras lastradas (flotadores de barra).

- f) los flotadores de superficie deberían utilizarse cuando no sea probable que su movimiento fuese afectado por el viento;
- g) la longitud del flotador de profundidad debería ser aproximadamente igual a la profundidad del agua, pero el flotador no debería tocar el fondo en ningún caso;
- h) la longitud de la barra lastrada debería ser como mínimo 0,95 veces la profundidad del agua, pero no debería tocar el fondo.

VI-3.6.2.3 *Evaluación de la velocidad*

- a) Debería determinarse la velocidad del flotador dividiendo la distancia entre las secciones por el tiempo que tarda el flotador en recorrer esa distancia;
- b) deberían tomarse varios valores de la velocidad del flotador, y la media de esos valores debería multiplicarse por el coeficiente adecuado para obtener la velocidad media del agua;
- c) debería utilizarse el coeficiente obtenido de las mediciones con molinete hechas en el mismo emplazamiento a un nivel lo más próximo posible al que había durante las mediciones hechas con el flotador para convertir la velocidad del flotador en velocidad media.

NOTA: A título de orientación general se indican los coeficientes siguientes:

- a) 0,84 a 0,90 para flotadores de superficie, correspondiendo los valores más elevados a cauces lisos;
- b) 1,0 para flotadores dobles a 0,6 veces la profundidad y 0,96 a 0,5 veces la profundidad;
- c) 0,8 a 1,0 para flotadores de profundidad y barras lastradas.

VI-3.7 **Métodos de medición por dilución**

NOTA: Principio del método

Se inyecta un líquido trazador en una corriente y se muestra el agua en un punto situado aguas abajo, donde los remolinos han mezclado uniformemente la solución trazadora en toda la sección. La diferencia de concentración entre la solución inyectada y el agua de la estación de muestreo permite medir el caudal. La solución trazadora puede ser inyectada gradualmente (método de inyección de régimen constante) o de una sola vez (método de la integración o impulsión) y puede tratarse de un colorante químico, radiactivo o fluorescente.

VI-3.8 **Estudio preliminar**

Debería hacerse un estudio preliminar para determinar las características hidráulicas y de mezcla del emplazamiento.

VI-3.9 **Selección del emplazamiento**

VI-3.9.1 En el emplazamiento escogido debería ser posible medir toda la gama de caudales y todos los tipos de corrientes que se puedan presentar o que sea necesario medir.

VI-3.9.2 En el tramo de medición no deberían producirse pérdidas ni ganancias de agua.

VI-3.9.3 La longitud del tramo debería ser suficiente para que la solución inyectada en sus comienzos se diluya uniformemente en toda la sección de muestreo.

NOTA: Conviene que la distancia entre las secciones de inyección y muestreo sea lo más corta posible.

VI-3.9.4 Debería elegirse un tramo en que el río sea lo más estrecho y turbulento posible, esté libre de zonas de aguas muertas y presente numerosas corrientes transversales. Deberían evitarse las zonas herbosas e invadidas por vegetación y las zonas en que el río se separa en varios brazos.

NOTA: Para la determinación de la idoneidad y longitud del tramo de medición, se puede inyectar una solución concentrada de fluoresceína colorante durante un período de tiempo relativamente corto en un punto situado en la sección de posible inyección. El estudio de la dilución de la solución mostrará si existen zonas muertas y cuál debería ser la distancia mínima entre la sección de inyección y la sección de muestreo.

VI-3.10 **Concepción y realización**

VI-3.10.1 La estación de aforo debería estar compuesta de un tramo de medición y de un limnómetro de referencia.

VI-3.10.2 Debería establecerse una cota de referencia de la estación conforme a las especificaciones indicadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.10.3 El limnómetro de referencia debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-3.10.4 La concepción y realización del pozo de amortiguación debería ajustarse a lo especificado en la sección II del presente Anexo.

VI-3.11 **Método de la pendiente de la superficie del agua**

NOTA: Principio del método

Se mide la pendiente de la superficie del agua y la superficie media de la sección del cauce en un tramo seleccionado, tan rectilíneo y uniforme como sea posible. Suponiendo un coeficiente de rugosidad, se calcula la velocidad media utilizando una fórmula del caudal que relaciona la velocidad, la rugosidad, el radio medio hidráulico y la pendiente. El caudal es entonces el producto de la velocidad media y de la superficie de la sección del flujo.

VI-3.12 **Estudio preliminar**

Debería hacerse un estudio preliminar para asegurarse de que todas las características físicas e hidráulicas del emplazamiento propuesto se prestan a la medición del caudal.

VI-3.13 **Selección del emplazamiento**

VI-3.13.1 La sección del río debería ser recta y uniforme, estar libre de obstáculos y vegetación, no manifestar

ninguna tendencia a la erosión ni a la acreción y no estar sometida a los efectos perturbadores de afluentes, estructuras construidas aguas abajo (presas, puentes) o mareas.

VI-3.13.2 La longitud del tramo debería ser tal que la diferencia del nivel del agua no sea inferior a 10 veces la incertidumbre de los niveles de agua.

VI-3.13.3 El flujo de corriente debería estar contenido entre límites definidos.

VI-3.13.4 El estudio topográfico debería incluir un plano del emplazamiento, una sección longitudinal del cauce desde un punto aguas abajo del control hasta el límite aguas arriba del tramo, junto con detalles del cauce, lecho y características del flujo.

VI-3.14 **Concepción y realización**

VI-3.14.1 La estación de aforo debería comprender una sección de medición natural o artificial y dos limnímetros de referencia.

VI-3.14.2 Las posiciones de las secciones deberían marcarse en la orilla y las secciones estudiarse a intervalos regulares y después de las inundaciones.

VI-3.14.3 Debería construirse, cuando sea posible, un acceso adecuado al emplazamiento, que permita el paso seguro en todo tiempo y cualquiera que sea el caudal.

VI-3.14.4 Todos los puntos clave del emplazamiento deberían señalarse de manera permanente en el suelo mediante piquetes introducidos a la profundidad necesaria para asegurar su inmovilidad.

VI-3.15 **Verificación final**

VI-3.15.1 Una vez construida la estación de aforo debería procederse a una verificación final.

VI-3.15.2 Los limnímetros deberían nivelarse con precisión y los niveles referirse a una cota de referencia común.

VI-3.15.3 Debería medirse exactamente la distancia entre los limnímetros.

VI-4 **Estación para la medición del caudal; mediciones regulares**

NOTA: Los métodos que se describen a continuación son particularmente idóneos para las mediciones relativamente frecuentes que se hacen a menudo en el curso de períodos relativamente largos.

VI-4.1 **Estación de caudal-altura**

NOTA: Principio del método

En un cauce estable con un control satisfactorio aguas abajo del nivel del agua puede haber una relación única

entre el nivel y el caudal. En tales cauces es conveniente establecer la relación entre el nivel y el caudal y deducir a continuación el caudal a partir de las medidas del nivel únicamente. Se puede calibrar la estación según el método de área-velocidad con ayuda de un molinete, una embarcación en movimiento, flotadores o por métodos de calibración por dilución.

VI-4.2 **Estudio preliminar**

VI-4.2.1 Debería hacerse un estudio preliminar para asegurarse de que las características físicas e hidráulicas del emplazamiento propuesto cumplen las exigencias del método elegido para medir el caudal a efectos de la calibración de la estación.

VI-4.2.2 El emplazamiento propuesto debería encontrarse en un tramo estable del río, en el que no se produzcan olas en períodos de crecida, no haya vegetación ni se den condiciones desfavorables en épocas de helada.

VI-4.3 **Selección del emplazamiento**

VI-4.3.1 En el emplazamiento escogido debería ser posible medir toda la gama de caudales y todos los tipos de corriente que se puedan presentar o que sea necesario medir.

VI-4.3.2 El emplazamiento debería ser sensible en el sentido de que toda modificación importante del caudal, incluso en el caso de los caudales más bajos, debería ir acompañada de una modificación apreciable del nivel. La sensibilidad de la estación debería ser la suficiente para la finalidad de las mediciones.

VI-4.3.3 Deberían evitarse en lo posible los emplazamientos donde proliferen las hierbas acuáticas.

VI-4.3.4 No deberían producirse torbellinos, remansos ni otras anomalías del flujo.

VI-4.3.5 Deberían evitarse en lo posible los emplazamientos que presenten condiciones mediocres en tiempo de heladas.

VI-4.3.6 El acceso al emplazamiento debería ser posible en la mayoría de las circunstancias.

VI-4.3.7 Debería hacerse un estudio topográfico detallado del emplazamiento como se especifica en los párrafos VI-3.1, VI-3.7 y VI-3.11, en función del método seleccionado para la medición.

VI-4.4 **Concepción y realización**

VI-4.4.1 La estación de aforo debería constar de una o varias secciones naturales o artificiales de medición y de un limnímetro de referencia.

NOTA: Normalmente se instala un limnógrafo que permita obtener una medición continua del nivel. A veces conviene

situar limnímetros en las dos orillas, sobre todo cuando puede haber entre ellas una diferencia de nivel del agua.

VI-4.4.2 Deberían indicarse las posiciones de cada sección en las orillas del río por medio de marcas permanentes bien visibles y fáciles de identificar, y establecerse una cota de referencia de la estación.

VI-4.4.3 Si un control regulase el nivel de caudal bajo en la sección de aforo, éste debería estar situado aguas abajo al término del tramo y toda sección de medición debería estar a distancia suficiente del control para evitar distorsión del flujo que podría producirse en esas proximidades.

VI-4.4.4 Cuando no se den las principales condiciones necesarias para un emplazamiento adecuado de las mediciones, debería mejorarse la situación, en lo posible, tomando las medidas siguientes:

- a) la construcción de diques para confinar la corriente en un canal de derivación definido;
- b) alinear la orilla siguiendo una línea regular y con una pendiente estable y eliminar del lecho las grandes piedras o rocas;
- c) proteger las orillas inestables aguas arriba y aguas abajo de la sección de medición en una distancia igual como mínimo a la cuarta parte de la anchura total del cauce en cada dirección. En el caso de medición por medio de flotadores debería protegerse la totalidad del tramo de medición;
- d) introducir un control artificial para mejorar la relación nivel-caudal (sensibilidad) o crear condiciones en la sección de medición que permitan la utilización eficaz de los instrumentos.

NOTA: Un control artificial es una estructura simple construida en un cauce. Puede tratarse de una presa de poca altura o de una contracción, que raras veces está concebida para funcionar como un control en toda la gama de niveles. Esta estructura no resulta viable en los grandes ríos de aluvión.

VI-4.4.5 El limnómetro de referencia y el limnógrafo deberían estar situados lo más cerca posible de la sección de medición y, si se usan flotadores para medir la velocidad, el limnómetro de referencia y el limnógrafo deberían estar situados cerca del punto medio del tramo de medición.

VI-4.4.6 Debería construirse, cuando sea posible, un acceso apropiado al emplazamiento que permita el paso seguro en todo tiempo y cualquiera que sea el caudal.

VI-4.4.7 Todos los puntos clave del emplazamiento deberían señalarse de manera permanente en el suelo mediante piquetes introducidos a la profundidad necesaria para impedir su movimiento.

VI-4.4.8 El limnómetro de referencia debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.4.9 El pozo de amortiguación debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.4.10 El limnógrafo debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.5 Verificación final

- a) La verificación final, que se repetirá según sea necesario a intervalos por lo menos anuales, debería incluir la determinación exacta de las cotas y la posición relativa de todas las instalaciones de la estación y los demás puntos de importancia crucial o las características significativas del emplazamiento. En el caso de estaciones en que pueda darse la histéresis, debería calibrarse por separado el caudal en los períodos de crecida y descenso de las aguas si la tasa de crecida (o descenso) es similar en todas las circunstancias;
- b) debería comprobarse el perfil del cauce después de una inundación.

VI-4.6 Explotación de la estación

VI-4.6.1 Cuando una estación esté equipada únicamente con uno o varios limnímetros de referencia y no posea limnógrafos, debería pedirse al observador local que proporcione lecturas a intervalos especificados de todos los limnímetros que tenga a su cargo.

NOTA: Las lecturas deberían hacerse preferiblemente a horas fijas. Los intervalos entre las lecturas deberían determinarse por el régimen de variación del nivel de agua en el emplazamiento, pero deberían tomarse disposiciones para hacer lecturas adicionales cuando el nivel de agua varíe con una rapidez superior a la habitual. Es esencial que el lector del limnómetro anote la hora exacta de cada lectura.

VI-4.6.2 Cuando una estación disponga de limnógrafo, el observador debería hacer visitas con regularidad para cerciorarse del funcionamiento correcto del aparato.

VI-4.6.3 Toda estación de aforo debería inspeccionarse siempre que el observador local notifique cualquier incidente que pueda afectar a su precisión.

VI-4.6.4 Todos los limnógrafos y sus respectivos relojes deberían limpiarse y engrasarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante o según lo dicte la experiencia de las condiciones de explotación de la estación.

VI-4.6.5 Debería comprobarse la cota de todos los puntos clave incluidos en la verificación final con relación a la cota de referencia de la estación por lo menos una vez al año o después de toda inundación durante la cual los equipos hayan podido ser dañados por los

hielos o materiales arrastrados. Al mismo tiempo debería comprobarse la verticalidad de toda escala limnométrica vertical.

VI-4.7 **Pendiente-nivel-caudal o caída-caudal**

NOTA: Principio del método

En un cauce estable con un control variable aguas abajo del nivel de agua, cuando no existe una relación única entre el nivel y el caudal, puede haber una relación entre la pendiente de la superficie del agua, el nivel y el caudal. En tales cauces resulta económico medir la pendiente de la superficie del agua y el nivel del agua, de donde se deduce el caudal. La estación puede ser calibrada por el método de área-velocidad o por los métodos de calibración por dilución.

VI-4.8 **Estudio preliminar**

Véase VI-4.2 más arriba.

VI-4.9 **Selección del emplazamiento**

VI-4.9.1 En el emplazamiento escogido debería ser posible medir toda la gama de caudales y todos los tipos de corriente que se puedan presentar o que sea necesario medir.

VI-4.9.2 En cualquier estación de aforo que tenga dos limnómetros gemelos, el emplazamiento debería ser sensible en el sentido de que toda variación importante del caudal, incluso en el caso de los caudales más débiles, debería ir acompañada de una variación apreciable del nivel en los limnómetros y/o de la caída entre los dos limnómetros. La sensibilidad de la estación debería ser suficiente para la finalidad de las mediciones.

VI-4.9.3 Deberían evitarse en lo posible los emplazamientos donde proliferen las hierbas acuáticas.

VI-4.9.4 No deberían producirse torbellinos, remansos ni otras anomalías del flujo.

VI-4.9.5 Deberían evitarse en lo posible los emplazamientos que presenten condiciones mediocres en tiempos de helada.

VI-4.9.6 El acceso al emplazamiento deberá ser posible en la mayoría de las circunstancias.

VI-4.10 **Estudio**

Véase VI-4.3.7 más arriba.

VI-4.11 **Concepción y realización**

VI-4.11.1 La estación de aforo debería constar de una o varias secciones naturales o artificiales de medición y de dos limnómetros de nivel de agua, siendo uno de los cuales el limnómetro de referencia.

NOTA: Se podrán instalar limnógrafos para proporcionar una lectura continua del nivel y la caída. Puede ser conveniente establecer limnómetros en las dos orillas, sobre todo cuando haya alguna posibilidad de diferencias del nivel del agua entre ellas.

VI-4.11.2 Deberían indicarse las posiciones de cada sección en las orillas del río por medio de marcas permanentes bien visibles y fáciles de identificar, y establecerse una cota de referencia de la estación.

VI-4.11.3 La longitud del tramo debería ser suficiente para que todo error de observación sea insignificante con relación a la caída de nivel entre los dos limnómetros.

VI-4.11.4 Si un control regulase el nivel de caudal bajo en la sección de aforo, éste debería estar situado aguas abajo al término del tramo y toda sección de medición debería estar a distancia suficiente del control para evitar distorsión del flujo que podría producirse en esas proximidades.

VI-4.11.5 El limnómetro de referencia y el limnógrafo deberían estar situados lo más cerca posible de la sección de medición y, si se usan flotadores para medir la velocidad, el limnómetro de referencia y el limnógrafo deberían estar situados cerca del punto medio del tramo de medición.

