	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

## **INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES**

**PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA**




**INSTRUCTIVO PARA  
MANTENIMIENTO,  
CALIBRACIÓN Y  
VERIFICACIÓN DE  
MOLINETES**

Código: AMSPNN\_IN\_22

Versión: 1


Vigente desde dd/mm/aaaa:  
28/12/2018



	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	4
1 OBJETIVO .....	4
2 ALCANCE .....	5
3 MARCO CONCEPTUAL .....	5
3.1 AFORO DE CAUDAL CON MOLINETE .....	5
3.2 EXACTITUD DE LAS MEDICIONES.....	5
3.3 CORRENTÓMETRO - GENERALIDADES .....	7
3.3.1 TIPOS DE CORRENTOMETROS .....	7
4 MANTENIMIENTO, VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE CORRENTOMETROS	12
4.1 MANTENIMIENTO .....	12
4.2 VERIFICACIÓN.....	16
4.2.1 Verificación en canales controlados por medio de Ecuación de Manning.	17
4.2.2 Verificación en estructuras pre-calibradas para la determinación de caudal.	20
4.2.3 Verificación en estaciones limnimétricas. ....	21
4.3 CALIBRACIÓN.....	22
5 NORMAS DE SEGURIDAD, PROTECCIÓN PERSONAL Y SALUD.....	23
6 REFERENCIAS.....	25
7 CONTROL DE CAMBIOS .....	26

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales fuentes de error en hidrología está vinculada a la variación de las características de medición de los instrumentos. La instrumentación hidrológica abarca una gran diversidad de dispositivos mecánicos, electromecánicos y electrónicos (WMO, 2011); los instrumentos mecánicos, por ejemplo, molinetes o anemómetros, suministrados por fabricantes suelen ir acompañados de una calibración con los valores de fábrica, pero la calibración de fábrica solo será válida, naturalmente, si el instrumento no resulta dañado durante su utilización y si el mantenimiento es adecuado.

En este documento se presenta una orientación para la verificación y calibración de molinetes, basado en las recomendaciones consignadas en las guías No 8, No 49, No 168 y 1044 de la Organización Meteorológica Mundial, la norma ISO 2537 de 2007, el Protocolo de Monitoreo del Agua del IDEAM y el Programa de Equipos de Medición de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Se espera contribuir a una mejor gestión de la calidad de los datos en las áreas protegidas de Parques Nacionales Naturales de Colombia que vienen implementando el aforo de caudales en el marco de su programa de monitoreo a Valores Objeto de Conservación asociados a recurso hídrico y a las respuestas de solicitudes de concesión de aguas superficiales y de su seguimiento por parte del Grupo de trámites y Evaluación Ambiental.

## 1 OBJETIVO

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

Establecer los pasos y criterios para el seguimiento de los equipos de aforo de caudal, para controlar y mantener su confiabilidad y garantizar la conformidad del producto o servicio con los requisitos determinados.

## **2 ALCANCE**

Este instructivo aplica para verificación metrológica de los equipos molinetes, utilizados por Parques Nacionales Naturales, para mediciones de caudal.


## **3 MARCO CONCEPTUAL**

### **3.1 AFORO DE CAUDAL CON MOLINETE**

El aforo es un procedimiento que consiste en realizar en campo, una serie de mediciones de factores de área en la sección transversal y de velocidad del agua y permite posteriormente calcular el caudal de un corriente, el cual esta referenciado a un nivel de agua. En otros casos, la medición entrega resultados inmediatos para ser aplicados en actividades que así lo requieren (IDEAM, 2017).

El caudal se puede medir en un tiempo dado por diferentes métodos (trazadores, volumétrico, flotadores etc) y la elección del método depende de las condiciones halladas en un emplazamiento en particular y capacidad operativa de los interesados, este documento esta está basado en la medición de la velocidad y el área de la sección transversal de aforo por medio de molinete.

