



Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES
IDEAM

Contrato 214 de 2010

**AJUSTE DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA
DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN
RESPONDIENDO A LOS INDICADORES AMBIENTALES DE SEGUIMIENTO DEL RECURSO
HÍDRICO Y UN ESTUDIO DE REINGENIERÍA DE LA RED, EL CUAL DEBE DEFINIR LA RED
BÁSICA NACIONAL PARA EL MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LAS
NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA PARA LLEVAR A CABO SU IMPLEMENTACIÓN**

INFORME FINAL
**PROTOCOLOS Y PROCEDIMIENTOS
MONITOREO DE NIVELES Y CAUDALES**

Presentado por:

epam s.a esp

Bogotá D.C., junio de 2011

**CONTENIDO**



	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PROTOCOLO DE NIVELES	4
1.1. OBJETO Y OBJETIVOS	4
1.1.1. Objeto del monitoreo	4
1.1.2. Para qué se mide el nivel	4
1.2. ASPECTOS GENERALES DEL MONITOREO DE NIVELES	6
1.2.1. Selección del sitio: dónde medir	6
1.2.2. Hidrotopografía	6
1.3. MEDICIÓN DE NIVELES	7
1.3.1. Instrumentos	7
1.3.2. Instalación del instrumental de medición de niveles	16
1.3.3. Mantenimiento de estaciones de medición de niveles	19
1.3.4. Métodos de observación de niveles	20
1.3.5. Frecuencias y horarios de lectura	21
1.3.6. Parámetros a medir y unidades de medida	22
1.4. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE NIVELES	22
1.4.1. Registro de datos de nivel en campo	22
1.4.2. Entrada de datos al sistema	23
1.4.3. Cálculos y procesamiento de niveles	24
1.4.4. Salida de datos de niveles	24
1.4.5. Estaciones con telemetría y automáticas	24
1.5. VALIDACIÓN DE DATOS DE NIVELES: CONTROL DE CALIDAD	25
1.5.1. Posibles fallas y causas de errores en los instrumentos de lectura directa y de registro continuo de niveles	25
1.5.2. Validación de datos	27
1.6. ALMACENAMIENTO Y DIFUSIÓN	30
2. PROTOCOLO DE CAUDALES	31
2.1. OBJETO Y OBJETIVOS	31
2.1.1. Objeto del monitoreo	31
2.1.2. Para qué se mide el caudal	32
2.2. ASPECTOS GENERALES DEL MONITOREO DE CAUDALES	34
2.2.1. Selección del sitio: dónde medir	34
2.2.2. Hidrotopografía	35
2.2.3. Frecuencias de monitoreo de caudales	38
2.2.4. Parámetros a medir y unidades de medida	39
2.3. MEDICIÓN DE CAUDALES	39
2.3.1. Instrumentos	39
2.3.2. Instalaciones necesarias para realizar los aforos	45
2.3.3. Mantenimiento de instalaciones y equipos de aforo de caudal	47
2.3.4. Procedimientos para medición del caudal	47
2.4. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAUDALES	69
2.4.1. Registro de datos de campo de aforos líquidos	69
2.4.2. Entrada de datos	69
2.4.3. Cálculos y procesamiento de datos	70



Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

2.4.4. Salidas	71
2.5. VALIDACIÓN DE DATOS: CONTROL DE CALIDAD	72
2.5.1. Posibles fallas y causas de errores en los procedimientos e instrumentos de aforo	72
2.5.2. Validación de datos de caudales	72
2.6. ALMACENAMIENTO	78
2.7. DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN	78
ANEXOS	81
ANEXO 1. CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN	83
ANEXO 2. FORMATOS	90
Bibliografía	99

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

PROTOCOLO DE MONITOREO DE NIVELES Y CAUDALES DE AGUAS SUPERFICIALES

INTRODUCCIÓN

En el marco del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, los niveles y caudales de aguas superficiales son variables básicas a monitorear, junto con las aguas subterráneas, la precipitación, la evaporación, los sedimentos y la calidad del agua.

Para los fines de este documento, se entiende por Protocolo la descripción estructurada, ordenada y secuencial de los pasos necesarios para generar datos consistentes y validados sobre los niveles y caudales de un curso de agua, que pueda servir de guía general para entidades o personas que realizan esta actividad en el país. El protocolo se descompone en procedimientos técnicos, los cuales, por su nivel de detalle, son colocados en anexos o se remite al lector a textos o documentos especializados del propio IDEAM u otras fuentes.