VI-4.11.6 Cuando no se den las principales condiciones necesarias para un emplazamiento adecuado de las mediciones, debería mejorarse la situación, en lo posible, como se describe en VI-4.4.4.

VI-4.11.7 De no existir ya, debería construirse, cuando sea posible, un acceso apropiado al emplazamiento que permita el paso seguro en todo tiempo y cualquiera que sea el caudal.

VI-4.11.8 Todos los puntos clave del emplazamiento deberían señalarse de manera permanente en el suelo mediante piquetes introducidos a la profundidad necesaria para asegurar su inmovilidad.

VI-4.11.9 El limnómetro de referencia debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.11.10 El pozo de amortiguación debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.11.11 El limnógrafo debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.12 **Verificación final**

VI-4.12.1 La verificación final, que se repetirá según sea necesario a intervalos por lo menos anuales, debería incluir la determinación exacta de las cotas y la posición relativa de todas las instalaciones de la estación y los demás puntos de importancia crucial o las características significativas del emplazamiento.

VI-4.12.2 Debería comprobarse el perfil del cauce después de una inundación.

VI-4.13 **Explotación de la estación**

Véase VI-4.6 más arriba.

VI-4.14 **Aliviaderos, vertederos y canales aforadores**

NOTA: Principio del método

El principio del método de medición consiste en establecer una relación entre la carga y el caudal, generalmente en el laboratorio. Esta relación se aplica a la instalación sobre el terreno. Por consiguiente, basta con disponer de la medida de la carga en la estación de aforo e introducir este valor en la fórmula adecuada para obtener el valor del caudal. La fórmula y las condiciones de aplicación que rigen cada estructura de medición se especifican en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales). Siempre que sea posible, debería verificarse la fórmula sobre el terreno procediendo a mediciones del caudal.

VI-4.15 **Estudio preliminar**

Debería hacerse un estudio preliminar de las características físicas e hidráulicas del emplazamiento propuesto para cerciorarse de que cumple (o puede ser construido o modificado de forma que cumpla) las condiciones necesarias para la medición del caudal por la estructura.

VI-4.16 **Selección del emplazamiento**

VI-4.16.1 En la selección del emplazamiento debería prestarse particular atención a las circunstancias siguientes:

- a) la suficiencia de la longitud del cauce que posea una sección regular (véase la nota después de VI-4.16.3);
- b) la uniformidad de la distribución existente;
- c) la necesidad de evitar un cauce abrupto (el número de Froude no debería ser superior a 0,5 aproximadamente);
- d) los efectos de una crecida aguas arriba del nivel de agua por razón de la estructura de medición;
- e) las condiciones aguas abajo (incluidas diversas influencias tales como las mareas, la desembocadura de otros cursos de agua, las esclusas, las presas de molino y otras características de control, sin olvidar el crecimiento estacional de la vegetación) que podrían provocar el ahogamiento;
- f) la impermeabilidad del suelo sobre el que se deben establecer los cimientos de la estructura y la necesidad de pilotes, cimentaciones u otros medios de controlar las infiltraciones;
- g) la necesidad de diques para conservar en el cauce el caudal máximo;
- h) la estabilidad de las orillas y la necesidad de regularizarlas y/o revestirlas;

- i) la uniformidad de la sección en el cauce de aproximación.

VI-4.16.2 La estructura debería estar concebida en forma tal que no se pueda anegar en las condiciones de explotación especificadas.

VI-4.16.3 La corriente del cauce de aproximación debería tener una distribución simétrica de la velocidad.

NOTA: Para ello bastará con disponer de un cauce de aproximación recto y largo y de sección uniforme. Será suficiente un cauce de aproximación cuya longitud sea igual a cinco veces la anchura de la superficie del agua en el momento de caudal máximo, siempre que el agua no llegue al cauce de aproximación con una velocidad elevada a través de un codo muy pronunciado o de una esclusa colocada de través.

VI-4.17 **Concepción y realización**

VI-4.17.1 La estación de aforo debería constar de un cauce de aproximación, una estructura de medición con sus correspondientes limnímetros aguas arriba, un cauce aguas abajo y un limnómetro de referencia.

NOTA: Normalmente se instala un limnógrafo para obtener una lectura continua de la carga.

VI-4.17.2 La estructura de control debería ser rígida y estanca y capaz de resistir las condiciones de la corriente sin sufrir daños por desbordamiento o erosión. El eje debería estar alineado en la dirección de la corriente del cauce.

VI-4.17.3 Las superficies de la garganta del canal de descarga y del cauce inmediato de aproximación deberían ser lisas.

VI-4.17.4 Las paredes verticales laterales destinadas a producir la contracción en el plano deberían estar simétricamente dispuestas con relación a la línea central del cauce.

VI-4.17.5 Para que el grado de incertidumbre del caudal sea aceptable, deberían observarse las tolerancias de construcción indicadas en las Normas Internacionales* pertinentes.

VI-4.17.6 El limnómetro de referencia debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-4.17.7 El cero del dispositivo de medición de la carga debería ajustarse inicialmente con precisión por referencia al nivel del lecho de la cresta o garganta y este ajuste debería comprobarse con regularidad posteriormente.

VI-4.17.8 Debería establecerse una cota de referencia de la estación conforme a las especificaciones indicadas en la sección II del presente Anexo.

* ISO 1438, 3846, 3847, 4359, 4360, 4362, 4377, y el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales).

VI-4.17.9 La concepción y realización del pozo de amortiguación debería ajustarse a lo especificado en la sección II del presente Anexo.

VI-4.17.10 El limnógrafo debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-5 Estación de aforo ultrasónica (acústica)

NOTA: Principio del método

El principio del método ultrasónico (acústico) consiste en medir la velocidad de la corriente en el cauce a cierta profundidad transmitiendo simultáneamente impulsos en ambas direcciones a través del agua desde transductores situados a cada orilla del río. Los transductores pueden estar concebidos para transmitir y recibir impulsos. No están situados directamente uno frente a otro sino escalonados, de manera que el ángulo formado por el trayecto del impulso y la dirección de la corriente es de 30° a 60°. La diferencia entre el tiempo de desplazamiento de los impulsos que cruzan el río en la dirección de la corriente y los que le cruzan en la dirección contraria guarda una relación directa con la velocidad media del agua a la profundidad de los transductores. Se puede entonces establecer una relación entre esta velocidad y la velocidad media del flujo en toda la sección y, en caso necesario, basta incorporar un factor de área al procesador electrónico para que el sistema suministre una indicación del caudal.

VI-5.1 Estudio preliminar

Debería hacerse un estudio preliminar para cerciorarse de que las características físicas e hidráulicas del emplazamiento propuesto cumplen las condiciones requeridas para la aplicación del método.

VI-5.2 Selección del emplazamiento

VI-5.2.1 En el emplazamiento escogido debería ser posible medir toda la gama de caudales y todos los tipos de corriente que se puedan presentar o que sea necesario medir.

VI-5.2.2 En la selección del emplazamiento deberían considerarse los factores siguientes:

- se debería disponer de energía eléctrica de la red principal;
- el emplazamiento debería tener fácil acceso, preferiblemente en las dos orillas;
- deberían evitarse las curvas pronunciadas en el cauce, aunque podrían ser aceptables si el emplazamiento reúne la condición *d*);
- en las secciones escogidas del sector entre el transductor montado aguas arriba y el transductor montado aguas abajo, la distribución de velocidad debería ser la misma;

- el lecho debería ser preferiblemente estable;
- la sección debería estar libre de plantas acuáticas que atenúen la señal acústica;
- el cuadro siguiente contiene las profundidades aproximadas mínimas necesarias de la corriente de los ríos en el caso de tres frecuencias diferentes. Se basa únicamente en la consideración del problema de la refracción y muestra que la profundidad necesaria del agua aumenta a medida que lo hace la longitud del trayecto. El cuadro se basa en el método de detección de la señal "primer cruce en el punto cero";

Longitud del trayecto (m)	Frecuencia, kHz		
	100	200	500
	Profundidad mínima necesaria (m)		
50	0,8	0,6	0,4
100	1,2	0,8	0,5
200	1,7	1,2	0,8
300	2,1	1,5	0,9
400	2,4	1,7	1,1
500	2,9	1,9	1,2
600	3,0	2,0	1,3

- la refracción de la señal acústica puede ser ocasionada por gradientes de temperatura del orden de 0,01 °C por 30 mm de profundidad y la señal se puede perder por este único factor; convendría, pues, proceder a lecturas de la temperatura del agua en el emplazamiento propuesto, sobre todo en los períodos de temperaturas extremas;
- la atenuación de la señal acústica puede deberse también a la reflexión y dispersión de la onda de presión propagada, causada por burbujas de aire arrastradas por el agua. Convendría, pues, evitar los emplazamientos situados inmediatamente después de presas, canales de descarga o saltos de agua;
- los cuerpos sólidos en suspensión pueden tener un efecto importante en la atenuación de las señales, debida a la reflexión y a la dispersión producida por partículas de sedimentos suspendidas en la corriente. Por regla general deberían evitarse las secciones en las que la concentración sea superior a 1000 mg/l durante períodos de tiempo considerables. Debería tenerse debidamente en cuenta la frecuencia de explotación utilizada, la dimensión de los sedimentos, la distribución, la temperatura del agua y la longitud del trayecto acústico.

VI-5.3 Concepción y realización

VI-5.3.1 La estación de aforo debería consistir en:

- a) i) uno o varios pares de transductores instalados en cada orilla y fijados de manera permanente; o
- ii) uno o varios pares de transductores instalados en cada orilla y que se puedan desplazar en un plano vertical o inclinado;
- b) una consola electrónica que contenga un procesador electrónico de datos y un registrador de datos;
- c) un limnógrafo en interfaz con el procesador electrónico de datos, cuando haga falta una indicación del nivel o del caudal, o ambas cosas;
- d) un cable blindado, normalmente instalado en el lecho, para transmitir las señales de los transductores y, en su caso, el limnógrafo;
- e) un limnómetro de referencia.

VI-5.3.2 Debería procederse a un estudio detallado del nivel del lecho y de las orillas en una distancia correspondiente a la anchura del río aguas arriba del montaje de los transductores de arriba y de una anchura del río a partir del punto del montaje de los transductores de abajo. De ser necesario, debería procederse a la mejora del lecho y las orillas.

VI-5.3.3 Una vez decidido el emplazamiento de los transductores, debería estudiarse cuidadosamente el ángulo formado por los montajes con miras al cableado definitivo del procesador electrónico.

NOTA: La salida de una estación ultrasónica se podrá registrar según alguno de los modos siguientes:

- a) velocidad del trayecto (o índice numéricamente proporcional a dicha velocidad);
- b) velocidad del trayecto y nivel;
- c) caudal y nivel;
- d) velocidad y caudal;
- e) velocidad, caudal y nivel.

Si el nivel no figura en el modo escogido debería registrarse por separado por medio del limnógrafo, para el procesamiento ulterior fuera del emplazamiento.

En el caso de explotación según el modo caudal, convendría prever un sistema manual en el procesador electrónico que permita introducir la corrección necesaria si cambia el nivel del lecho.

VI-5.3.4 El limnómetro de referencia debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-5.3.5 Debería establecerse una cota de referencia de la estación conforme a las especificaciones indicadas en la sección II del presente Anexo.

VI-5.3.6 La concepción y realización del pozo de amortiguación debería ajustarse a lo especificado en la sección II del presente Anexo.

VI-5.3.7 El limnógrafo debería tener las características especificadas en la sección II del presente Anexo.

VI-6 Reunión de los resultados

VI-6.1 Todos los datos obtenidos sobre el terreno deberían ser objeto rápidamente de un examen crítico destinado a descubrir las posibles anomalías.

VI-6.2 Si se han instalado limnógrafos, debería tomarse la lectura de los niveles de agua a partir de gráficos o cintas de los instrumentos de medición a los intervalos que sean necesarios para definir la hidrografía de manera adecuada. La conversión del nivel de agua en caudal debería hacerse para cada nivel de agua utilizando todas las correcciones necesarias.

VI-6.3 Debería evitarse en lo posible la extrapolación de los caudales a partir de las curvas de gasto. Los caudales obtenidos por extrapolación deberían diferenciarse de los obtenidos por interpolación (los métodos de extrapolación se describen con todo detalle en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) Volumen II - Cálculo de los caudales, páginas 16 a 26.

NOTA: Una lectura podrá ser considerada como una lectura típica cuando la suma de las cantidades estimadas no sea superior al 5 por ciento de la escorrentía total del año considerado.

VI-6.4 La lectura podría ir acompañada de comentarios que indiquen los días en que el caudal fue afectado por el crecimiento de vegetación, el hielo o los residuos arrastrados a consecuencia de inundaciones.

VI-7 Medida del caudal en presencia de hielo

VI-7.1 Concepción y realización

VI-7.2 Pozo de amortiguación

El pozo de amortiguación y los tubos de entrada deberían estar contruidos de forma tal que el sistema sea operativo durante largos períodos con temperaturas por debajo del punto de congelación.

VI-7.3 Limnógrafo neumático

VI-7.3.1 El orificio por el cual el gas comprimido se descarga en la corriente debería estar practicado en una cota inferior a la del fondo de la capa de hielo que normalmente se forme en la estación de aforo.

VI-7.3.2 El orificio debería estar situado lo más lejos posible de los puntos donde se forma hielo de fondo, como por ejemplo más arriba de los rápidos, para evitar su obstrucción.

VI-7.3.3 Cuando exista la posibilidad de que el orificio se hiele, debería reducirse la presión de alimentación del gas hasta un valor inferior a la presión correspondiente al

campo total indicado por el instrumento de medición.

VI-7.3.4 El conducto que lleve al orificio debería estar enterrado en la orilla hasta una profundidad suficiente para impedir los daños producidos por el hielo arrastrado durante las crecidas.

VI-7.3.5 En caso necesario, los instrumentos deberían calentarse hasta que adquieran la temperatura mínima de funcionamiento prescrita por el fabricante, cuando se requiera un funcionamiento ininterrumpido.

NOTAS:

- a) El mercurio utilizado en algunos instrumentos se solidifica a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) las baterías utilizadas para el suministro de energía de-

berían ser impermeables y estar situadas dentro de la corriente con el objeto de obtener un rendimiento satisfactorio cuando las temperaturas sean extremadamente bajas.

VI-7.4 **Aliviaderos, vertederos y canales aforadores**

VI-7.4.1 Siempre que fuese necesario y posible, los aliviaderos, vertederos y canales aforadores deberían calentarse durante el período de hielos a fin de asegurar que la relación carga-caudal resulte aplicable durante el invierno.

VI-7.4.2 La elevación de la estructura debería ser comprobada durante y después del período de hielos para asegurarse de que no se ha levantado como consecuencia de haberse helado el suelo.

VII – DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN NIVEL-CAUDAL

(Véase [D.1.2.] 3.4.1)

VII-1 Alcance y campo de aplicación

NOTAS:

- a) Los textos de esta sección del anexo se fundan en la norma ISO 1100-2 (1998 y 2000) titulada "Medición del flujo líquido en canales abiertos – Parte 2: Determinación de la relación nivel-caudal)
- b) El *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales) contiene directrices detalladas sobre la determinación de la relación nivel-caudal y sobre las incertidumbres que a ella se aplican.

En esta sección se especifican los métodos para determinar la relación nivel-caudal en una estación de aforo para cauces estables e inestables, incluidos los que pueden contener hielos, y se hace además un análisis de las incertidumbres que se experimentan en la preparación y uso de la relación. Las especificaciones tienen por objeto aplicar lo indicado en la regla [D.1.2.] 3.1 y satisfacer los requisitos de precisión indicados en la regla [D.1.2.] 3.6 del *Reglamento Técnico*.

VII-2 Calibración de una estación de aforo

VII-2.1 Generalidades

Cualquier relación nivel-caudal que haya podido establecerse debería revisarse continuamente con objeto de garantizar que se mantiene su validez y poder determinar de nuevo dicha relación cuando se demuestre que ha sido considerablemente alterada por cualquier cambio que pueda haberse producido.

NOTA: En vista de que un río está continuamente en fase de desarrollo, sus características están sujetas a cambios que pueden afectar a la calibración. Estos cambios pueden producirse gradualmente como resultado de un lento proceso de erosión o acumulación, o bien pueden aparecer bruscamente como consecuencia de alteraciones producidas en el cauce. Además, pueden originarse cambios temporales causados por el crecimiento y deterioro de las plantas acuáticas, por la formación y rotura de la capa de hielo o por la descomposición de residuos.