### **3.2 EXACTITUD DE LAS MEDICIONES**

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018


No es posible determinar mediante mediciones los valores verdaderos de los elementos hidrológicos, ya que no es posible eliminar completamente los errores de medición. La incertidumbre de las mediciones tiene un carácter probabilístico que puede definirse como el intervalo en que se espera que esté situado el valor verdadero con una cierta probabilidad o nivel de confianza. La anchura del intervalo de confianza se denomina también franja de error (WMO, 2011).

Si las mediciones son independientes entre sí, es posible obtener una estimación de la incertidumbre de los resultados de las mediciones efectuando un mínimo de 20 a 25 observaciones y calculando la desviación típica resultante para, a continuación, determinar el nivel de confianza de los resultados.

Por lo general, no es posible aplicar este procedimiento en las mediciones hidrométricas, debido a la variación del valor que se desea medir durante el período de medición. Por ejemplo, con los molinetes, una serie numerosa de mediciones consecutivas del caudal a altura constante es claramente impracticable en condiciones reales. Por ello, es necesario efectuar una estimación de la incertidumbre examinando las diversas fuentes de error asociadas a la medición (WMO, 2011).

Otro problema a la hora de aplicar métodos estadísticos a los datos hidrológicos radica en el supuesto de que las observaciones son variables aleatorias independientes de una distribución estadística predeterminada. Esta situación rara vez se da en las mediciones hidrológicas pues el flujo fluvial es, por naturaleza, de carácter imperfectamente aleatorio y depende de los valores precedentes.

Suele aceptarse que, en ciertos aspectos, la desviación de los datos hidrológicos respecto del concepto teórico de error no es muy acentuada. Sin

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018


embargo, conviene señalar que ningún análisis estadístico puede reemplazar un conjunto de observaciones correctas, en particular porque los errores espurios y sistemáticos no pueden ser eliminados mediante ese tipo de análisis. Solo los errores aleatorios pueden ser caracterizados por medios estadísticos (WMO, 2011).

### **3.3 CORRENTÓMETRO - GENERALIDADES**

Un correntómetro es un instrumento de precisión calibrado para medir la velocidad de flujo del agua. Hay muchos tipos de correntómetros incluyendo los de rotación mecánica, los electromagnéticos, los de onda acústica y los ópticos. Todos estos instrumentos cuando tienen un apropiado mantenimiento y calibración son considerados adecuados y precisos para la medición de caudales en corrientes hídricas (WMO, 2010). Para determinar la velocidad del fluido, el correntómetro se ubica en un punto de la corriente y se cuenta el número de revoluciones del rotor durante un intervalo de tiempo específico o el tiempo requerido por el rotor para dar un número determinado de giros. La velocidad se obtiene de una tabla de calibración o ecuación establecida experimentalmente durante su calibración (ISO 2537:2007(E), 2007).

El número de revoluciones del correntómetro puede ser determinada por la detección de las señales emitidas (como pulsos eléctricos) a través de la rotación del rotor por medio del uso de un contador. La velocidad puede ser determinada a partir de lecturas directas de la rotación del elemento rotador u equipo diseñado para este propósito (ISO 2537:2007(E), 2007).

#### **3.3.1 TIPOS DE CORRENTOMETROS**

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

Los correntómetros se han clasificado generalmente dependiendo del tipo de elemento de rotación empleado, por ejemplo, los de eje vertical tipo cazoleta y los de eje horizontal tipo propela (ISO 2537:2007(E), 2007). No obstante, Cada vez en mayor medida, se tiende a sustituir los dispositivos mecánicos por otros electrónicos.