El Protocolo ha sido elaborado con base en documentos previamente elaborados por el IDEAM, en especial la “Guía de monitoreo y seguimiento del agua” de IDEAM-INVEMAR-DANE (2004), el “Protocolo para el seguimiento y monitoreo del agua (IDEAM, 2007)”, y la “Guía y protocolos de seguimiento y monitoreo del agua”, contrato No C-0427-05 proyecto SINA II (IDEAM, 2006, Sánchez F. D.), con base en los cuales ha venido trabajando durante los últimos años. Asimismo contiene elementos tomados de las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial, de manera especial los contenidos en la Guía de Prácticas Hidrológicas (versiones 1994 y 2008).

El Protocolo abarca la generación y procesamiento de la información básica necesaria para estimar la oferta hídrica nacional, regional y local y para atender las necesidades de información del usuario para diferentes escalas temporales (horarias, diarias, mensuales y anuales) de las variables de niveles y caudales de corrientes de agua, así como de las variaciones espaciales. Procedimientos específicos para monitoreos más especializados sobre niveles y caudales y/o para procesamientos especializados de los datos para distintos fines, salen del alcance de este Protocolo.

El monitoreo y seguimiento del recurso hídrico es una función legal del IDEAM a nivel nacional, de las corporaciones autónomas regionales (CARs) a nivel regional, y de las autoridades ambientales urbanas y organismos de prevención y atención de desastres a nivel local. Estas funciones derivan de las siguientes normas, entre otras:

- El Decreto-Ley 2811 de 1974 o Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, en cuyo artículo 20 ordena organizar y mantener al día un sistema de información ambiental, con los datos físicos, económicos, sociales, legales, y en general, concernientes a los recursos naturales renovables y al medio ambiente; y en el artículo 21, como una de las especies de información a procesar y analizar la información hidrometeorológica, hidrológica, hidrogeológica y climática. De igual modo, este decreto-






Contrato No. 214 de 2010



AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

ley, aún vigente en esta materia, determina la obligación por parte de las entidades oficiales de suministrar la información de que dispongan o que se les solicite, en relación con los datos del sistema de información ambiental, y, por otro lado, la obligación de los propietarios, usuarios, concesionarios, arrendatarios y titulares de permiso de uso de recursos naturales renovables y elementos ambientales, de recopilar y suministrar, sin costo alguno, con destino al sistema de información ambiental, la información sobre materia ambiental, especialmente sobre consumo de recursos naturales y elementos ambientales.

- El artículo 277 del Decreto 1541 de 1978, reglamentario del Decreto ley 2811 de 1974, ubica la responsabilidad de la investigación y del inventario de aguas superficiales en el antiguo Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierra (HIMAT), y de las aguas subterráneas en el INGEOMINAS. Es importante anotar que, con anterioridad al HIMAT, el Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología (SCMH) había tenido esta misma función, y antes del SCMH, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el INCORA y otras entidades. Por su parte, el Decreto 1594 de 1984 establece el control de aprovechamientos y vertimientos en el antiguo INDERENA y las EMAR (hoy Corporaciones Autónomas Regionales CARs).
- La Ley 99 de 1993, crea el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y le asigna las funciones de analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación, así como el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad. También asigna a este instituto la función del seguimiento de los recursos biofísicos de la nación especialmente en lo referente a su contaminación y degradación, necesarios para la toma de decisiones de las autoridades ambientales. Esta ley crea las autoridades ambientales de nivel nacional, regional y local, encargadas del control del uso y manejo del agua, entre otros aspectos.
- El Decreto 1323 de 2007 crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), como parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), a cargo específicamente del manejo de la información sobre disponibilidad y calidad hídrica, estado actual y gestión integral del recurso hídrico, y en donde se menciona la función para las autoridades ambientales regionales y urbanas de realizar el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en el área de su jurisdicción. Adicionalmente, el Decreto 1324 de 2007 crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, como parte del SIRH.
- Otras normas relacionadas con el monitoreo del recurso hídrico son la Ley 373 de 1997, sobre ahorro y uso eficiente del agua; la Ley 715 de 2001, sobre vigilancia de los municipios, el Decreto 1276 de 1994, sobre funciones y organización de INVEMAR; el Decreto 1277 de 1994, sobre funciones y organización del IDEAM; el Decreto 1600 de 1994, sobre el Sistema Nacional Ambiental (SINA); y la Resolución 941 de 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, sobre el Subsistema de Información sobre Uso de Recursos Naturales Renovables (SIUR) y Registro Único Ambiental (RUA), entre otras.
- Finalmente, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, formulada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), establece los objetivos, estrategias y responsabilidades del monitoreo nacional del recurso hídrico, a nivel nacional, regional y local.