VII-2.2 Relación estable nivel-caudal

NOTAS:

- a) La expresión más simple de la relación nivel-caudal es un

gráfico en papel de coordenadas en el que se representan los caudales en abscisas y los correspondientes niveles en ordenadas. Como con frecuencia el caudal varía varios órdenes de magnitud, algunas veces es más conveniente representar gráficamente la relación en papel logarítmico sencillo o doble. El nivel utilizado en el gráfico debe ser el nivel medio ponderado durante la medición del caudal.

- b) El cálculo del nivel medio de una medición del caudal se describe en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales), Volumen I - Trabajos sobre el terreno, páginas 147 a 150.

VII-2.2.1 Debería trazarse a ojo una curva suavizada a través de toda la serie de datos puntuales para detectar los que puedan ser erróneos.

VII-2.2.2 La curva del caudal en función del nivel debería estar definida por un número suficiente de mediciones adecuadamente distribuidas durante toda la gama de niveles del agua.

VII-2.2.3 La curva del caudal debería examinarse para determinar la histéresis. Cuando sea posible, las medidas deberían realizarse cuando el nivel sea estable; en caso contrario, las medidas tomadas en fases de ascenso o descenso del nivel deberían indicarse mediante símbolos distintivos.

VII-2.2.4 Debería obtenerse la ecuación de la curva del caudal, o bien considerar que la curva constituye simplemente un registro gráfico.

NOTA: Si el cero de la escala corresponde al caudal cero, la relación nivel-caudal de una estación puede ser expresada a menudo mediante una ecuación de la forma $Q = Ch^\beta$ (donde Q es el caudal, h es la altura de la escala, y C y β son coeficientes) en toda la gama de niveles de agua, o más frecuentemente mediante dos o varias ecuaciones más similares, cada una de las cuales se relaciona con una parte de la gama de variación. Si el cero de la escala no corresponde al caudal cero debería aplicarse a h una corrección a , lo que da lugar a la ecuación siguiente:

$$Q = C(h + a)^\beta$$

La magnitud a puede ser determinada a partir del nivel en la sección de control en relación con el flujo cero. Alternativamente, la constante a puede determinarse por

tanteo al trazar Q (bien a escala ordinaria o a escala logarítmica), en función de $h + a$ (a escala logarítmica). El valor a que dé la mejor alineación recta de los datos puntuales puede ser considerado como el mejor valor de a .

VII-2.3 Relación inestable nivel-caudal

VII-2.3.1 Generalidades

Deberían trazarse curvas suavizadas del caudal en función del nivel para los períodos en los que se observe poca fluctuación o ninguna.

NOTA: En cauces inestables, la geometría del cauce y las características de la fricción –y por consiguiente las características del control– varían en función del tiempo y lo mismo ocurre con la relación nivel-caudal en cualquier punto dado del cauce. Estas variaciones del control son evidentes especialmente durante y después de los períodos de inundación, cuando existen hielos y en los períodos de crecimiento o deterioro de la vegetación. En estos casos, todos los caudales medidos se representan gráficamente en función de sus correspondientes niveles y a cada punto se le inscribe su correspondiente fecha.

VII-2.3.2 Desplazamiento de los controles

NOTA: Los términos “desplazamiento del control” hacen referencia a las condiciones que producen que las relaciones nivel-caudal no permanezcan las mismas continuamente, sino que varíen de vez en cuando, bien de manera gradual o abrupta, a causa de los cambios de las características físicas que constituyen el control de la estación. Si las mediciones del caudal indican que la relación nivel-caudal ha cambiado con respecto a una situación anterior, se pueden utilizar correcciones del desplazamiento del control (adición o sustracción con respecto a la altura de la escala) con objeto de que la altura efectiva de la escala corresponda con el caudal medido y con la curva del caudal.

VII-2.3.3 Desplazamiento del control debido a las características del hielo

VII-2.3.3.1 Mediciones del caudal y espesor del hielo

- Las mediciones del caudal deberían hacerse antes y después de la formación de la capa de hielo para determinar el descenso inicial del caudal a intervalos adecuados para definir la recesión del flujo por debajo de la capa de hielo, y antes y después de la rotura del hielo para determinar cuándo la relación nivel-caudal en aguas abiertas puede aplicarse de nuevo.
- El espesor del hielo debería medirse cada vez que se haga una medida del caudal.

VII-2.3.3.2 Cálculo del caudal diario

Los caudales medios diarios deberían ser calculados mediante un método normalizado.

NOTA: Los métodos normalizados más corrientes son los siguientes:

- utilizando alturas efectivas de la escala y la relación nivel-caudal en aguas abiertas;

- interpolación directa entre los valores medidos del caudal;
- utilizando la ecuación de recesión, especialmente en las corrientes mayores que tengan un embalse significativo en un lago;
- utilizando una curva de caudal correspondiente al invierno, en particular si el régimen de los hielos parece ser constante de un invierno a otro.

VII-2.3.4 Evaluación cuando la superficie tiene pendiente (desnivel)

NOTA: En las estaciones de aforo afectadas por aguas remanadas de carácter variable y sujetas a la histéresis debida a los cambios de caudal cuando la pendiente hidráulica es muy suave, la evaluación del caudal exige la utilización del desnivel entre dos escalas de referencia situadas en el mismo tramo del río, como parámetro adicional. La representación gráfica de las observaciones de nivel-caudal con el valor del desnivel marcado en cada observación pondrá de manifiesto si la relación está afectada por una pendiente variable en todos los niveles o solamente cuando el desnivel es menor que determinado valor en particular.

VII-2.3.4.1 Si el caudal está afectado por el desnivel en todos los niveles del agua, debería aplicarse el método de desnivel constante cuando se evalúe la relación nivel-caudal.

VII-2.3.4.2 Si el caudal está afectado por el desnivel únicamente cuando éste es menor que determinado valor en particular, debería aplicarse el método de desnivel normal cuando se evalúe la relación nivel-caudal.

NOTA: Los métodos para evaluar las relaciones nivel-caudal en los que se utiliza la pendiente como un parámetro se describen en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales), Volumen II - Cálculo del caudal, Capítulo 2 y en la norma ISO 1100/2, Anexo C.

VII-2.4 Extrapolación de la curva del caudal

VII-2.4.1 De preferencia, una curva del caudal no debería utilizarse fuera de la gama de observaciones en la que se funda.

VII-2.4.2 Cuando sea necesario hacer una extrapolación, los resultados obtenidos deberían ser verificados por varios métodos.

VII-2.5 Tabla del caudal

Se puede elaborar una tabla del caudal a partir de la curva o curvas del caudal o de la ecuación o ecuaciones de las curvas, mostrando en orden ascendente los caudales correspondientes a los niveles y a intervalos adecuados al grado de interpolación que se desea.

VII-3 Métodos de verificación de las curvas nivel-caudal

Las curvas de nivel-caudal deberían ser verificadas para determinar su distorsión y buen ajuste.

NOTA: Los métodos de verificación se especifican en el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales), Volumen II - Cálculo del caudal, Capítulo 1 y en la Norma ISO 1100/2, Anexo A.

VII-4 Incertidumbre de la relación nivel-caudal y de los caudales medios

VII-4.1 Análisis estadístico de la relación nivel-caudal

VII-4.1.1 La relación nivel-caudal debería ser más precisa que cualquiera de las medidas realizadas.

VII-4.1.2 La incertidumbre de la relación nivel-caudal debería expresarse como E_{mr} que es el intervalo de confianza al nivel del 95 por ciento, como porcentaje del caudal calculado a partir de la relación nivel-caudal en cada nivel.

VII-4.1.3 Si la relación nivel-caudal contiene uno o varios puntos de ruptura, E_{mr} debería ser calculado para cada intervalo.

VII-4.1.4 Debería disponerse de al menos 20 observaciones en cada intervalo antes de que se pueda hacer una estimación estadísticamente aceptable de E_{mr} .

NOTA: El procedimiento para evaluar la incertidumbre de la relación nivel-caudal $Q = C(h+a)^\beta$ es el siguiente*:

a) El error típico de la estimación se calcula para la relación logarítmica según la siguiente expresión:

$$S_e(\ln Q) = \pm \left[\frac{N-1}{N-2} \left[S^2(\ln Q) - \beta^2 S^2(\ln(h+a)) \right] \right]^{1/2}$$

donde:

$S_e(\ln Q)$ es el error típico de la estimación de $\ln Q$, expresado en términos absolutos;

N es el número de mediciones del caudal;

$S_{(\alpha)}$ es la desviación típica de x ;

β es el exponente de la relación nivel-caudal;

$(h+a)$ es el nivel;

b) La incertidumbre E_{mr} se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$E_{mr} = \pm t S_e(\ln Q) \left[\frac{1}{N} + \frac{[\ln(h+a) - \ln(h+a)]^2}{\sum [\ln(h+a) - \ln(h+a)]^2} \right]^{1/2}$$

donde:

t debería considerarse que es la t de Student al nivel de confianza del 95 por ciento;

E_{mr} se expresa como porcentaje del caudal;

* *El Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales), Volumen II, Capítulo 1, páginas 28 a 33 contiene un ejemplo de cálculo de la incertidumbre de la relación nivel-caudal

c) La incertidumbre del nivel se computa como:

$$E_{(h+a)} = \pm \frac{100}{(h+a)} (E_g'^2 + E_z'^2)^{1/2}$$

donde:

$E_{(h+a)}$ es la incertidumbre del nivel (o altura);

$(h+a)$ es el nivel (o altura) (metros);

E_g' es la incertidumbre aleatoria del valor registrado del nivel (o altura) (metros) (valor recomendado para el registrador de cinta perforada = ± 3 mm; para el registrador de banda = ± 5 mm);

E_z' es la incertidumbre aleatoria del cero de la escala (metros) (valor recomendado = ± 3 mm).

VII-4.2 Incertidumbre de los caudales medios

VII-4.2.1 El caudal medio diario debería ser calculado tomando el promedio de las observaciones del caudal durante un período de 24 horas

NOTA: El procedimiento para evaluar la incertidumbre del caudal medio diario es el siguiente:

a) Para una estación velocidad-área:

$$E_{dm} = \pm \frac{\sum (E_{mr}^2 + \beta^2 E_{h+a}^2)^{1/2} Q_h}{\sum Q_h}$$

donde:

E_{dm} es la incertidumbre del caudal medio diario;

E_{mr} es la incertidumbre de la relación nivel-caudal;

E_{h+a} es la incertidumbre de la medición del nivel;

Q_h son los valores de los caudales utilizados para calcular los caudales diarios;

β es el exponente de la relación nivel-caudal.

b) Para una estructura de medición:

$$E_{dm} = \pm \frac{\sum (E_c^2 + \beta^2 E_{h+a}^2)^{1/2} Q_h}{\sum Q_h}$$

donde E_c es la incertidumbre del coeficiente del caudal.

VII-4.2.2 Para el caudal medio mensual:

$$E_{mm} = \pm \frac{\sum E_{dm} Q_{dm}}{\sum Q_{dm}}$$

donde:

E_{mm} es la incertidumbre del caudal medio mensual;

Q_{dm} es el caudal medio diario.

VII-4.2.3 Para el caudal anual:

$$E_a = \pm \frac{\sum E_{mm} Q_{mm}}{\sum Q_{mm}}$$

donde:

E_a es la incertidumbre del caudal anual;

Q_{mm} es el caudal medio mensual.

VIII – ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES DEL CAUDAL

(Véase [D.1.2.] 3.7)

VIII-1 Alcance y campo de aplicación

NOTAS:

- Los textos de esta sección del anexo se fundan en la norma ISO 5168 (2005) titulada “Medición del flujo de fluidos – Procedimiento de evaluación de la incertidumbre”.
- El *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual de aforo de caudales), Volumen I y II, contiene directrices detalladas sobre la estimación de la incertidumbre de las mediciones del caudal.

En esta sección se describen los cálculos que deben realizarse con objeto de llegar a una estimación estadística del intervalo dentro del cual cabe esperar que esté el caudal verdadero, dada una sola medición del caudal, con objeto de complementar la regla [D.1.2.] 3.6 del *Reglamento Técnico*.

VIII-2 Principios generales

NOTA: Es físicamente imposible realizar una medición sin error. No obstante, resulta habitualmente posible asignar un

intervalo alrededor de la medición, que se denomina intervalo de confianza, dentro del cual cabe esperar que se halle el valor verdadero con una probabilidad prescrita, que se denomina nivel de confianza. Existe una estrecha relación entre el nivel de confianza y el intervalo de confianza, de modo que cuanto más elevado sea el nivel, más ancho será el intervalo. En esta sección se utiliza el nivel de confianza del 95%.

VIII-3 Naturaleza de los errores

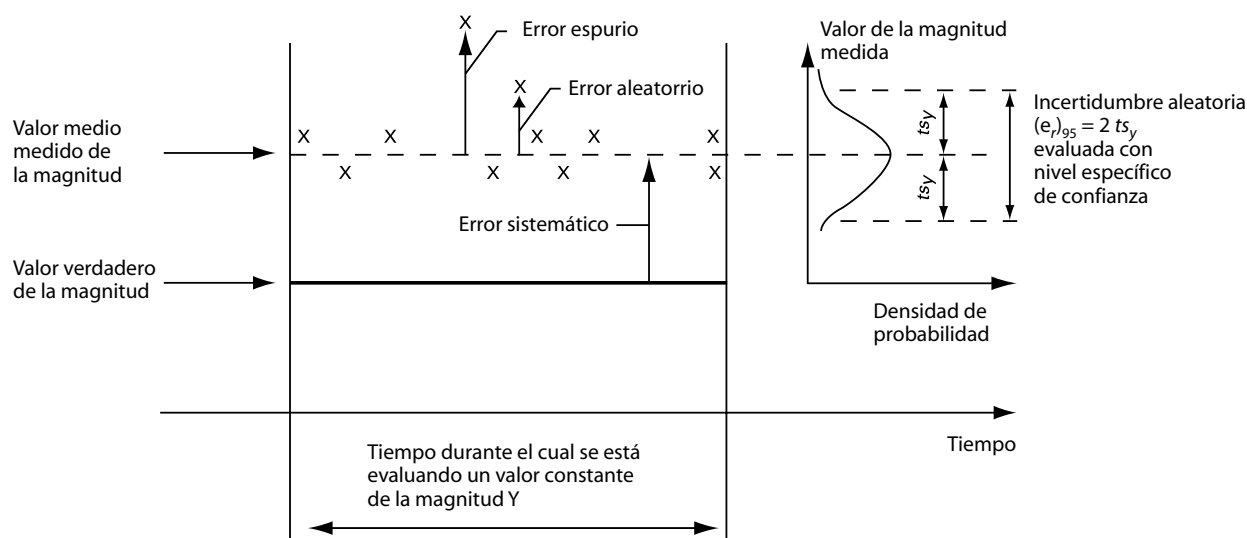
VIII-3.1 Clasificación de los errores

Los errores deberían clasificarse en los tres grupos siguientes (véase la figura más abajo):

- errores espurios;
- errores aleatorios;
- errores sistemáticos.

VIII-3.1.1 Errores espurios

Los errores espurios deberían ser eliminados descartando la medición.



NOTA: Con objeto de identificar los errores espurios puede aplicarse, como criterio de supresión, una prueba estadística de dispersión, tal como la que se describe en el Anexo A de la Norma ISO 5168

VIII-3.1.2 Errores aleatorios

La incertidumbre asociada a los errores aleatorios al nivel de 95% de confianza debería calcularse como:

- 1,960 σ_Y en el caso de que se trate de un gran número de mediciones;
- $t\sigma_Y$ en el caso de que se trate de un pequeño número de mediciones;

σ_Y es la desviación típica verdadera, estimada mediante la desviación típica s_y de las mediciones de la variable Y ; t es un valor de la distribución t de Student.

NOTAS:

- Los errores aleatorios son causados por numerosas, pequeñas e independientes influencias. Cuando se mide una cierta magnitud repetidamente, en igualdad de condiciones, los datos puntuales se desvían de la media siguiendo la ley de probabilidades, de modo que su distribución puede suponerse normal. Cuando se trata de una pequeña muestra de datos puntuales, la distribución normal debe ser sustituida por la distribución t de Student. Las tablas de la distribución t pueden hallarse en la mayoría de los manuales estadísticos.
- El error aleatorio del resultado de una medición puede reducirse efectuando repetidas mediciones de la variable y utilizando la media aritmética, ya que la desviación típica de n mediciones independientes es \sqrt{n} veces más pequeña que la desviación típica de cada medición.