Aunque éstos son más fiables que los mecánicos, no suele ser posible repararlos sobre el terreno, por lo que han de ser sustituidos por un dispositivo de repuesto. Los instrumentos electrónicos plantean problemas de índole particular a los organismos hidrológicos cuando éstos están sustituyendo sus dispositivos electromecánicos por otros, ya que los problemas de calibración pueden ser muy diferentes. La calibración de un instrumento electrónico puede experimentar deriva por efecto de cambios de temperatura o de presión, o los sensores de estado sólido pueden desvirtuarse durante su utilización. Es esencial que los instrumentos estén diseñados para operar en las condiciones que previsiblemente se encontrarán en el lugar de observación. Algunos instrumentos disponen de dispositivos incorporados para la verificación de la calibración, y es importante hacer uso de ellos (WMO, 2011).

- **Correntómetro Tipo Cazoleta**

El rotor del correntómetro tipo cazoleta es construido con copas cónicas o paletas curvadas (figura 1) unidas a iguales intervalos alrededor del perímetro de un eje el cual rota cuando se ubica en un fluido, usualmente el rotor está montado con el eje vertical (ISO 2537:2007(E), 2007). Con los dispositivos de cazoleta se utilizan también contadores ópticos no de contacto.




	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018




Figura 1. Correntómetro de tipo paleta curvada (OTT C31).

- **Correntómetro Tipo Propela**

El correntómetro tipo propela (figura 2) es un ensamble consistente de un numero de paletas rectas o anguladas unidas a intervalos iguales alrededor de un tornillo helicoidal sobre un eje horizontal el cual rota cuando se ubica en un fluido (ISO 2537:2007(E), 2007). En ambos casos se utiliza un interruptor de contacto para generar un impulso eléctrico que indique las revoluciones del rotor (ISO, 1988a).



Figura 2. Correntómetro de tipo propela (Flowwatch JVC).

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

- **Correntómetro Electromagnético**

Un correntómetro electromagnético está basado en el principio de que un conductor (agua) moviéndose a través de un campo magnético producirá una corriente eléctrica directamente proporcional a la velocidad del movimiento (Ley de Faraday). La medición de esta corriente y la distorsión resultante en el campo magnético determina la velocidad puntual de flujo de agua (WMO, 2010). Los molinetes electromagnéticos como por ejemplo los tipo OTT MF pro son medidores de caudal magnético-inductivo de fácil manejo y mantenimiento reducido para la medición de caudales en cauces descubiertos. El cabezal sensorial electromagnético está prácticamente exento de mantenimiento (OTT Hydromet, 2016).



Figura 3. Correntómetro tipo magnético (OTT MF PRO).

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

- **Correntómetro Acústico - ADCP**

Se utiliza para medir el caudal en ríos grandes o pequeños, sin rocas grandes que permita el desplazamiento horizontal del equipo para medir el caudal (figura 4).

Los instrumentos ADCP, basados en el efecto Doppler, pueden instalarse en una embarcación en movimiento. El instrumento mide simultáneamente la velocidad y profundidad del agua y la trayectoria de la embarcación para calcular el caudal. Este método permite calcular el caudal parcial a medida que la embarcación atraviesa el río. El resultado de una medición no es suficiente para proporcionar un valor exacto del flujo/caudal; únicamente proporciona una imagen instantánea del flujo. Para conseguir un valor más exacto del caudal del río es importante calcular el promedio de varias travesías. Para calcular el caudal en un emplazamiento se recomienda efectuar como mínimo cuatro travesías (IDEAM, 2017).



Figura 4. Medidor de caudal tipo ADCP (Alvin ADCP).

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

## 4 MANTENIMIENTO, VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE CORRENTOMETROS

### 4.1 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”. Tomado de Reglamento Técnico Volumen III – Hidrología (WMO-No 49, 2006):*

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 (figura 5).



Figura 5. Piezas del molinete previas a mantenimiento antes de su uso.

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

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.

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.

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

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.

Otras recomendaciones para molinetes mecánicos, tomado de Instrucciones de Manejo OTT C2 (OTT, 2015):

Cuando el molinete esta nuevo, viene sin aceite en la camara, por esto se debe llenar el molinete con aceite especial para helices (Aceite Schaufelol propeller oil huile), antes de la primera medición.