  <small>Libertad y Orden Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia</small>	INFORME FINAL	
<p>Contrato No. 214 de 2010</p> <p>AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN</p>		

Aunque las dos variables, niveles y caudales de las corrientes de agua, están íntimamente relacionadas, en el presente protocolo se han considerado en forma separada, por razones de procedimiento práctico.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

1. PROTOCOLO DE NIVELES

1.1. OBJETO Y OBJETIVOS

1.1.1. Objeto del monitoreo

El objeto del monitoreo es el nivel de la superficie de agua en ríos, quebradas, lagos, lagunas o embalses.

De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional¹, el nivel del agua es la “distancia vertical entre la superficie del agua de una corriente, lago, embalse (o pozo de observación de aguas subterráneas), y el cero de la escala”.

En el presente protocolo se describe la forma como se debe medir el nivel, la representatividad del sitio donde se mide, la frecuencia y hora de medición, las unidades en que se mide, la recolección de los datos y su procesamiento, validación, almacenamiento y difusión.

1.1.2. Para qué se mide el nivel

Cuando se va a iniciar un programa de monitoreo de niveles, la primera pregunta que se debe contestar es “para qué se mide”. No vale la pena gastar recursos económicos, técnicos y humanos en algo que no se sabe para qué va a servir. En principio, es importante medir el nivel de una corriente de agua con tres propósitos principales:

- Para conocer el caudal o volumen de agua que pasa por un sitio durante un período dado de tiempo, toda vez que el caudal depende del nivel (ver protocolo de caudales).
- Para conocer la amenaza que las crecidas de la corriente representan para las instalaciones o actividades humanas existentes o previstas en las proximidades del cauce, la cual puede manifestarse en forma de inundaciones, destrucción de infraestructuras, viviendas, cultivos, pastos, animales, etc.
- Para soportar programas de protección de fuentes hídricas frente a amenazas de origen antrópico, como intervención de cauces, erosión y sedimentación.



Si no existe la necesidad de conocer el caudal (porque el agua no se usa o no se va a usar, por ejemplo) o no existe un riesgo² actual o potencial ligado a las crecidas, o la corriente no está amenazada, no se justifica medir sus niveles, salvo para fines de conocimiento fundamental del país.

Dentro de este marco, el conocimiento de los niveles de una corriente o cuerpo de agua se justifica por su uso para los siguientes fines, entre otros:

- Protección de la navegación aérea, marítima y terrestre

¹ UNESCO. Glosario Hidrológico Internacional. París. 2011. <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDES.HTM>

² El riesgo resulta de la probabilidad de una amenaza (crecida en este caso) pueda afectar una actividad o instalación humana (vulnerabilidad).

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Diseño de obras civiles (alcantarillados, presas, carreteras, etc.)
- Diseño y operación de centrales hidroeléctricas
- Planificación y control de riego y drenaje en actividades como la agricultura, ganadería y silvicultura.
- Pronóstico de inundaciones y estiajes, prevención y atención de desastres naturales y estudios de riesgo.
- Control de aprovechamientos hídricos.
- Planeación municipal, departamental y nacional.
- Sector académico, investigación, programas internacionales de intercambio de datos, programas internacionales de investigación (Estudio Regional del Fenómeno El Niño, ERFEN, etc.)