VIII-3.1.3 Errores sistemáticos

VIII-3.1.3.1 Reducción al mínimo de las incertidumbres de los errores sistemáticos

La incertidumbre asociada con los errores sistemáticos debe reducirse al mínimo utilizando uno de los siguientes métodos:

- cambiando el equipo o las condiciones de medición;
- mediante el juicio subjetivo.

NOTA: Los errores sistemáticos son los que no pueden ser reducidos incrementando el número de mediciones si el equipo y las condiciones de medición permanecen invariables.

VIII-3.1.3.2 Corrección de los errores sistemáticos

Si el error sistemático tiene un solo valor conocido, este valor debería añadirse (o sustraerse) al resultado de la medición y la incertidumbre de la medición debida a esta fuente debería considerarse que es cero.

VIII-3.2 Valores numéricos de las incertidumbres

NOTA: El *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) (Manual

de aforo de caudales), Volumen I - Trabajos sobre el terreno, secciones 5.8 y 7.9, contiene los valores recomendados de las incertidumbres componentes para su utilización en el cálculo de la incertidumbre general de las mediciones del caudal

VIII-4 Combinación de errores

Si una magnitud Q es función de varias magnitudes medidas x, y, z , el error e_Q de Q debido a los errores e_x, e_y, e_z de x, y, z , respectivamente, deben ser evaluados mediante la ecuación:

$$(e_Q)^2 = \left(\frac{\partial Q}{\partial x} e_x\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial y} e_y\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial z} e_z\right)^2 + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\partial Q}{\partial y} e_x \cdot e_y + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\partial Q}{\partial z} e_x \cdot e_z + \dots$$

Sin embargo, los términos $\frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\partial Q}{\partial y} e_x \cdot e_y$, etc., son términos de covarianza y su suma se considera despreciable si se compara con los términos cuadráticos, ya que contienen magnitudes que igualmente pueden ser positivas que negativas. Por consiguiente, el error e_Q puede ser aproximado mediante la ecuación simplificada siguiente:

$$(e_Q)^2 = \left(\frac{\partial Q}{\partial x} e_x\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial y} e_y\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial z} e_z\right)^2$$

EJEMPLO*: Incertidumbre del método velocidad-área

La sección del cauce que estamos estudiando está dividida en segmentos por m verticales. La anchura, profundidad y velocidad media correspondientes a la *lésima* vertical se designan por b_i, d_i y \bar{v}_i , respectivamente. En este caso, el caudal calculado es:

$$Q = F_m \sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i)$$

donde el factor F_m se aproxima a 1 cuando el número de verticales m aumenta. En los cálculos reales se supone que m es suficientemente grande para hacer que $F_m \approx 1$.

Incertidumbre aleatoria

Introduciendo la notación $E_{F_m} = (e_{F_m})/F_m$ para expresar la incertidumbre relativa debido al número limitado de verticales; $(E_{b_i})_r = (e_{b_i})_r/b_i$ para expresar la incertidumbre relativa aleatoria de b_i , etc.; entonces la incertidumbre total relativa aleatoria de la medición del caudal puede expresarse mediante:

* La norma ISO 5168, Sección II, páginas 21 y 22 contiene un ejemplo numérico al respecto.

$$(E_Q)_r^2 \approx (e_{fm})^2 + \frac{1}{m} \left[(E_b)_r^2 + (E_d)_r^2 + (E_v)_r^2 \right]$$

En la derivación se han hecho las siguientes hipótesis de simplificación: los caudales parciales b_i , d_i , v_i son casi iguales y las incertidumbres $(E_{b_i})_r$, $(E_{d_i})_r$ y $(E_{v_i})_r$ son casi iguales para todas las i y tienen los valores $(E_b)_r$, $(E_d)_r$ y $(E_v)_r$ respectivamente. $(E_v)_r$ puede descomponerse de la siguiente manera:

$$(E_v)_r^2 = (E_p)_r^2 + (E_c)_r^2 + (E_e)_r^2$$

en donde:

- $(E_p)_r$ es el porcentaje de incertidumbre debida al número limitado de puntos de la vertical;
- $(E_c)_r$ es el porcentaje de incertidumbre de la medida del molinete;
- $(E_e)_r$ es el porcentaje de incertidumbre debido a las fluctuaciones del flujo.

Incertidumbre sistemática

La ecuación para calcular el porcentaje sistemático general de incertidumbre es:

$$(E_Q)_s^2 = (E_b)_s^2 + (E_d)_s^2 + (E_c)_s^2$$

en donde:

- $(E_b)_s$ es el porcentaje de incertidumbre sistemática del instrumento que mide la anchura;
- $(E_d)_s$ es el porcentaje de incertidumbre sistemática del instrumento que mide la profundidad;
- $(E_c)_s$ es el porcentaje de incertidumbre sistemática del tanque de calibración del molinete.

La incertidumbre general de una sola medición de caudal (incertidumbre aleatoria y sistemática juntas) es, pues:

$$E_Q = \left[(E_Q)_r^2 + (E_Q)_s^2 \right]^{1/2}$$

VIII-5 Notificación de las mediciones de caudal

Las mediciones del caudal deberían notificarse utilizando una de las formas siguientes:

a) Incertidumbres expresadas en términos absolutos:

- i) Caudal $Q = \dots\dots$
 Incertidumbre aleatoria $(e_r)_{95} = \dots\dots$
 Incertidumbre sistemática $e_s = \dots\dots$
- ii) Caudal $Q = \dots\dots$
 Incertidumbre (general) $\sqrt{(e_r)_{95}^2 + e_s^2} = \dots\dots$
 Incertidumbre aleatoria $(e_r)_{95} = \dots\dots$

b) Incertidumbres expresadas en porcentajes

- i) Caudal $Q = \dots\dots$
 Incertidumbre aleatoria $(E_r)_{95} = \dots\dots\%$
 Incertidumbre sistemática $E_s = \dots\dots\%$
- ii) Caudal $Q = \dots\dots$
 Incertidumbre (general) $\sqrt{(E_r)_{95}^2 + E_s^2} = \dots\dots\%$
 Incertidumbre aleatoria $(E_r)_{95} = \dots\dots\%$

IX - UTILIZACIÓN DE CANALES AFORADORES PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL DE LA CORRIENTE

(Véase [D.1.2.] 3.1.6)

IX-1 **Ámbito y campo de aplicación**

NOTAS:

- a) El contenido de la presente sección del Anexo se basa en la norma ISO 4359 (1999) titulada «Mediciones del caudal de flujos líquidos en canales abiertos – Canales de descarga de sección rectangular, trapezoidal y en forma de U».
- b) Para la determinación de los caudales se dan directrices en la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM–Nº 168), *Manual on Stream Gauging* (WMO–No. 519) (Manual de aforo de caudales), y en la obra *Use of Weirs and Flumes in Stream Gauging* (WMO–No. 280) (Utilización de vertederos y canales aforadores en el aforo de caudales).

En la presente sección se señalan las exigencias funcionales para medir el caudal utilizando:

- a) canales aforadores de sección rectangular;
- b) canales aforadores de sección trapezoidal,

para dar cumplimiento a las disposiciones [D.1.2.] 3.1 y 3.6 del *Reglamento Técnico*. Los canales aforadores de sección de U, esto es, con fondo redondeado, se utilizan rara vez para las mediciones del caudal, razón por la cual no se exponen en la presente sección.

IX-2 **Selección del tipo de canal aforador**

IX-2.1 El tipo de canal aforador debería elegirse tomando en cuenta factores tales como la magnitud de los caudales que hayan de medirse, la precisión requerida, la carga disponible y el contenido o ausencia de sedimentos en la corriente.

IX-2.2 El canal aforador de sección rectangular, que en caso necesario podría tener un umbral en el lecho, debería utilizarse para medir el caudal en canales cuya corriente varíe relativamente poco.

IX-2.3 Debería utilizarse el canal aforador de sección trapezoidal cuando haya que aforar caudales de muy diferente magnitud con una precisión uniforme y cuando haya que evitarse la inmersión.

IX-3 **Selección del emplazamiento**

Las directrices para elegir el emplazamiento deberían ceñirse a las especificaciones establecidas en la sección VI, VI-3.2, en general, y VI-4.16 en particular, de este Anexo.

IX-4 **Condiciones de instalación**

IX-4.1 La instalación completa de aforo debería constar de un canal de acceso, un canal aforador y un canal situado aguas abajo.

IX-4.2 La longitud del canal de acceso debería ser, como mínimo, cinco veces mayor que la anchura del curso del agua en su caudal máximo.

IX-4.3 Si la anchura entre las paredes verticales del canal de acceso canalizado es inferior a la anchura del canal natural, habría que prever un estrechamiento progresivo.

IX-4.4 Las condiciones de la corriente en el canal de acceso deberán ajustarse a lo que se indica en la Regla V-3.1 del Anexo 1.

IX-5 **Estructura del canal aforador**

IX-5.1 La estructura debería ser rígida e impermeable al agua y capaz de resistir caudales de crecida sin ser dañada por el desbordamiento o la erosión provocada aguas abajo.

IX-5.2 El eje longitudinal de la sección debería coincidir con el eje longitudinal del canal de acceso.

IX-5.3 En el acceso al canal aforador la corriente debería ser subcrítica.

IX-5.4 El canal de descarga debería tener las dimensiones y altura necesarias para que no se produzca su inmersión y para que el nivel aguas abajo no influya en el caudal.

IX-5.5 La superficie del canal aforador debería ser lisa (hormigón, acero galvanizado u otros materiales no corrosibles).

IX-5.6 Si el lecho de la corriente, aguas abajo, está expuesto a corrosión debería procederse a su revestimiento con objeto de evitar socavaciones excesivas e impedir la acumulación de materiales en el lecho, lo que podría dar lugar a una elevación del nivel del agua que, de ser suficiente, provocaría la inmersión de la estructura.

IX-6 Mantenimiento

El mantenimiento de la estructura debería ajustarse a lo que se indica en la sección V, V-5 de este Anexo.

IX-7 Medición de la altura de carga

IX-7.1 La medición de la altura de la carga aguas arriba del estrechamiento del canal aforador debería efectuarse mediante el dispositivo adecuado de medición que se describe en la sección II de este Anexo.

IX-7.2 La sección de medición de la altura de carga debería estar situada a una distancia comprendida entre tres y cuatro veces la altura del nivel máximo aguas arriba del borde de ataque de la sección de transición de la entrada.

IX-8 Canal aforador de sección rectangular

Hay tres tipos de canales aforadores de sección rectangular:

- de contracción lateral, únicamente;
- de contracción en el fondo (desnivelación), únicamente;
- de contracciones combinadas tanto laterales como verticales.

El tipo de canal aforador que se utilizará dependerá de las condiciones aguas abajo, de los diversos regímenes del caudal, del caudal máximo de la corriente, de la pérdida de carga permitida de los límites de la relación existente entre el nivel del agua y la anchura de la sección, así como de que la corriente arrastre o no sedimentos.

IX-8.1 Deberían respetarse los siguientes límites de aplicación:

- el límite inferior de la altura de carga no debería ser inferior a 0,05 m ó 5 por ciento de la longitud de la sección, eligiendo el valor que sea mayor;
- el límite superior de la relación entre el área de la sección y del canal de acceso no debería ser superior a 0,7;
- la anchura de la sección no debería ser inferior a 0,10 m:

- la relación entre la altura de carga y la anchura de la sección no debería ser superior a 3;
- la altura de carga no debería ser superior a 2 m;
- la relación entre la altura de carga y la longitud de la sección no debería ser superior a 0,50, para una altura de carga máxima esta relación podrá llegar a 0,67, con una tolerancia límite adicional de 2 por ciento:
- para conseguir un flujo de corriente modular (libre) las dimensiones del canal aforador deberían cumplir con la condición de que la altura de carga aguas arriba sea por lo menos 1,25 veces superior al de aguas abajo en todos los regímenes de corriente.

IX-8.2 Cálculo de la relación altura-caudal

IX-8.2.1 La relación altura-caudal de un canal aforador particular debería obtenerse tomando en cuenta una serie de valores del nivel del agua (altura de la carga) y calculando los caudales correspondientes, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = (2/3)^{3/2} (g)^{1/2} C_v C_d b h^{3/2}$$

donde:

- C_v es un coeficiente que representa el efecto de la velocidad del canal de acceso sobre la altura de carga medida aguas arriba de la sección;
- C_d es un coeficiente que representa el efecto de la capa límite sobre los valores medidos de b y h , incluido el efecto de las pérdidas de carga (coeficiente de caudal):
- b representa la anchura de la sección del canal aforador;
- h representa la altura de carga medida por el limnómetro del canal aforador.

Los coeficientes C_v y C_d se obtienen a partir de tablas y diagramas de uso inmediato que están contenidos en el *Manual on Stream Gauging* (WMO–No. 519) (Manual de aforo de caudales).

IX-8.2.2 Se debería verificar, en todo caso, esta ecuación comparándola con los resultados de unas cuantas mediciones realizadas directamente por otros medios (por ejemplo, un molinete). Si los valores del caudal obtenidos a partir de la ecuación muestran desviaciones respecto a los valores medidos correspondientes, deberían modificarse los coeficientes de la ecuación, en forma acorde. Las desviaciones aceptables pueden estimarse en la forma indicada en la sección VIII, VIII-3 de este Anexo.

IX-9 Canal aforador de sección trapezoidal

NOTA: Los canales aforadores de sección trapezoidal están concebidos para aplicarse a condiciones de corriente muy diferentes y la forma geométrica óptima de la sec-

ción (es decir, la anchura del lecho y la inclinación de las paredes) dependerá de la magnitud de los caudales que hayan de medirse y de las características de la corriente o cauce en las que habrán de instalarse dichos canales.

IX-9.1 Deberían respetarse los siguientes límites de aplicación:

- a) el límite inferior de la altura de la carga no debería ser menor de 0,05 m ó 5 por ciento de la longitud de la sección, eligiendo el valor que sea mayor;
- b) la relación de las áreas del canal de acceso y de la sección deberían cumplir la condición de que el número de Froude, Fr , en el canal de acceso no sea superior a 0,5, cualquiera que sea la magnitud del caudal: en algunos casos (por ejemplo cuando se depositen sedimentos gruesos en el canal de acceso), el número Fr podrá llegar a 0,6, lo que dará lugar a un error límite adicional de 2 por ciento para $5 < Fr < 6$;
- c) la anchura del lecho de la sección no debería ser inferior a 0,10 m;
- d) la altura de la carga no debería ser superior a 2 m;
- e) cualquiera que sea el nivel, la separación entre las paredes de la sección debería ser inferior a la separación entre las paredes del canal de acceso en el nivel correspondiente;
- f) la relación entre la altura de la carga y la longitud de la sección no debería ser superior a 0,50, para una altura de carga máxima, esta relación podrá llegar a 0,67, con un error límite adicional de 2 por ciento;
- g) para conseguir una corriente modular (libre) para los diversos ensanchamientos de la sección, las dimensiones del canal aforador deberían cumplir la condición de que la relación mínima entre la altura de la carga aguas arriba y la altura de la carga aguas abajo sea la siguiente:
 - i) 1,10 para 1:20 de cada lado;
 - ii) 1,20 para 1:10 de cada lado;
 - iii) 1,25 para 1:6 de cada lado;
 - iv) 1,35 para 1:3 de cada lado.

IX-9.2 Cálculo de la relación altura-caudal

NOTA: La ecuación de caudal para el canal aforador trapezoidal se expresa de la siguiente manera:

$$Q = (2/3)^{3/2} (g)^{1/2} C_v C_s C_d b h^{3/2}$$

donde:

- C_v es un coeficiente que representa el efecto de la velocidad de aproximación sobre la altura de carga medida aguas arriba de la sección;
- C_s es un coeficiente en el que se toma en cuenta la sección no rectangular de la corriente;
- C_d es un coeficiente que representa el efecto de la capa límite sobre los valores medidos de b y h , inclusive el efecto de las pérdidas de carga (coeficiente de caudal); es la anchura del lecho de la sección del canal aforador;
- b es la anchura del lecho de la sección del canal aforador;
- h es la altura de carga medida por el limnómetro del canal aforador.