Nota: No se tiene la misma precisión de las ecuaciones de las helices si se usa un aceite de características diferentes.

Para llenar o cambiar el aceite de hélice se debe proceder de la manera siguiente:

- Desenroscar el tornillo de cierre y extraer el eje completo del cuerpo del molinete.
- Llenar con aceite la camara aproximadamente hasta la mitad.
- Enroscar el eje completo.



## INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES

Código: AMSPNN\_IN\_22

Versión: 1

Vigente desde dd/mm/aaaa:  
28/12/2018



Cortesía SFF Iguaque.

Figura 6. Fases de desenroscado y llenado de aceite de cámara de rotación

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

El aceite llenado en el molinete puede ser utilizado para varias mediciones, si los periodos de reposo entre las mediciones no sobrepasan aproximadamente 1 semana.

Si el molinete lleva mucho tiempo sin ser utilizado es conveniente de vaciar el aceite por completo despues de la última medición, y renovarse de nuevo antes de la próxima medición

Generador de impulsos (interruptor magnético)

El sistema generador de contactos eléctricos no requiere ningún mantenimiento. Su duración de vida es por mínimo 1 millon de contactos, al menos para los molinetes tipo OTT.


En caso de un funcionamiento defectuoso del molinete se debe verificar primeramente si las pilas del contador y el contador mismo, el cable de conexión y los enchufles, están en buen estado.

Si despues de estos controles persiste el funcionamiento defectuoso es posible que el enchufe y/o el propio cable esten deteriorados; o también que el contador se encuentre afectado por un virus o desconfigurado, ante esta situación se debe enviar a revisión técnica especializada.

## **4.2 VERIFICACIÓN**

Teniendo en cuenta que en lo referente a recurso hídrico; las concesiones de agua y los permisos de vertimientos son trámites ambientales que utilizan equipos de medición que requieren verificación y calibración dada la condición crítica de los resultados que estos arrojen para la decisión de fondo que se tome y las consecuencias que esta pueda traer para el usuario externo



	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

(PNNC, 2017), por tanto se hace necesario recomendar verificaciones periódicas para comprobar si siguen funcionando sin rebasar las tolerancias previstas (WMO-No 49, 2006).

La Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés) de la cual Colombia es miembro, establece las siguientes temporalidades para la verificación y calibración de molinetes de elementos giratorios:

- Los molinetes pueden calibrarse por separado, o mediante un sistema de valoración clasificatorio. Los medidores calibrados por separado deberían ser recalibrados transcurridos tres años o 300 horas de uso, o cuando su funcionamiento suscite sospechas (WMO, 2011).


Por ejemplo, este criterio aplica para molinetes en áreas protegidas que ejecutan el componente de monitoreo de recurso hídrico en cuatro puntos de medición al menos dos veces al mes. Cada aforo en promedio toma una hora por lo que en un mes se alcanzaría a acumular 8 horas de uso y en un año 96, es decir que la calibración periódica al alcanzar las 300 horas estaría cerca de los tres años, siempre y cuando no se observe un funcionamiento sospechoso.

No obstante, las verificaciones periódicas se pueden programar cada año siguiendo entre otras recomendaciones, las siguientes:

#### **4.2.1 Verificación en canales controlados por medio de Ecuación de Manning.**

Un canal controlado es un canal diseñado para permitir el paso de caudales conocidos para las dimensiones dadas.

Una forma de calcular el flujo por canales abiertos o controlados sin usar vertedero es la fórmula de Manning. Aunque no es tan preciso como una

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

estructura hidráulica, la fórmula puede proporcionar un nivel suficiente de precisión en algunas aplicaciones, la expresión de Manning está dada por:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

*n*    *Coficiente de rugosidad*

*A*    *Área* mojada (área de la sección del flujo de agua), en  $m^2$

*R*    *El radio hidráulico*  $R: \frac{\text{Área mojada}}{\text{Perímetro Mojado}}$ , donde  $P = b + 2y$ , siendo **b** la base, y *el tirante hidráulico* **En una sección rectangular.**

*S*    *Pendiente de la línea de agua en m/m*

Se aconseja que se ubique un canal controlado rectangular como los canales de aducción de las plantas de tratamiento de aguas en acueductos veredales o municipales cercanos al área protegida.