Objetivos del monitoreo

La medición de niveles se enmarca dentro de las estrategias de la Política Hídrica Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico establecidos por el Gobierno Nacional³, cuyo objetivo general para el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) puede establecerse así:

“Formular y ejecutar un plan integrado de monitoreo del recurso hídrico que permita conocer la cantidad y calidad del mismo a nivel nacional, regional y local, con la participación y responsabilidad de las autoridades ambientales de estos niveles, con protocolos compartidos y bajo la coordinación de la autoridad nacional, con el fin de garantizar la calidad de la información generada”.

De acuerdo con los componentes de este objetivo general y de las líneas estratégicas definidas por el Gobierno Nacional, los objetivos específicos del PNMRH en materia de niveles pueden desglosarse así:



Objetivos a nivel nacional:

1. Actualizar, complementar, operar y mantener la red de monitoreo de la variable nivel de aguas superficiales, tomando como referencia las 41 zonas hidrográficas definidas por el IDEAM, con el fin de conocer, mediante la captura sistemática y estandarizada de información, el estado del recurso hídrico en los ambientes continental (superficial y subterráneo) y marino, y su afectación por actividades antrópicas, para soportar acciones y estrategias de protección, manejo y desarrollo del recurso.

Objetivos a nivel regional y local:

2. Homologar, consolidar y compartir los sistemas de monitoreo, seguimiento y evaluación de los niveles de aguas superficiales y su distribución espacio-temporal, en el marco de la cuenca hidrográfica, de acuerdo con prioridades fijadas en el Plan Hídrico Nacional, y con la finalidad de apoyar la planeación de proyectos de aprovechamiento y control del recurso hídrico.

³ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente. Política Nacional para la gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá. 2010.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

1.2. ASPECTOS GENERALES DEL MONITOREO DE NIVELES

1.2.1. Selección del sitio: dónde medir

La segunda pregunta que surge en un programa de monitoreo es “dónde medir”. La selección del sitio o sitios de medición de niveles depende del objetivo del monitoreo. En función de este objetivo se puede requerir una red más o menos densa, cuyos criterios de diseño pueden ser consultados en el informe “Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico”, que forma parte integral de este proyecto, para redes nacionales, regionales y locales.

Una vez definida la red, en caso de que no exista, cuando se va a instalar una estación hidrométrica, se debe definir el sitio o sección de medición, el cual debe cumplir unos requerimientos mínimos, entre los cuales son de mencionar los siguientes:



- a. La sección debe estar situada a un tramo recto de la corriente. En lo posible, la longitud del tramo tendrá un mínimo equivalente a cinco (5) veces el ancho de la sección.
- b. La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en aguas máximas, con lo cual se garantiza la medición de niveles máximos.
- c. La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme, evitándose tramos con quiebres fuertes de pendiente que desequilibran la velocidad de la corriente. Se deberá evitar áreas de aguas muertas y contracorrientes o remolinos.
- d. El lecho del río debe tener geometría regular, cauce estable y no tener obstáculos (troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.). Se debe evitar los lechos fangosos.
- e. La geología del terreno deberá facilitar la construcción de las instalaciones para los equipos de medición de niveles.

En todo caso, las condiciones del sitio deben ser tales que sean las más favorables posibles para la instalación de la estación y para su operación, factores que inciden en los costos.

1.2.2. Hidrotopografía

Una vez definido el sitio, se procede a levantar la hidrotopografía de la estación de niveles, la cual tiene por objeto documentar la topografía del cauce y georreferenciar la estación, con el fin de determinar la cota cero de la mira, tomando como base el sistema de referencia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. Para este efecto se desarrollan las siguientes actividades:

1. Se ubica el punto geodésico o de nivelación de primer orden (BM, NP) más cercano del sistema geodésico nacional del IGAC.
2. Se efectúa una nivelación de alta precisión de doble recorrido entre el BM o NP seleccionado y un punto previamente localizado en un punto seguro de la orilla del río, lo más cerca posible a la estación, arriba del nivel de aguas máximas, en un terreno estable que no sufra alteraciones, para evitar su destrucción durante eventos extremos, preferiblemente sobre una estructura permanente como un puente, una roca, etc. Este