No es conveniente aplicar directamente esta ecuación ya que la altura de carga aforada es diferente de la altura de carga total. Por consiguiente, se recomienda proceder a una calibración teórica para diferentes magnitudes del caudal, con una operación única, acudiendo a aproximaciones sucesivas.

IX-10 Error límite de la medición

Deberían calcularse los límites generales de error de la medición de acuerdo con la sección VIII de este Anexo, VIII. Para ello deberían tenerse en cuenta los siguientes factores:

- a) la norma de construcción y el acabado de la superficie del canal aforador;
- b) el error límite (máximo) de la fórmula del coeficiente de caudal;
- c) el error límite sobre el coeficiente de la velocidad de aproximación;
- d) la aplicación correcta de las normas de instalación;
- e) el error límite de las mediciones geométricas en relación con el canal aforador;
- f) el error límite de la altura de carga medida.

X - MÉTODOS DE DILUCIÓN PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL DE LA CORRIENTE

(Véase [D.1.2] 3.1.7)

X-1 **Ámbito y campo de aplicación**

NOTAS:

- a) El contenido de la presente sección del Anexo se basa en las normas ISO 9555-1 (1994), titulada «Medición del caudal de flujos líquidos en canales abiertos – Métodos de dilución para la medición del caudal del flujo en régimen permanente – Parte 1: Generalidades»; ISO 9555-2 (1992), titulada «Medición del caudal de flujos líquidos en canales abiertos – Métodos de dilución para la medición del caudal del flujo en régimen permanente – Parte 2: Trazadores radiactivos»; ISO 9555-3 (1992), titulada: «Medición del caudal de flujos líquidos en canales abiertos – Métodos de dilución para la medición del caudal del flujo en régimen permanente – Parte 3: Trazadores químicos»; e ISO 9555-4 (1992), titulada: «Medición del caudal de flujos líquidos en canales abiertos – Métodos de dilución para la medición del caudal del flujo en régimen permanente – Parte 4: Trazadores fluorescentes».
- b) En la *Guía de Prácticas Hidrológicas* (OMM-N° 168) se exponen directrices detalladas sobre los métodos de dilución.

En la presente sección se indican las condiciones y requisitos para aplicar los métodos de dilución para la medición del caudal en canales abiertos, con miras a las disposiciones de las Reglas 3.1 [D.1.2.] y 3.6 [D.1.2.] del *Reglamento Técnico*.

X-2 **Fundamento del método**

NOTAS:

- a) Se inyecta un líquido trazador en la corriente, y se toman una o varias muestras del agua en un punto situado aguas abajo, en el que el trazador se ha mezclado de manera uniforme en toda la sección transversal. La dilución del trazador da la medida del caudal.
- b) Es particularmente aconsejable la aplicación de este método para medir caudales de corrientes turbulentas en las que no son aplicables otros métodos.

En la sección transversal muestreada de la corriente, la mezcla trazador-agua deberá ser absolutamente completa y uniforme.

X-3 **Características del trazador inyectado**

NOTA: El trazador puede ser un colorante químico o fluorescente o un isótopo radiactivo y puede inyectarse gradualmente (método de inyección en régimen constante) o de manera instantánea (método de integración, inyección en una o varias veces).

X-3.1 El trazador debería cumplir con las siguientes condiciones:

- a) debería disolverse fácilmente en el agua a temperaturas ordinarias;
- b) no debería reaccionar con el agua, ni con las materias transportadas en solución y suspensión, ni con los materiales que forman el cauce o los sistemas de muestreo o recipientes que se utilicen en el análisis de las muestras;
- c) no debería estar presente en el agua de la corriente sino en niveles de fondo que sean conocidos, en proporción escasa, y de ser posible, ser estables con el tiempo;
- d) no debería ser retenido por sedimentos, plantas u organismos, ni por el material de arrastre de la corriente así como tampoco por los recipientes o los sistemas de muestreo que se utilicen;
- e) debería ser estable en relación con las influencias del entorno como las provenientes de la luz del sol y los cambios del pH en el tramo de medición;
- f) no debería producir efectos perniciosos sobre la vida humana y acuática en las concentraciones que se utilicen;
- g) debería ser medible con precisión en concentraciones compatibles con la precisión deseada y con la cantidad de trazador que convenga inyectar;
- h) debería ser barato.

X-3.2 La manipulación de trazadores radiactivos y su utilización deberán ajustarse a las disposiciones regl-

mentarias o a las normas de seguridad establecidas por el país interesado.

NOTA: En «*Guide to safe handling of radioisotopes in hydrology*» (Guía para la manipulación segura de radioisótopos en hidrología), N° 20 de la serie del OIEA dedicada a la seguridad se dan directrices detalladas sobre esta cuestión.

X-4 El tramo de medición

X-4.1 El tramo de medición debería ser lo más angosto y turbulento posible, debería estar exento de zonas de aguas muertas y debería tener numerosas corrientes transversales. Deberían excluirse los tramos en los que abundan las plantas acuáticas y en los que la corriente se ramifica en canales.

X-4.2 La longitud del tramo de medición debería ser lo más corta posible si bien suficiente para conseguir una dilución uniforme del trazador en la sección transversal de muestreo.

NOTAS:

- a) Podrá efectuarse una primera prueba para determinar la longitud del tramo y para saber si sus características son idóneas, inyectando una solución concentrada de un colorante fuerte como la fluoresceína, en la sección transversal de inyección prevista. Mediante un estudio visual de la difusión del colorante se determinará si hay o no zonas de aguas muertas y cuál debería ser la distancia mínima entre las secciones transversales de inyección y las de muestreo.
- b) Dado que el tiempo necesario para que se produzca la mezcla depende del volumen del caudal, dicho tiempo puede ser suficiente para un caudal moderado, pero insuficiente para caudales más pequeños o más grandes.

X-4.3 No deberían producirse pérdidas o ganancias de agua en el tramo de medición.

NOTAS:

- a) Podrán efectuarse mediciones en el caso de que haya cauces afluentes (tributarios o fuentes) que desemboben en el tramo de medición, siempre y cuando la mezcla sea completa en la sección transversal de medición. En tal caso, el caudal medido incluye también los aportes de agua de los cauces afluentes.
- b) Podrán efectuarse mediciones si se produce una pérdida en el tramo de medición siempre y cuando la mezcla sea completa antes de la pérdida. En este caso la corriente se medirá en un punto situado aguas arriba de la filtración y no en la sección de muestreo.

X-5 Muestreo

NOTA: El muestreo y el control de un trazador en la sección transversal de medición podrá efectuarse mediante muestreos discretos analizados en un laboratorio o sobre el terreno por medio de sondas de detección: electrodos de conductividad o de detección iónica para los trazadores químicos, fluorímetros para los trazadores

de colorantes y detectores de centelleo para los trazadores radiactivos.

X-5.1 Método de inyección en régimen constante

X-5.1.1 Debería prepararse la solución del trazador en un tanque separado con agua procedente de la corriente que ha de medirse y la solución debería ser lo más homogénea posible.

X-5.1.2 Esta solución debería inyectarse en la corriente a un régimen constante y medido.

X-5.1.3 La medición del régimen de inyección debería efectuarse con una precisión compatible con la precisión general que se requiere para la medición del caudal.

X-5.1.4 La inyección debería durar el tiempo necesario para conseguir un régimen de concentración estable en la sección transversal de medición por un período de tiempo suficiente, por lo general de 10 a 15 minutos.

NOTA: El tiempo que se requiere para la inyección en general varía en razón directa a la longitud del tramo y a la extensión que ocupan las zonas de aguas muertas, y en razón inversa a la velocidad media del agua.

X-5.1.5 Deberían tomarse muestras para determinar las concentraciones de trazadores:

- a) aguas arriba del punto de inyección;
- b) de la solución del trazador que se ha de inyectar;
- c) en la sección transversal de medición antes de proceder a la inyección y cuando la concentración haya alcanzado un valor estable por registro continuo o por muestreo discreto.

X-5.2 Método de integración

X-5.2.1 Debería disolverse la cantidad conveniente de solución concentrada del trazador en el tanque de inyección con agua procedente de la corriente y debería conocerse el volumen de la solución.

X-5.2.2 Debería efectuarse la inyección vertiendo el contenido del recipiente en el canal, a la entrada del tramo de medición; después debería enjuagarse rápidamente dicho recipiente con el agua de la corriente y esta agua verterse en el canal.

X-5.2.3 Las muestras deberían tomarse:

- a) aguas arriba de la sección transversal de inyección antes y después de la inyección;
- b) de la solución de inyección;
- c) en la sección transversal de medición antes, durante y después del paso del trazador, bien sea por registro continuado o por muestreo discreto.

XI - ECOSONDAS PARA LA MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL AGUA

(Véase [D.1.2.] 3.1.3)

XI-1 **Ámbito y campo de aplicación**

NOTA: El contenido de la presente sección del Anexo se basa en la norma ISO 4366 (1979), titulada: «Ecosondas para mediciones de la profundidad del agua».

La presente sección contiene información sobre el principio de funcionamiento, los criterios de selección, el rendimiento y la utilización de ecosondas para la medición de la profundidad del agua, la cual habrá de ajustarse a lo dispuesto en [D.1.2.] 3.1 del *Reglamento Técnico*.

XI-2 **Fundamento**

NOTA: Una ecosonda indica la profundidad del agua midiendo el intervalo de tiempo que media entre la transmisión de una pulsación acústica y la recepción del eco procedente del lecho de la corriente. La profundidad se obtiene a partir de la ecuación:

$$d = \frac{tc}{2}$$

donde:

- d es la distancia entre el transductor y el lecho de la corriente;
- t es el tiempo de propagación de la energía acústica;
- c es la velocidad del sonido en el agua.

Las ecosondas sin registro indican la profundidad por medio de un pequeño destellador situado en la escala en la que se indica las profundidades; las ecosondas analógicas trazan una marca continuada del lecho de la corriente sobre un gráfico mientras en la ecosonda digital la profundidad instantánea se visualiza en una pantalla.

XI-3 **Criterios de selección**

XI-3.1 Debería elegirse una ecosonda cuya frecuencia operativa sea de 200 o más kHz, ya que, de este modo, se distinguen mejor los cambios abruptos del lecho de la corriente y el haz queda reflejado por el material de arrastre no consolidado en vez de penetrarlo.

XI-3.2 El haz del transductor de la ecosonda debería ser estrecho (menos de 10°) para poder detectar con

nitidez los cambios abruptos y las inclinaciones pronunciadas del lecho de la corriente, así como para ahorrar la energía de la batería.

XI-3.3 A la hora de seleccionar la ecosonda, el usuario también debería tener presente lo siguiente:

- a) la magnitud de las profundidades a medir;
- b) la naturaleza prevista del lecho de la corriente;
- c) cuando sea posible, la naturaleza y cantidad previstas de materias en suspensión y otras materias que afecten a la velocidad del sonido en el agua;
- d) la precisión deseada para la determinación de la profundidad;
- e) la profundidad mínima a la que responderá la ecosonda y el intervalo más pequeño que pueda ser leído y registrado;
- f) la precisión que se alcanzará, en el instrumento, para determinar la profundidad, teniendo en cuenta lo siguiente:
 - i) la instalación del equipo e instrucciones completas adecuadamente ilustradas;
 - ii) el modo de funcionamiento;
 - iii) las prácticas de mantenimiento;
 - iv) las exigencias especiales en lo referente al control del entorno ambiental del equipo.

XI-3.4 Aparte de las características generales que se indican en la sección III de este Anexo, las ecosondas deberían tener las siguientes características:

- a) un mando para controlar la sensibilidad para ajustar la señal a los cambios que se produzcan en las condiciones y profundidad del agua;
- b) un mando para corregir los cambios de la velocidad del sonido en el agua;
- c) en el caso de ecosondas digitales, un elemento indicador, claro y nítido, que debería estar equipado de un parasol con el fin de que los dígitos puedan leerse incluso con luz solar intensa;
- d) respecto de la ecosonda analógica (véase también la sección XII, XII-4.1 de este Anexo):

- i) una unidad de registro cuyo gráfico tendrá la anchura suficiente para obtener la legibilidad deseada;
- ii) dos o más velocidades de los gráficos para poder obtener un gráfico a la velocidad más adecuada a la aplicación;
- iii) un indicador del «cero» o del punto inicial de transmisión de la señal en la unidad de registro;
- iv) un marcador para que el operador pueda insertar marcas de referencia en el registro de gráficos.

XI-4 **Calibración**

XI-4.1 La ecosonda debería calibrarse sobre el terreno con el objeto de obtener mediciones precisas.

XI-4.2 Para poder obtener mediciones precisas de la profundidad, la sonda debería calibrarse, por lo menos, una vez al día, y con más frecuencia si hay motivos

para suponer cambios en la densidad o la elasticidad del agua.

NOTA: El método normal de calibración consiste en ajustar la sonda de modo que ésta obtenga correctamente lecturas de una profundidad conocida. El procedimiento normal a tal efecto consiste en suspender, en cadenas o en un cable, una placa de metal a una profundidad conocida debajo del transductor, asegurándose que la superficie plana de la placa esté paralela a la parte anterior del transductor.

XI-5 **Precauciones**

Las ecosondas deberían utilizarse con precaución cuando la concentración de sedimentos en suspensión sea elevada, ya que no hay seguridad alguna de que la señal de retorno recibida proceda del lecho. Habrá que actuar con la misma precaución cuando la cantidad de aire ocluido sea elevada, como ocurre aguas abajo de caídas, vertederos o centrales hidroeléctricas.

XII - MEDICIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DEL BOTE MÓVIL

(Véase [D.1.2.] 3.1.8)

XII-1 **Ámbito y campo de aplicación**

NOTAS:

- a) El contenido de la presente sección del Anexo se basa en la norma ISO 4369 (1979), titulada: «Medición del caudal de flujos líquidos en canales abiertos – Método del bote móvil».
- b) La *Guía de prácticas hidrológicas* (OMM–Nº 168) y el *Manual on Stream Gauging* (WMO–No. 519) (Manual de aforo de caudales) contienen explicaciones y directrices detalladas sobre la realización y cálculo de la medición del caudal por el método de bote móvil.

XII-2 **Generalidades**

NOTAS:

- a) En esencia, el método del bote móvil se basa en el método velocidad-área para determinar el caudal. Las mediciones se realizan atravesando la corriente a lo largo de una trayectoria prefijada perpendicular a la misma, recorriéndose durante dicha travesía los siguientes datos:
 - i) una ecosonda registra la forma geométrica de la sección transversal (véase la sección XI de este Anexo);
 - ii) un molinete que funciona permanentemente mide las velocidades combinadas de la corriente y el bote;
 - iii) a intervalos, se mide el ángulo formado por el molinete, que se alinea en paralelo al movimiento del agua, a su nivel, y la trayectoria prefijada;
 - iv) en vez de las mediciones descritas en iii), se puede medir, a intervalos, la distancia entre el bote y un punto fijo de la orilla y el tiempo correspondiente.
- b) Siempre que sea posible, se registran, automática y simultáneamente, todos los parámetros necesarios.
- c) Hay dos métodos para calcular la velocidad de la corriente. El método 1 que utiliza los datos obtenidos en la forma descrita en ii) y iii), en tanto que el método 2 utiliza los datos obtenidos aplicando el procedimiento de ii) y iv). En la práctica, se suelen combinar ambos métodos.

XII-3 **Medición**

XII-3.1 Para contrarrestar las desviaciones menores de la dirección de la corriente o las desviaciones entre las trayectorias del bote y la sección transversal, debería realizarse en ambas direcciones, un número igual de operaciones de medición.

XII-3.2 Normalmente el método debería utilizarse tan sólo en corrientes fluviales anchas, esto es, ríos de anchura superior a 300 m y de profundidad no inferior a 2 m.

XII-3.3 Si no se han registrado lecturas automáticas y simultáneas de todos los parámetros necesarios, las lecturas deberían efectuarse en 30 a 40 puntos de la sección transversal y en cada una de las travesías, según sea la anchura del río, pero el número de puntos no debería ser, en ningún caso, inferior a 25.

XII-3.4 La velocidad mínima del bote debería ser de la misma magnitud que la velocidad de la corriente.

XII-3.5 La corriente debería estar exenta de corrientes subfluviales como puede ser el caso de efectos de mareas.