Figura 7. Verificación precisión de molinete en un canal abierto de dimensiones constantes.

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

La mayor parte de parámetros de la ecuación se pueden medir directamente del canal. A continuación se presentan algunos valores de coeficiente de rugosidad:

Tabla 1. Algunos valores típicos del coeficiente de rugosidad  $\eta$

Tipo de estructura	Material superficie y alineamiento	$\eta$
Ríos	Aluvial y alineamiento recto	0,02 - 0,025
	Aluvial cauces con meandros	0,03 - 0,05
	Gravas (75 - 150 mm) Recto	0,03 - 0,04
	Gravas (75 - 150 mm) Con meandros	0,04 - 0,08
Canales no revestidos	Aluvial recto	0,018 - 0,025
	Roca - recto	0,025 - 0,045
Canales revestidos	Concreto	0,012 - 0,017
Canales de laboratorio	Metal, lados en PVC o vidrio	0,009 - 0,01
Alcantarillas	Concreto	0,012 - ,015
Asfalto	Liso/rugoso	0,013 - 0,016

**Tomado de (Duarte Agudelo, 2007)**

Para la determinación de la pendiente se aconseja (i) averiguar los planos de construcción del canal, (ii) calcular el gradiente hidráulico en un segmento del canal por medio de ecuación de continuidad o piezometría.

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

La diferencia entre el caudal aforado y el caudal calculado con la expresión de Manning no debería ser mayor a  $\pm 10\%$  (precisión molinete + errores de cálculo).

#### **4.2.2 Verificación en estructuras pre-calibradas para la determinación de caudal.**

Se requiere una estructura pre-calibrada o vertedero para aforo de caudales preferiblemente ubicada en un canal que permita hacer el aforo con molinete.

Este procedimiento es más preciso pero requiere conocer la ecuación de alguna de las siguientes estructuras de aforo: vertederos de pared delgada; vertederos rectangulares de cresta ancha; vertederos de perfil triangular; vertederos de cresta horizontal y umbral redondeado; vertederos planos en forma de V (figura 8),

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018



Tomado de (IMHEA, 2013)

Figura 8. Ejemplos de vertederos de sección triangular.

una vez determinado el caudal por medio de alguna de estas estructuras se debe realizar el aforo con el molinete en el canal. La diferencia porcentual entre los dos registros no deber ser superior a 10%.

#### **4.2.3 Verificación en estaciones limnimétricas.**

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

Otra forma de verificar que los caudales obtenidos a partir de un aforo con molinete están en el margen de tolerancia establecido; es por medio de una estación limnimétrica que cuente con curva de calibración nivel-caudal como las suministradas por IDEAM, con suficientes parejas de datos históricas y con una sección transversal del río que se haya mantenido sin mayores cambios en el tiempo. Para seleccionar estas estaciones limnimétrica los niveles de gestión territorial y nivel central deberán establecer las estaciones más cercanas y que cumplan con las especificaciones mencionadas, ver figura 9.