XII-4 **Equipo**

NOTA: En el método del bote móvil se necesitan los siguientes instrumentos especializados:

- a) una ecosonda de cinta gráfica (analógica);
- b) un molinete de hélice modificado;
- c) un indicador de la cadencia de impulsos con contador y unidad de visualización;
- d) una paleta e indicador de ángulo;
- e) un telémetro, óptico o electrónico;
- f) un bote con motor fuera de borda.

XII-4.1 La ecosonda debería ser portátil, de buena calidad y su resolución debería ser como mínimo de 0,10 m y de una precisión de 1 por ciento en su alcance eficaz. Debería ceñirse a las especificaciones que se señalan en la sección VI de este Anexo.

XII-4.2 El molinete debería estar equipado con una hélice. Debería reunir las condiciones necesarias para ser montado en el borde de ataque de la paleta y para ser suspendido en un cable atado al bote.

NOTA: Cuando se aplica el método 2, se prescinde del ángulo formado por la sección transversal y el eje del molinete.

De este modo, se podrá suspender el molinete de un cable desde el bote. El equipo para la suspensión del molinete habrá de ajustarse a las especificaciones establecidas en la sección III de este Anexo.

XII-4.3 Las rotaciones del molinete deberían quedar registradas en un contador o ser convertidas en medidas de velocidad. El contador debería estar dotado de los mecanismos necesarios para establecer previamente el número de impulsos. Cuando se alcance el número establecido previamente debería producirse una señal audible y la cinta gráfica de la ecosonda debería quedar imprimida de forma automática. El contador debería retornar al punto inicial automáticamente antes de repetir el proceso.

XII-4.4 El dispositivo de la paleta y el mecanismo de indicador del ángulo debería montarse sobre la proa del bote. Debería indicarse el ángulo formado por la dirección de la paleta y el curso del bote (línea de la sección transversal) en una esfera calibrada en grados, de 0 a 90°, a ambos lados del índice. La paleta y el molinete deberían instalarse a una profundidad de 0,9 a 1,2 m bajo la superficie del agua, según sea la profundidad del río.

XII-4.5 Debería medirse, por medio de un telémetro óptico o electrónico, la distancia comprendida entre cada punto de observación (vertical) y un punto fijo de la orilla del río. El telémetro debería estar conectado con la ecosonda con el fin de que, en cada punto de observación pueda trazarse una marca lineal en la cinta gráfica, bien sea automáticamente o a mano.

XII-4.6 El bote y el motor fuera de borda deberían ser adecuados el uno al otro. El bote debería ser estable, de fácil maniobra y adaptado a las peculiaridades de la corriente.

XII-5 Lugar de medición

XII-5.1 Los criterios para elegir el lugar de medición deberían ceñirse a las especificaciones establecidas en la

sección VI, VI-3.2 de este Anexo, según corresponda.

XII-5.2 Debería elegirse una trayectoria para que el bote atravesara el río la cual, en lo posible, será perpendicular a la dirección de la corriente. Para determinar esta trayectoria deberían situarse, en cada una de las orillas, un par de puntos de referencia claramente visibles que habrían de coincidir con dicha trayectoria.

NOTA: La distancia entre los dos puntos de referencia situados en cada una de las orillas dependerá de la longitud de la travesía. Es necesario que la distancia sea de 30 m aproximadamente por cada 300 m de recorrido.

XII-5.3 En puntos situados de 12 a 15 m de cada orilla a lo largo del recorrido seleccionado, deberían colocarse flotadores anclados para señalar los puntos en que comienza y termina la travesía.

XII-6 Tripulación

XII-6.1 La tripulación debería estar compuesta de dos o tres personas con experiencia, según sea el grado de automatización del equipo de registro, cuando se proceda a realizar una medición del caudal por el método del bote móvil. Por lo común, estas personas serán un encargado del funcionamiento del bote, un observador de ángulos o distancias y una persona para tomar notas, a cuyo cargo estarán las operaciones de medición.

XII-7 Cálculo del caudal

XII-7.1 Debería calcularse el caudal en la forma en que se especifica en el *Manual on Stream Gauging* (WMO–No. 519 (Manual de aforo de caudales)).

XII-7.2 Debería calcularse el coeficiente medio de la sección transversal que se utilice para ajustar el caudal calculado a partir de una serie de curvas representativas de velocidad vertical tomadas a lo largo de la sección transversal de medición.

XIII - SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

(Véase [D.1.5.] 1)

XIII-1 **Objetivos del seguimiento y evaluación**

XIII-1.1 El programa de seguimiento y evaluación de la calidad del agua debería precisar con claridad sus objetivos.

XIII-1.2 Los objetivos deberían basarse en las directrices legislativas y/o políticas vigentes; en las prioridades nacionales, regionales e institucionales y en la evaluación razonable de los recursos disponibles (humanos, financieros y materiales).

XIII-1.3 Los objetivos deberían orientarse, en la medida de lo posible, en función del producto, esto es, deberían generar productos identificables, por ejemplo, informes de interpretación, normas sobre la calidad del agua o medidas de control de la contaminación.

XIII-1.4 Los objetivos deberían especificar plazos límite. Los objetivos a largo plazo se suelen conseguir instalando una red en la que se toman muestras a intervalos regulares, por ejemplo, mensuales, bimensuales o estacionales, durante un período largo de tiempo, esto es, diez años, como mínimo. Los objetivos a corto plazo se consiguen por lo general, realizando estudios intensivos especiales consistentes en muestreos frecuentes durante períodos cortos de tiempo.

XIII-1.5 Los posibles objetivos a largo plazo son los siguientes:

- a) comprender mejor las condiciones presentes de la calidad del agua y llegar a un mejor entendimiento del medio acuático;
- b) precisar la cantidad disponible de agua y su calidad, esto es, elaborar un inventario de recursos hídricos en función de su cantidad-calidad;
- c) aportar información sobre los efectos pasados, presentes y futuros en el medio acuático de las actividades naturales y antropógenas significativas, incluyendo proyectos hídricos, tales como los referentes a presas, desviaciones, ensanchamiento de

corrientes, proyectos de regadío masivo, e inundaciones de acuíferos y planes de expansión agrícola, industrial y urbana;

- d) efectuar el seguimiento y evaluación de los sistemas contaminantes, tales como los complejos industriales, las zonas urbanas, las aguas mineralizadas y el agua de mar, para salvaguardar los recursos hídricos;
- e) evaluar la eficacia de las medidas de control de la contaminación; y
- f) detectar las tendencias que muestra la calidad del agua para facilitar sistemas de aviso temprano.

XIII-1.6 Los posibles objetivos a corto plazo son los siguientes:

- a) identificación de áreas de problemas;
- b) determinar las fuentes de contaminantes y sus cargas;
- c) determinar el cumplimiento de reglamentos y normas;
- d) seguir y evaluar la calidad del agua interjurisdiccional; e
- e) investigar los procesos y las trayectorias.

XIII-2 **Diseño de la red**

XIII-2.1 El diseño de la red debería basarse en los objetivos del seguimiento y la evaluación. Consiste en lo siguiente:

- a) selección de los lugares de muestreo;
- b) selección de parámetros físicos, químicos y biológicos que han de medirse in situ, sobre el terreno y en el laboratorio;
- c) selección de medios (esto es, agua, sedimentos, biota) y tipo de muestras (por ejemplo, puntual, integrado, compuesto) que se tomarán para los análisis;
- d) determinación de la frecuencia de muestreo;

- e) determinación de la toma, conservación y transporte de muestras y de métodos analíticos y de tratamiento de datos;
- f) determinación de los protocolos para garantizar la calidad de los datos, para las actividades de campo, de laboratorio y para el almacenamiento y recuperación de datos;
- g) determinación de las necesidades de análisis de datos y selección de métodos;
- h) determinación de las necesidades y selección de los productos de interpretación, por ejemplo, informes, hojas informativas, modelos.

XIII-2.2 Selección de los lugares de muestreo

XIII-2.2.1 La selección de los lugares de muestreo debería estar en función de los objetivos establecidos para el programa de seguimiento y evaluación.

NOTA:

- a) Si la finalidad del programa es efectuar el seguimiento y evaluación de la calidad del abastecimiento de agua potable, los muestreos se efectuarán en los puntos próximos a la toma de agua de las plantas de tratamiento del agua. Si el objetivo es establecer los efectos del transporte a largas distancias de contaminantes atmosféricos (LRTAP), se seleccionarán lugares situados en puntos distantes de los puntos en los que se llevan a cabo las actividades antropógenas. Si el objetivo consiste en reforzar o velar por el cumplimiento de determinadas reglas o normas jurídicas, debería ceñirse a los protocolos que se especifiquen en la legislación.
- b) Para seleccionar los lugares de muestreo a fin de efectuar el seguimiento y la evaluación del transporte a largas distancias de contaminantes atmosféricos, véase XIII-4.4 más adelante.

XIII-2.2.2 Otros factores que deberían de tenerse en cuenta para seleccionar un lugar de muestreo de la calidad del agua son los siguientes:

- a) la accesibilidad y la seguridad del lugar;
- b) la realización de otras mediciones en el lugar de muestreo, por ejemplo, caudal de corrientes fluviales o cantidad y calidad del agua de precipitación (en especial, cuando se estudian los efectos del LRTAP);
- c) el grado de cooperación de otros organismos, si la cooperación es importante para el programa, por ejemplo, proporcionar muestras o medidas que no se pueden obtener de otra manera o reducir los gastos generales;
- d) el costo del muestreo y los costos y el tiempo que se necesitarán para transportar la muestra al laboratorio;
- e) la disponibilidad de datos anteriores sobre la calidad del agua;
- f) el uso del suelo; y
- g) la ubicación de aportes (fuentes puntuales y no puntuales) en relación con las masas de agua que se estudian.

XIII-2.3 Selección de parámetros de la calidad del agua

XIII-2.3.1 Los parámetros de la calidad del agua pueden clasificarse, por su naturaleza, como sigue:

- a) propiedades físicas, por ejemplo, la temperatura, el color, la turbiedad, la conductividad eléctrica;
- b) componentes químicos inorgánicos, por ejemplo:
 - gases – O_2 , NH_3 ;
 - iones principales – Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} ;
 - nutrientes – compuestos de N y P;
 - metales traza – por ejemplo, Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} ;
 - mediciones generales; por ejemplo, alcalinidad, pH, sólidos disueltos totales;
- c) sustancias orgánicas; por ejemplo:
 - plaguicidas, herbicidas;
 - hidrocarburos poliaromáticos (PAH);
 - bifenilos policlorados (PCB);
 - fenoles, fenoles clorados;
 - compuestos orgánicos volátiles (VOC);
- d) componentes biológicos; por ejemplo:
 - microbiológicos – coliformes;
 - plancton, clorofila, biomasa;
 - población de peces.

XIII-2.3.2 En el cuadro más adelante se indican los parámetros básicos de calidad del agua que se deberían evaluar. Los parámetros de calidad del agua que hayan de medirse para un programa de seguimiento y evaluación se deberían basar en:

- a) los objetivos del programa;
- b) los costos de la recolección y análisis de muestras;
- c) los recursos disponibles (por ejemplo, fondos disponibles, personal, equipo e instrumentos sobre el terreno e instalaciones de laboratorio);
- d) métodos disponibles para tomar, conservar y garantizar la calidad de las muestras y análisis;
- e) conocimientos disponibles sobre la calidad del agua de las masas de agua que se estudian, por ejemplo, la composición química o toda relación entre variables;
- f) la geoquímica de la región que se estudia;
- g) el uso del suelo;
- h) la producción o utilización de productos químicos en la región;
- i) la naturaleza física química y biológica de los aportes que reciben las masas de agua.

XIII-2.4 Selección de medios

XIII-2.4.1 Los objetivos del programa son los factores principales para decidir qué materiales, por ejemplo, el agua, los sedimentos de suspensión, los sedimentos del fondo o biotas deberían tomarse para realizar análisis físicos, químicos y biológicos.

Parámetros básicos*

	Ríos	Lagos y embalses	Aguas subterráneas
Temperatura	X	X	X
pH	X	X	X
Conductividad eléctrica	X	X	X
Oxígeno disuelto	X	X	X
Nitrato	X	X	X
Nitrito	–	–	X
Ammoníaco	X	X	X
Calcio	X	X	X
Magnesio	X	X	X
Sodio	X	X	X
Potasio	X	X	X
Cloruro	X	X	X
Sulfato	X	X	X
Alcalinidad	X	X	X
Demanda de oxígeno bioquímico (BOD)	X	X	X
Sólidos totales en suspensión	X	X	X
Clorofila a	–	X	–
Transparencia	–	X	–
Ortofosfato	X	X	–
Fósforo total (no filtrado)	X	X	–

* El presente cuadro está basado en la *Guía Operativa GEMS/AGUA* del Sistema Mundial de Vigilancia Ambiental (GEMS) (PNUMA, OMS, UNESCO, OMM); 1978.

NOTA: Si el objetivo del programa es efectuar el seguimiento y la evaluación de la calidad del abastecimiento de agua potable, se deberían tomar las muestras en la columna de agua. Cuando el objetivo sea determinar qué productos químicos están presentes en un determinado sistema acuático se deberían muestrear todos los medios, esto es, el agua, los sedimentos en suspensión y de fondo y las biotas, dado que algunas sustancias sólo pueden detectarse en determinados medios.

XIII-2.4.2 Para determinar en qué medios habrán de tomarse muestras, deberían tenerse presente otros factores tales como:

- los métodos y equipo del muestreo; y
- los métodos analíticos para medios particulares compatibles con los objetivos de programa.

XIII-2.5 Determinación de la frecuencia del muestreo

XIII-2.5.1 La frecuencia del muestreo depende de:

- los objetivos de la red (por ejemplo, el tiempo y la magnitud de los cambios que han de detectarse);
- el rango de las variables medidas;

- la variabilidad de los parámetros interesantes en función del tiempo;
- la disponibilidad de recursos para la toma, conservación y transporte de muestras al laboratorio, análisis de muestras y el almacenamiento y recuperación de datos, la garantía de la calidad y la interpretación de datos.

NOTA: Si el objetivo de la red es determinar los valores medios (anuales, mensuales, semanales, ...) de un parámetro con una desviación típica S y un error E para un grado de certidumbre determinado, a efectos estadísticos el número de muestras (anual, mensual, semanal,...) habrá de ajustarse a la fórmula:

$$n \geq \frac{t_{\alpha/2} \cdot S^2}{E}$$

en la que $t_{\alpha/2}$ es la «constante t de Student» (véase también el *Manual on Water Quality Monitoring* (WMO-No. 680) (Manual sobre la evaluación de la calidad del agua).

XIII-2.5.2 La variabilidad de los parámetros de calidad del agua en función del tiempo puede determinarse:

- a) utilizando los datos disponibles de la calidad del agua; o
- b) llevando a cabo un programa preliminar (piloto) de muestreo.

NOTAS:

- a) Para garantizar la eficacia y eficiencia del diseño de una red en función de los objetivos del estudio, se recomienda probar y evaluar el diseño por medio de un programa piloto o durante el funcionamiento inicial de la red.
- b) Los supuestos sobre la homogeneidad temporal y espacial de un río o lago deberían verificarse mediante muestreo transversal y vertical en lugares representativos.
- c) Durante la realización de proyectos pilotos, pueden obtenerse estimaciones de desviación típica y de error que pueden mejorar la planificación del proyecto.
- d) Pueden identificarse en los proyectos pilotos otras necesidades de datos para llevar a cabo los objetivos del proyecto.

XIII-3 **Recolección de muestras de aguas superficiales**

XIII-3.1 **Tipos de muestras**

XIII-3.1.1 Muestra puntual o muestra discreta: muestra tomada en una ubicación, a una profundidad y en un tiempo determinados.

XIII-3.1.2 Integrada en profundidad: muestra recolectada abarcando una parte de agua predeterminada, o una columna de agua en toda su profundidad, en una ubicación y en un tiempo determinados.

XIII-3.1.3 Muestra compuesta: muestra obtenida mezclando en un recipiente varias muestras discretas de volúmenes iguales o ponderados para, mediante análisis de una submuestra proporcional de ella, llegar a detectar componentes de interés; o bien la obtenida por muestreo continuo de una corriente. Las muestras compuestas permiten realizar estimaciones de la calidad media del agua a lo largo del período de muestreo. Existen dos tipos principales de muestra compuesta:

- a) muestra compuesta secuencial, o temporal, obtenida respectivamente mediante:
 - bombeo continuo y constante de la muestra;
 - mezclado de volúmenes iguales de agua recolectados a intervalos de tiempo regulares;
- b) muestra compuesta proporcional al flujo obtenida mediante:
 - bombeo continuo, a un gasto o caudal proporcional al flujo;
 - mezclado de volúmenes iguales de agua recolectados a intervalos, según una relación inversamente proporcional al volumen del flujo;
 - mezclado de volúmenes de agua proporcionales al flujo, recolectados durante intervalos de tiempo regulares.