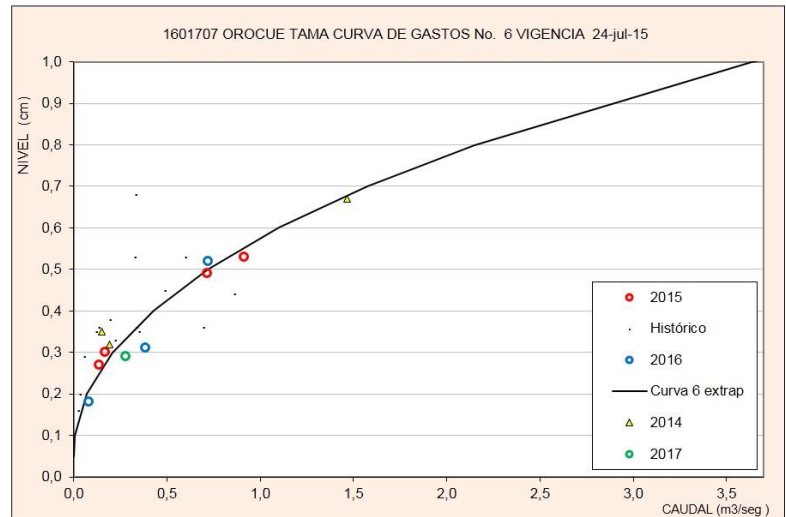



Figura 9. Ejemplo Limnimetro y curva de duración de caudales.

### 4.3 CALIBRACIÓN

La re-calibración del molinete se hace principalmente para los molinetes mecánicos con contador electrónico, es decir aquellos que son susceptibles de cambios en la rotación de la hélice. La calibración en los molinetes de inducción magnética puede experimentar deriva por efecto de cambios de

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

temperatura o de presión, por lo general no se calibran pero de ser necesario se debe cambiar el sensor.

Para cada uno de los siguientes casos se debe enviar el equipo a calibración:

- Si se ha utilizado durante 300 horas, lo cual puede darse en un solo año si su uso ha sido intensivo o cada dos o tres años.
- Umbral de  $\pm 10\%$  de diferencia entre el caudal aforado con el equipo y el caudal obtenido por uno de los métodos de verificación.
- Alarma de los dispositivos incorporados para la verificación de la calibración en equipos electromagnéticos.

La calibración de un correntómetro Nuevo y la re-calibración de viejos correntómetros deberán ser llevada a cabo en lo posible por laboratorios certificados con la norma ISO 3455.

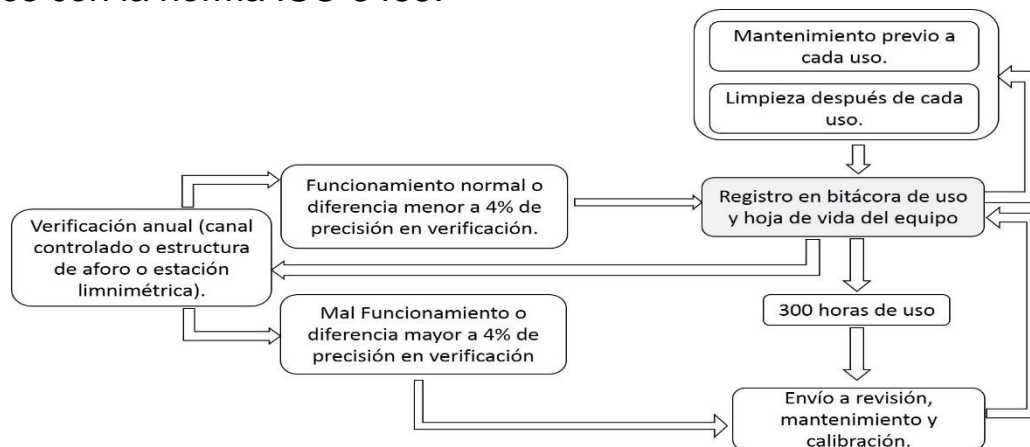


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de verificación y calibración de molinetes.

## 5 NORMAS DE SEGURIDAD, PROTECCIÓN PERSONAL Y SALUD

Según el tipo de transporte requerido y las vías de acceso al sitio de muestreo, es necesario verificar el estado del vehículo, contar con los implementos de carretera y seguridad vial, con la identificación personal


	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

(como mínimo el documento de identificación, el carné de la EPS y el carné de la ARP; es deseable portar un documento que indique el tipo de sangre) y del vehículo y con los permisos y autorizaciones relacionadas, en caso de ser necesarias.

Una información previa a tener en cuenta es el estado de orden del público de la región; en caso de tratarse de una zona de conflicto, se debe informar a la autoridad competente de la presencia del grupo de muestreo indicando el número de personas que lo conforman, el tipo de actividad a realizar, el radio de acción en el territorio, el itinerario planeado, el número del teléfono celular en el que se puede contactar y el tipo de vehículo de desplazamiento (año, marca y placas). También se pueden acopiar los datos del centro de atención médica más cercano, ambulancias, policía, grúa o los números telefónicos de las entidades que se consideren convenientes. Debe procurarse que ningún miembro del grupo se separe a ejecutar actividades a una distancia tal del resto, que le impida ser escuchado en caso de emergencia; lleve siempre a mano un pito.


Averiguar sobre las condiciones climáticas de la región, no hacer aforos en ríos crecidos ni durante ocurrencia de lluvias en la zona alta de la cuenca, si para desplazarse al lugar de muestreo se recomiendan medidas específicas de salubridad tales como evitar el ingreso a sitios que se encuentran en cuarentena por presencia de epidemias, o hacerse vacunar contra fiebre amarilla, tétanos, hepatitis B, fiebre tifoidea, entre otras, o precauciones según la presencia de animales o reptiles venenosos, para tomar las medidas respectivas. Es deseable que uno o más de los miembros del grupo tenga entrenamiento en primeros auxilios, sepa actuar en casos de contingencias y desastres, y conozca todas las precauciones y las exigencias de protección personal (Botas, línea de vida, arnés, pantalones impermeables), uno de los operarios del ejercicio debe estar pendiente de las condiciones cambiantes del río.



	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

## 6 REFERENCIAS

- Duarte Agudelo, C. (2007). *Introducción a la hidráulica de canales*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- IDEAM. (2017). *Protocolo de Monitoreo del Agua*. Bogotá: IDEAM.
- IMHEA. (2013). *Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas Andinos*. Quito: IMHEA.
- ISO 2537:2007(E). (2007). *Hydrometry - Rotating element - Current meters*. Switzerland: International Standard.
- OTT. (2015). *Instrucciones de manejo minimolinete C2*. Alemania: OTT Hydromet.
- OTT Hydromet. (2016). *Datos Técnicos OTT MF pro*. Alemania: OTT Hydromet.
- PNNC. (2017). *Programa de Equipos de Medición*. Bogotá: Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- WMO. (2010). *Manual on Stream Gauging Volumen I - Fieldwork*. Ginebra: World Meteorological Organisation.
- WMO. (2011). *WMO 168: Guía de Prácticas Hidrológicas Volumen I, Hidrología: de la Medición a la Información Hidrológica*. Ginebra: World Meteorological Organisation.
- WMO-No 49. (2006). *Reglamento Técnico Volumen III - Hidrología*. Ginebra: World Meteorological Organisation.

	<b>INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MOLINETES</b>	Código: AMSPNN_IN_22
		Versión: 1
		Vigente desde dd/mm/aaaa: 28/12/2018

## 7 CONTROL DE CAMBIOS

FECHA VERSIÓN ANTERIOR	VERSIÓN DEL PROCEDIMIENTO QUE MODIFICA	MOTIVO DE LA ACTUALIZACIÓN

APROBACIÓN		
<b>Elaboró</b>	Nombres	Juan Geovany Bernal Patiño
	Cargos	Contratista DTAN
	Fecha	16/05/2018
<b>Revisó</b>	Nombre	Adriana Margarita Rozo Melo <sup>1</sup> , Inês Sánchez <sup>2</sup>
	Cargo	Profesional Universitario <sup>1</sup> , Contratista GPM <sup>2</sup>
	Fecha:	17/09/2018
<b>Aprobó</b>	Nombre	Edna María Carolina Jarro Fajardo
	Cargo	Subdirectora de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas
	Fecha:	10/12/2018