XIII-3.1.4 El tipo de la muestra de agua de superficie a recolectar queda determinado por:

- a) los objetivos del estudio, y en particular los parámetros de interés y el grado de precisión y de exactitud necesario;
- b) las características del sistema en estudio, particularmente el régimen de flujo, los afluentes, las infiltraciones de agua subterránea, la homogeneidad de la masa acuática, las condiciones climáticas, los insumos antropógenos y la vida acuática presente;
- c) los recursos disponibles (es decir, personal, equipos y material).

XIII-3.1.5 La recolección de muestras puntuales resulta apropiada cuando puede servir para:

- a) caracterizar la calidad del agua en un instante y en una ubicación determinados;
- b) proporcionar información sobre el rango de valores aproximado de las concentraciones;
- c) recolectar volúmenes de muestra variables;
- d) estudiar corrientes que no fluyan con continuidad;
- e) detectar variaciones de la calidad del agua con respecto a intervalos de tiempo relativamente breves.

NOTAS:

- a) Cuando el muestreo sea efectuado en un tramo homogéneo de un río, podría ser suficiente la recolección de muestras en profundidad a lo largo de una sola vertical. Cuando el río es pequeño, suele ser suficiente una muestra puntual en el centroide del flujo.
- b) Cuando el muestreo se efectúe en un tramo no homogéneo de un río, será necesario muestrear la sección transversal del canal, en diversos puntos y a distintas profundidades. El número y tipo de muestras tomadas dependerá de la anchura, de la profundidad, de la descarga, de la cantidad de sedimento en suspensión y de la vida acuática presente. En términos generales, cuanto mayor sea el número de puntos de muestreo en la sección transversal, más representativa será la muestra compuesta. Aunque se recomienda elegir diez verticales, por lo general bastará con tres, cuatro o cinco, o incluso menos cuando las corrientes sean estrechas y poco profundas. Para determinar la ubicación de las verticales, existen dos métodos:
 - el método IIA (incrementos de igual anchura), es decir, el espaciamiento de las verticales a intervalos iguales a lo ancho de la corriente;
 - el método IID (incrementos de igual descarga), consistente en dividir la sección transversal en segmentos de igual descarga. Para aplicar este método es necesario conocer en detalle la distribución del caudal en la sección transversal.

XIII-3.2 **Directrices generales de muestreo**

XIII-3.2.1 El recolector de muestras debería ser preparado adecuadamente para los distintos métodos a emplear,

en función del sitio de muestreo o de la época en que éste sea efectuado; por ejemplo:

- a) aguas profundas o poco profundas;
- b) muestreos efectuados desde embarcaciones, puentes o aeronaves, o desde riberas o embarcaderos;
- c) situaciones especiales; por ejemplo, inundaciones, o capas de nieve o hielo.

XIII-3.2.2 La muestra no debería contener partículas no homogéneas de gran tamaño, como hojas o detritos.

XIII-3.2.3 En los ríos, las muestras deberían ser tomadas contra la corriente.

NOTA: De este modo, el recolector podrá advertir los objetos flotantes que eventualmente desciendan con la corriente. Se evitará también así la contaminación del sitio de muestreo por petróleo, virutas de pintura u otras suciedades.

XIII-3.2.4 Se debería recolectar una cantidad de agua, sedimento o biota suficiente para, en caso necesario, poder replicar los análisis y las pruebas de control de calidad. De no especificarse lo contrario, la cantidad requerida será la suma de las cantidades necesarias para analizar los distintos parámetros de interés.

XIII-3.2.5 En todos los casos, se deberían anotar con exactitud las condiciones del muestreo, y en particular las posibles fuentes de interferencia, las condiciones atmosféricas, y toda circunstancia inusual observada en el lugar de muestreo.

XIII-3.3 Equipos de muestreo de campo

XIII-3.3.1 Las muestras discretas de agua deberían ser tomadas utilizando un muestreador reconocido.

NOTA: Son muestreadores adecuados, por ejemplo:

- a) bastidor o soporte de muestreo con botella apropiada;
- b) botella Van Dorn;
- c) botella Kemmerer;
- d) muestreador por bombeo;
- e) muestreador múltiple.

Puede utilizarse también una botella lavada con solventes, con la embocadura abierta inmediatamente por debajo de la superficie.

XIII-3.3.2 Para la toma de muestras en profundidad, se debería proceder como sigue:

- a) se llenará una botella con velocidad de llenado constante, desplazándola al mismo tiempo verticalmente con movimiento uniforme de modo que el llenado concluya al terminar el desplazamiento vertical: o bien
- b) se sumergirá un tubo de plástico flexible, lastrado en su extremo inferior, hasta alcanzar la profundi-

dad deseada: a continuación, se obturará el extremo superior, se extraerá el tubo y se vaciará su contenido en el recipiente previsto.

XIII-3.3.3 Las muestras compuestas deberían ser obtenidas:

- a) mezclando diversas muestras puntuales; o bien
- b) bombeando agua durante cierto período de tiempo.

XIII-3.3.4 Se deberían utilizar muestreadores automáticos para recolectar en la botella de muestreo muestras puntuales o compuestas, en instantes o a intervalos de tiempo predeterminados, o con un caudal determinado.

XIII-3.4 Preparativos para las salidas de campo

XIII-3.4.1 Antes de emprender una salida de campo, se deberían efectuar todos los preparativos necesarios, en particular:

- a) se prepararán las instrucciones específicas de los procedimientos de muestreo;
- b) se elegirá un itinerario con arreglo a la cronología de muestreo;
- c) se confeccionarán listas de equipo y material;
- d) se verificará la limpieza de todas las botellas de muestras conforme a los procedimientos de rigor;
- e) se verificará la existencia de reactivos químicos y patrones suministrados por el laboratorio; y
- f) se elaborará una lista de comprobación.

NOTAS:

- a) El número y tamaño de los recipientes necesarios depende del número de parámetros a analizar, de los volúmenes de muestras prescritos por el laboratorio, y del número de análisis duplicados y triplicados requeridos para la verificación de la calidad.
- b) El tipo de recipientes utilizado depende del tipo de parámetro a medir. Los recipientes de polietileno son los más económicos. Se utilizarán recipientes de vidrio o teflón, o materiales especiales para la medición de parámetros que exijan gran cuidado como, por ejemplo, oxígeno disuelto o agua intersticial fuertemente reductora.
- c) Una lista de comprobación completa evitará que no se olvide nada. En la lista deberían figurar los conceptos siguientes: comprobación y calibración de instrumentos; suministros de recipientes de muestras, filtros y cajones de hielo; suministros de reactivos de conservación, o de reactivos para el análisis y aplicación de patrones en el campo; mapas, descripciones de estaciones, etiquetas para los recipientes, y formularios para reportar información de las estaciones; manuales, herramientas, piezas de repuesto; equipo de seguridad, botiquín de primeros auxilios.

XIII-3.5 Parámetros medidos en el campo

XIII-3.5.1 Los parámetros rápidamente variables deberían ser medidos en el campo: por ejemplo, la tempera-

tura, el color, la transparencia, la turbiedad, el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad y, en el caso de aguas subterráneas, el potencial redox.

XIII-3.5.2 Dado que las mediciones sobre el terreno exigen realizar mediciones eléctricas, titulaciones y comparaciones ópticas, el personal de campo debería estar adiestrado para el mantenimiento de los correspondientes aparatos y para utilizar éstos de manera precisa y reproducible, de acuerdo a lo especificado en el *Manual on Water Quality Monitoring* (WMO-No. 680) (Manual sobre la evaluación de la calidad del agua).

XIII-3.5.3 La limpieza minuciosa de recipientes y aparatos, según el tipo de análisis, es esencial para poder obtener unos resultados analíticos fiables, y para evitar contaminación por polvo, suciedad, humo, emanaciones, manchas dactilares y grasa durante el proceso de toma y manipulación de las muestras.

XIII-3.5.4 En ningún caso se debería escribir el valor «cero» como resultado de una observación; si el valor obtenido es inferior al límite de detección del método empleado, se escribirá «Inferior a (indicar aquí el límite de detección del método empleado)».

XIII-3.6 Registro de datos de campo

XIII-3.6.1 Debería anotarse con exactitud el sitio exacto en que fue tomada la muestra, así como toda circunstancia especial existente en el momento de muestreo.

XIII-3.6.2 Cuando se establezca una estación de muestreo, debería describirse adecuadamente su lugar de emplazamiento.

NOTA: Además de anotar las coordenadas geográficas (latitud y longitud, situación en la retícula, mercator transversal universal, etc.), se debería efectuar un dibujo descriptivo del lugar sobre un mapa de gran escala, anotándose las distancias existentes con respecto a marcas territoriales próximas y puntos de referencia fijos. En la descripción se debería incluir toda circunstancia de índole natural o artificial que pueda afectar a la calidad del agua.

XIII-3.6.3 Para facilitar la identificación de las estaciones en las etiquetas de las muestras, se deberían designar las distintas estaciones mediante números o códigos.

XIII-3.6.4 Se debería confeccionar un resumen de las observaciones de campo, anotando en una hoja la ubicación, fecha, hora y mediciones efectuadas, así como toda circunstancia que pudiera influir en la interpretación de los datos (por ejemplo, condiciones meteorológicas, peces muertos, proliferación de algas, rotura de hielos o cursos de agua). Se deberían indicar también en la hoja de observaciones los métodos de análisis utilizados, las calibraciones de instrumentos efectuadas sobre el terreno y, en particular, el número de serie y modelo de estos tipos de aparatos, los procedimientos de muestreo utilizados, y eventuales particularidades del control de calidad de los datos.

XIII-4 Recolección y almacenamiento de muestras para la determinación de la calidad del agua

XIII-4.1 Tipos de muestras

XIII-4.1.1 Los tipos de muestras considerados en XIII-4 son los siguientes:

- a) muestras de agua de superficie, destinadas a análisis fisicoquímicos (véase XIII-3 sobre la recolección de muestras);
- b) muestras para análisis biológicos;
- c) muestras de deposición atmosférica para análisis químicos;
- d) muestras de sedimentos en suspensión o depositados; y
- e) muestras de agua subterránea.

XIII-4.2 Filtrado y conservación en el campo

XIII-4.2.1 A fin de poder diferenciar entre las concentraciones de los componentes disueltos en el agua y las de los componentes presentes en o adsorbidos en partículas en suspensión, las muestras de turbiedad superior a tres serán filtradas en el campo. La filtración en el campo se debería hacer con especial precaución, para evitar la contaminación de la muestra.

XIII-4.2.2 La elección de recipientes adecuados es muy importante para preservar la integridad de las muestras. Algunas consideraciones a tener en cuenta son:

- a) la lixiviación del material del recipiente causada por la muestra, concretamente de sus compuestos orgánicos si éste es de plástico, o de sodio u otros iones, si es de vidrio;
- b) la sorción de sustancias de la muestra por las paredes del recipiente; por ejemplo, oligoelementos metálicos – sobre todo si son reactivos – en el caso del vidrio, o sustancias orgánicas, en el caso del plástico;
- c) la reacción directa de la muestra con el recipiente; por ejemplo, de los fluoruros con el vidrio;
- d) los efectos bacteriostáticos de los metales y del caucho.

XIII-4.2.3 Para el estudio de determinados parámetros debería ser necesario conservar las muestras hasta su llegada al laboratorio mediante: adición de sustancias químicas (por ejemplo, acidificación), refrigeración, desprovisión de iones metálicos, tintado de ciertos organismos o, en algunos casos, congelación.

XIII-4.3 Muestras biológicas

XIII-4.3.1 Las muestras microbiológicas deberían ser recolectadas en botellas estériles, que puedan servir de autoclave y no sean tóxicas.

XIII-4.3.2 Las muestras que no puedan ser analizadas inmediatamente deberían ser almacenadas en la oscuridad, en hielo fundente, a fin de minimizar el crecimiento vegetativo de la población de microorganismos.

XIII-4.3.3 El estudio de la macrobiota exige dispositivos de muestreo específicos, según el tipo de los organismos y según que éstos estén o no presentes en la columna de agua o en el sedimento:

- a) peces – o bien activamente, mediante jábegas, redes barredoras, electropesca, productos químicos, o anzuelo e hilo; o bien pasivamente, mediante redes y trampas;
- b) macroinvertebrados – mediante redes, muestreadores multibandeja y muestreadores de cesta;
- c) plancton – mediante muestreadores de agua de superficie, o mediante equipos especialmente diseñados como, por ejemplo, trampas Juday o redes de nilón aforadas;
- d) perifiton – mediante platinas ancladas o flotantes;
- e) macrofitos – mediante rastrillos, dragas, palos con extremidad en cuchillo, rezones o, en algunos casos, con ayuda de respiradores autosuficientes sumergidos;
- f) organismos bénticos – véase XIII-4.5.

XIII-4.4 Muestras de deposición atmosférica

XIII-4.4.1 En la elección de un sitio para efectuar muestreos de seguimiento y evaluación del transporte a larga distancia de contaminantes en suspensión aérea se deberían tomar en cuenta los valores de dirección y distancia del transporte en función de las condiciones meteorológicas y del clima a largo plazo. Cuando el seguimiento y la evaluación abarquen grandes áreas, el sitio debería ser rural y apartado, de modo que no existan fuentes continuas de polución en una distancia de 50 km en la dirección de procedencia del viento prevaleciente, y en un radio de 30 km en todas las demás direcciones.

XIII-4.4.2 Para la elección del sitio de muestreo se deberían aplicar los criterios siguientes:

- a) que no existan fuentes móviles de polución (por ejemplo, tráfico de vehículos) en un radio de 1000 m en torno al emplazamiento;
- b) que no exista almacenaje en superficie de productos agrícolas, combustibles, u otros materiales extraños, en un radio de 1000 m en torno al emplazamiento;
- c) que el terreno sea llano y sin alteraciones, preferiblemente cubierto de hierba, y que en las inmediaciones no existan fuentes de polución activables por el viento, como podrían ser campos arados, carreteras no pavimentadas, o causantes naturales o artificiales de turbulencias y remolinos;
- d) que no existan a menos de 5 m de distancia obje-

tos (por ejemplo, árboles, o estructuras) de mayor altura que el muestreador;

- e) que no exista objeto alguno en una distancia igual a 2,5 veces la altura diferencial del objeto con respecto al muestreador. Se debería tener especial cuidado con los cables aéreos utilizados para la toma de corriente de los recolectores automáticos;
- f) cuando se utilice un generador como fuente de energía, su escape debería estar situado lo más lejos posible, viento abajo del recolector;
- g) la toma del recolector debería estar situada al menos 1 m por encima del paisaje, a fin de minimizar la recolección de material no homogéneo o de salpicaduras.

XIII-4.4.3 Los tipos de deposición atmosférica que deberían ser muestreados serán: deposición por lluvia, deposición por nieve y deposición seca. La deposición seca debería ser recolectada en los períodos entre precipitaciones de agua líquida o congelada (por ejemplo, lluvias, o tormentas de nieve).

XIII-4.4.4 Se deberían utilizar muestreadores de dos cubetas automatizados.

NOTAS:

- a) Este tipo de muestreadores recolecta deposiciones secas en una de las cubetas manteniendo la otra tapada, y dispone de un sensor que, al detectar precipitación, traslada la tapa a la primera cubeta en tanto dura la precipitación.
- b) El valor de precipitación mínimo r (en mm) que es capaz de analizar un sistema recolector dado con una superficie a (en m^2) puede obtenerse a partir de:

$$r = \frac{d}{aci}$$

donde:

- d es el límite de detección del instrumento utilizado para el análisis, en nanogramos (ng);
- c es la concentración esperada en el agua de lluvia, de granizo o de nieve, en ng/l;
- i es el factor de inyección, es decir, la fracción de la muestra total inyectada en el instrumento para efectuar el análisis. Así, por ejemplo, si el volumen total de la muestra concentrada es 100 ml, y el volumen inyectado en el cromatógrafo de gas es 20 ml, el valor de i será 20/100. Cuando la muestra es analizada por absorción atómica mediante aspiración de los 100 ml de muestra, se tendrá $i = 1$.

XIII-4.5 Muestreo de sedimentos

NOTAS:

- a) Este tema está ampliamente tratado en el *Manual on Operational Methods for the Measurement of Sediment Transport* (WMO-No. 686) (Manual sobre métodos operativos para la medición del transporte de sedimentos).
- b) Cabe distinguir los tipos de sedimento siguientes:

- i) material en suspensión – material que se mantiene en la columna de agua situada sobre el nivel del lecho;
 - ii) carga de lecho o carga de tracción – volumen de sedimento que, permaneciendo en contacto casi constante con el lecho del río, es arrastrado por la corriente;
 - iii) material depositado – volumen de sedimento depositado por efecto de una disminución de la energía del agua; su consistencia es habitualmente fina en los lagos, y más heterogénea en los ríos.
- c) Cuando las concentraciones de sedimento en suspensión son elevadas, podría ser adecuado el método de muestra puntual, o de integración en profundidad. En tal caso, sin embargo, para obtener muestras del orden de 5 g podría ser necesario tratar miles de litros, para lo que haría falta disponer de un sistema de bombeo, preferentemente con centrifugadora de flujo continuo, a fin de evitar laboriosos procedimientos de filtrado.

Para los sedimentos de fondo podría ser apropiado utilizar una draga del tipo muestreador Shipek o draga Birge-Ekman aunque, cuando se requieran muestras menos alteradas, podrían utilizarse muestreadores por gravedad, o de ánima de pistón. Cuando el agua intersticial sea anóxica, deberá ser conservada en una atmósfera inerte.

XIII-4.6 Aguas subterráneas

XIII-4.6.1 Además de informar sobre la estación, según las directrices de XIII-3.6, se debería describir también el pozo utilizado, indicando:

- a) los acuíferos utilizados como fuente;
- b) la profundidad, tamaño y tipo de entubado del pozo, así como la ubicación y tipos de perforación del entubado;
- c) un estudio documental que describa, en particular, la elevación de la superficie del terreno;
- d) un diagrama y una fotografía del pozo en los que se indicarán los accesos al mismo y el sitio de medición;
- e) el nombre local del pozo y el nombre de su propietario;
- f) los usos del pozo.

XIII-4.6.2 Para la medición del nivel del agua se debería utilizar una cinta métrica lastrada, marcada en su extremo inferior con tiza azul de carpintero para delatar el nivel del agua, o una cinta de detección por conductividad eléctrica, o bien un conducto de burbujas de aire que convierta en unidades de longitud la presión requerida para enviar burbujas hasta su fondo por comparación con la longitud total del conducto. Para el seguimiento de las variaciones de nivel del agua pueden utilizarse dispositivos a base de flotadores, equipos de tipo eléctrico, o calibradores de presión.

XIII-4.6.3 Las muestras deberían ser obtenidas de pozos de bombeo o de pozos artesianos con cabezal. En

pozos abiertos, y en aquellos casos en que se necesiten muestras de profundidades determinadas, se deberían utilizar muestreadores puntuales, de pequeño diámetro externo, aptos para entubados estrechos.

XIII-4.6.4 Por encima del nivel freático, la toma de muestras de agua del suelo se debería efectuar mediante introducción en el suelo de tubos provistos de una región porosa cerca de su extremo inferior, o bien insertando en el terreno copas de cerámica porosa dotadas de conductos de vacío.

XIII-4.1 Muestras para la medición de radiactividad

XIII-4.7.1 Deberían tomarse precauciones a fin de evitar la adsorción en las paredes del contenedor, o en la materia en suspensión.

NOTA: Son materiales apropiados para los recipientes el polipropileno, el polietileno o el teflón.

XIII-4.7.2 Para mantener metales en solución reduciendo al mínimo su adsorción, se debería añadir ácido clorhídrico o nítrico en la proporción 2 ml/l de muestra.

XIII-4.8 Envío de muestras

Cuando se envíen muestras al laboratorio para su análisis, se debería adjuntar a cada muestra una etiqueta con información completa sobre la estación, fecha, hora, parámetros para analizar, métodos de conservación (si se hubiera utilizado alguno) e identidad del recolector, y opcionalmente una descripción de cualquier circunstancia especial que pudiera influir en la interpretación de los datos.

NOTA: En caso de que una muestra debiese ser considerada como prueba en un procedimiento legal, la jurisprudencia local podría exigir la verificabilidad de la custodia continuada de la muestra, desde la persona que la hubiese recolectado hasta la que hubiese efectuado el análisis.

XIII-5 Garantía de calidad

XIII-5.1 Generalidades

NOTAS:

- a) La garantía de calidad consta del control de calidad, del sistema general de directrices y procedimientos definidos para controlar la calidad del producto, y de la evaluación de calidad, es decir, el sistema global de actividades que aseguran que el control de calidad es efectuado de manera adecuada.
- b) Los métodos analíticos pueden ser clasificados en:
 - i) métodos primarios, adecuados para determinar los datos analíticos del material de referencia patrón – son laboriosos, y exigen un alto grado de pericia;
 - ii) métodos de rutina, adecuados para trabajar cotidianamente con numerosas muestras – proporcionan un buen grado de precisión y de exactitud.
- c) La exactitud de los métodos de rutina puede ser comprobada utilizando muestras de concentración conocida

(por ejemplo, materiales de referencia patrón) o añadiendo cantidades conocidas de «dopantes» a la muestra que se analiza.

XIII-5.1.1 Dentro del programa de garantía de calidad, se documentarán los protocolos de las actividades de campo (sobre el terreno) y de laboratorio.

NOTAS:

- a) La calidad de los resultados analíticos viene definida por su precisión, es decir, por el grado de concordancia entre datos obtenidos de mediciones replicadas y por su exactitud, esto es, por el grado de concordancia de los datos con el «valor verdadero».
- b) El concepto de precisión refleja el grado de variabilidad del método por efecto de los errores aleatorios, y suele estar expresado en términos de desviación típica o de desviación típica relativa, de una serie de análisis replicados.
- c) La exactitud suele estar expresada en forma de error porcentual, es decir, como la diferencia entre el valor medio obtenido y el valor verdadero, multiplicada por 100, y dividida por el valor verdadero.
- d) La exactitud de un método puede ser determinada mediante el análisis de materiales de referencia patrón, o mediante la adición de cantidades conocidas de «dopantes», seguida de un análisis y de la determinación del porcentaje de recuperación. Se obtiene con ello una medida de la capacidad del método para recuperar cantidades conocidas de material agregadas a una muestra.

XIII-5.1.2 Para cada método y para cada instrumento de un laboratorio, se deberían determinar los valores siguientes:

- a) límite de detección del instrumento – la más baja concentración de analitos que puede detectar un instrumento siendo su valor estadísticamente diferente al ruido de fondo del instrumento;
- b) límite de detección del método – la más baja concentración que es posible detectar de manera fiable a partir de un método, siendo su valor estadísticamente diferente del obtenido de una muestra en blanco (agua destilada, por ejemplo) a la que haya sido aplicado el mismo método;
- c) límite de detección práctico – la más baja concentración que es posible detectar de manera fiable a partir de un método en una matriz de muestra real, siendo su valor estadísticamente diferente del de una muestra en blanco a la que se haya aplicado dicho método utilizando la misma matriz de muestra;
- d) límite de cuantificación – el valor de un número suficiente de desviaciones típicas (por lo general, superior al valor medio de la muestra en blanco), que no sólo indique la presencia del analito detectado, sino que sea también útil para la concentración determinada.

NOTA: Forman parte del proceso de control de calidad los tipos de muestra siguientes:

- a) muestras en blanco de muestreador – muestras de agua destilada ultrapura vertida en o conducida a través del muestreador, a la que se aplica el resto del proceso desde la toma hasta el análisis, incluida la conservación sobre el terreno y el transporte al laboratorio;
- b) muestras en blanco de botella – muestras preparadas a partir de agua ultrapura o de un solvente introducidos en recipientes de muestra elegidos al azar, a los que se aplica el proceso analítico a fin de verificar que no se produce contaminación durante el lavado de la botella;
- c) muestras en blanco de campo – muestras preparadas del mismo modo que las muestras en blanco de botella, pero agregando las sustancias químicas necesarias para conservar la muestra hasta su análisis. Estas muestras detectan toda contaminación causada por la conservación química de las muestras;
- d) muestras en blanco de filtro – muestras preparadas a partir de agua ultrapura transportada a lo largo del aparato de filtrado de campo. Estas muestras son utilizadas para detectar eventuales contaminaciones durante el filtrado de campo;
- e) muestras duplicadas (fracciones) – submuestras obtenidas fraccionando una muestra en dos o más partes;
- f) muestras replicadas (temporalmente) – muestras tomadas en una misma ubicación, a intervalos de tiempo especificados, por lo general breves;
- g) muestras dopadas (adiciones patrón) – muestras fraccionadas dopadas con distintos niveles de los parámetros de interés, a fin de detectar la aparición de errores sistemáticos en el método analítico.

XIII-5.2 Informes de evaluación de calidad

XIII-5.2.1 Se deberían exigir informes de evaluación de calidad en cada nivel de supervisión de laboratorio, desde el analista práctico hasta el jefe de sección.

XIII-5.2.2 El analista práctico debería informar sobre:

- a) la variabilidad de los datos en relación con las muestras en blanco y los patrones;
- b) la precisión y exactitud de los grupos de pruebas;
- c) el número y tipo de análisis de control de calidad cuyos resultados se desvíen de los valores verdaderos rebasando un margen preestablecido (por ejemplo, dos desviaciones típicas);
- d) otras informaciones concernientes al control de calidad, como: variaciones de las soluciones patrón, reactivos que no lleguen al nivel patrón, métodos utilizados para la limpieza, muestras con información incorrecta o inadecuada, o frecuencia de calibración de los instrumentos.

XIII-5.2.3 Los supervisores de laboratorio deberían informar, de acuerdo a su nivel de supervisión, de:

- a) la frecuencia de quejas de los usuarios/clientes;
- b) las sesiones de entrenamiento impartidas al personal;
- c) las auditorías analíticas y las comprobaciones de datos con respecto a los valores históricos;

- d) los estudios de control de calidad interlaboratorios en que haya participado el laboratorio;
- e) nuevos procedimientos analíticos introducidos o modificados;
- f) precisión y exactitud global de los resultados de grupo;
- g) otras informaciones de importancia para el control de calidad, como: averías de los equipos, frecuencia de verificación de los datos.

XIII-5.3 Registro de datos

XIII-5.3.1 En ningún caso se debería registrar un resultado analítico de valor nulo.

NOTA: Si el valor obtenido es inferior al límite de detección del método, se debería registrar esa circunstancia indicando, por ejemplo: «inferior a [límite de detección del método]».

XIII-5.3.2 Se debería señalar los valores inferiores al límite de detección práctica o al límite de cuantificación; en general, los valores de cuantificación se encierran entre paréntesis.

XIII-5.3.3 Los datos cuantitativos deberían ir acompañados de sus grados de precisión y exactitud, si es que se dispone de ellos, y de los valores de fiabilidad esperados; por ejemplo, el intervalo de confianza.

NOTA: Un intervalo de confianza es una estimación, obtenida por medios estadísticos, que expresa que el valor verdadero se encuentra dentro de un porcentaje dado de determinaciones comprendidas entre los límites superior e inferior declarados, en torno al valor medio de la muestra determinado.

XIII-6 Seguridad en el campo

XIII-6.1 Capacitación

XIII-6.1.1 El personal de campo debería recibir la capacitación necesaria para conocer los peligros con los que podrá tropezar, reconocer las situaciones potencialmente peligrosas y tomar las disposiciones necesarias para reducir los riesgos al mínimo.

XIII-6.1.2 La capacitación debería incluir los temas de seguridad en el agua, primeros auxilios en el campo, supervivencia en áreas aisladas, y técnicas elementales de reparación de vehículos de transporte.

XIII-6.1.3 Las oficinas de campo deberían mantener una lista actualizada de los cursos sobre seguridad que ofrecen las entidades oficiales o privadas, y un registro de los cursos seguidos por el personal.

XIII-6.1.4 Se deberían organizar periódicamente cursos de actualización de los conocimientos.

XIII-6.2 Prácticas generales

XIII-6.2.1 Todos los empleados deberían conocer y cumplir los procedimientos de seguridad establecidos por sus gobiernos.

XIII-6.2.2 Se debería dar al personal de campo la información disponible sobre las características de los cuerpos de agua que habrá que estudiar y las previsiones del tiempo para la zona.

XIII-6.2.3 Cuando se considere que las condiciones del tiempo o del agua ponen en peligro la seguridad o la salud del personal, o pueden dañar el equipo, no se deberían efectuar actividades de muestreo.

XIII-6.2.4 Antes de realizar un muestreo, los equipos de campo deberían dejar en la oficina un programa preciso de muestreo y los itinerarios previstos.

XIII-6.3 Medidas de seguridad durante los muestreos

XIII-6.3.1 Las disposiciones de seguridad deberían estar en consonancia con la naturaleza del lugar de muestreo. El personal de campo debería tener en cuenta:

- a) en puentes de autopistas – dotarse de luces de aviso, señales, prendas fluorescentes; señalar las líneas de suspensión de los equipos; fijarse si hay líneas de alta tensión;
- b) en puentes de vías férreas – conocer el horario de trenes, contar con equipo que sea posible desplazar fácilmente;
- c) en vadeos – tener cuidado con las orillas poco seguras, las rocas resbaladizas, las corrientes rápidas; llevar una vara para medir la profundidad, elementos de flotación (por ejemplo, chalecos salvavidas); delimitar zonas de seguridad con amarras aseguradas; saber cómo atravesar las arenas movedizas; llevar prendas de recambio para evitar la hipotermia por humedad;
- d) en embarcaciones – cumplir las normas locales para pequeñas embarcaciones; no transitar por rutas de navegación con mucho tráfico; salir siempre acompañados de al menos una persona; contar con fuentes de energía auxiliar, combustible y recambios para casos de emergencia; no sobrecargar la embarcación; llevar elementos de flotación y la ropa necesaria para protegerse del sol y de la hipotermia por humedad; evitar los objetos flotantes o sumergidos que arrastran las corrientes.

XIII-6.3.2 El personal de campo debería haber sido capacitado de modo que reconozca cuando una situación es potencialmente peligrosa y sepa reducir sus riesgos al mínimo. Además de los peligros propios del emplazamiento, el agua sometida a muestreo podría contener sustancias químicas y/o biológicas nocivas, por lo que

conviene evitar el contacto con la piel. Para la manipulación de aguas negras y de afluentes industriales, se adoptarán precauciones especiales.

XIII-6.4 **Manipulación de sustancias químicas y aparatos**

XIII-6.4.1 Los ácidos y las bases se deberían almacenar y manipular con cuidado, y nunca se utilizará la pipeta con la boca. Se debería portar gafas de seguridad al manipular esas sustancias. En caso de derrame, se debería limpiar inmediatamente con abundante cantidad de agua o sustancias neutralizadoras; durante la limpieza se deberían utilizar guantes y delantal.

XIII-6.4.2 Se debería evitar la inhalación de vapores o el contacto directo con piel, ojos y ropas. En caso de contacto con la piel, se debería aplicar abundante agua, y se debería lavar con jabón o una solución neutralizadora.

XIII-6.4.3 Si la sustancia ha entrado en los ojos, se deberían lavar éstos inmediatamente con agua, sosteniendo si es preciso los párpados abiertos. Las heridas oculares deberían recibir tratamiento médico lo antes posible.

XIII-6.4.4 A menos que sea absolutamente necesario, se debería evitar el uso del cloruro de mercurio (sublimado corrosivo). Cuando haya que utilizarlo, los trabajadores deberían conocer las técnicas de manipulación y se debería recuperar todos los residuos de mercurio.

XIII-6.4.5 Se deberían elaborar técnicas de trabajo que minimicen los riesgos de electrocución al manipular aparatos eléctricos dentro o cerca del agua. Nunca se debería enchufar directamente un aparato eléctrico a la fuente de energía sin contar con enchufes y conmutadores que se puedan desconectar rápida y fácilmente.

XIII-6.4.6 Antes de cada salida, se debería verificar el estado de los aparatos de respiración bajo el agua (scuba) para determinar su fiabilidad.