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- punto debe materializarse mediante un mojón en concreto, con una placa metálica que indique el nombre de la estación y número.
3. La nivelación de precisión debe tener un error máximo acumulativo de $\pm 3(n)^{1/2}$ milímetros, donde n es el número de estaciones de la nivelación. Si el error es mayor, no se debe aceptar la nivelación y se la debe repetir.
 4. En distancias horizontales (X, Y), la precisión está dada por la diferencia entre las coordenadas del BM IGAC y las obtenidas del recorrido inverso estación-BM. Tal diferencia debe ser inferior a una décima de la distancia representada por un milímetro a la escala del plano de la estación hidrométrica⁴.
 5. Una vez materializado el BM de la estación y conocidas sus coordenadas por la nivelación de precisión, se deben determinar los elementos principales de la estación, a saber:
 - Nivel del agua el día de la nivelación; se debe registrar la hora de la lectura y marcar este nivel en la cinta de registro del limnógrafo, en caso de que exista (ver más adelante, sección 1.3.1, Instrumentos).
 - Nivel de la superficie de soporte del limnógrafo.
 - Nivel de la solera del pozo (en caso de instalaciones de pozo, ver sección 1.3.2).
 - Nivel del cero de mira y de los empalmes de los distintos tramos de la mira y del maxímetro.
 - Nivel del punto de referencia de las orillas izquierda y derecha de la sección de aforo.
 - Elaboración de diagramas esquemáticos de localización de la mira durante la nivelación.

Si en la estación de niveles se va a realizar mediciones o aforos de caudal, la hidrotopografía debe abarcar los demás elementos contemplados en el protocolo de caudales (ver sección 2.2.2.).

1.3. MEDICIÓN DE NIVELES

Una vez seleccionado el sitio se procede a instalar los instrumentos de medición, las instalaciones físicas de los mismos y a realizar las mediciones (operación de la estación).

1.3.1. Instrumentos

Para las mediciones del nivel de agua se utilizan dos tipos de instrumentos: los de lectura directa como la mira hidrométrica o limnómetro, el limnicontrato y el maxímetro; y los registradores, ya sean mecánicos o digitales.

1.3.1.1. Instrumentos de lectura directa

Mira hidrométrica o limnómetro. Consiste en una regla graduada dispuesta en tramos de (1) metro, que se utiliza para medir las fluctuaciones de los niveles del agua en un punto determinado de una corriente o de un cuerpo de agua (figura 1). Pueden ser construidas en

⁴ Por ejemplo, si la escala del plano es 1:1.000, un (1) mm a esta escala es 1.000 mm, o sea 100 cm, por lo cual el error en distancia horizontal X o Y no debe ser superior a $0,1 \times 100 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$.

varios materiales: hierro fundido, lámina esmaltada, o lámina pintada, cuya utilización depende de las características de la corriente y de la permanencia de la estación.

Figura 1. Mira hidrométrica (R. Atacuarí)



Fuente: IDEAM, Guía para el monitoreo y seguimiento del agua, 2004

Maxímetro. Es un dispositivo asociado a una mira limnimétrica, que permite determinar posteriormente el nivel máximo alcanzado por el agua. Hay varios tipos:

- **Maxímetro de tubo:** el agua se deposita en un conjunto de recipientes colocados dentro de un tubo con perforaciones laterales que permiten la entrada del agua, borrando una señal previamente pintada o dejando una huella (corcho) adherida a las paredes interiores del tubo. Los recipientes del máximo tienen 5 cm de altura y se construyen en vidrio, latón, tubo galvanizado o PVC, se colocan dentro de un soporte cilíndrico que se introduce en un tubo galvanizado, que a su vez es fijado mediante platinas en los extremos a una estructura estable metálica o de concreto (figura 2). Las dimensiones más usuales del tubo son de diámetro 2,5 pulgadas (6,35 cm.) y de longitud de 1,00 m. o 1,50 m.
- **Maxímetros de placa graduada** que se pinta con tiza o cal, la cual va dentro de un tubo perforado u otra estructura que admita el acceso de agua. Al subir el agua la tiza es lavada hasta el nivel máximo alcanzado por la corriente de agua, quedando de esta forma el registro de dicho nivel.
- **Otros tipos** diseñados y construidos en fibra de vidrio, por ejemplo un tubo de 1 metro de longitud, graduado en centímetros y decímetros, con cinta adhesiva que al contacto con el agua cambia de color, indicando así la altura alcanzada.

Las estaciones que poseen únicamente miras y/o máxímetros son denominadas estaciones convencionales limnimétricas (LM).

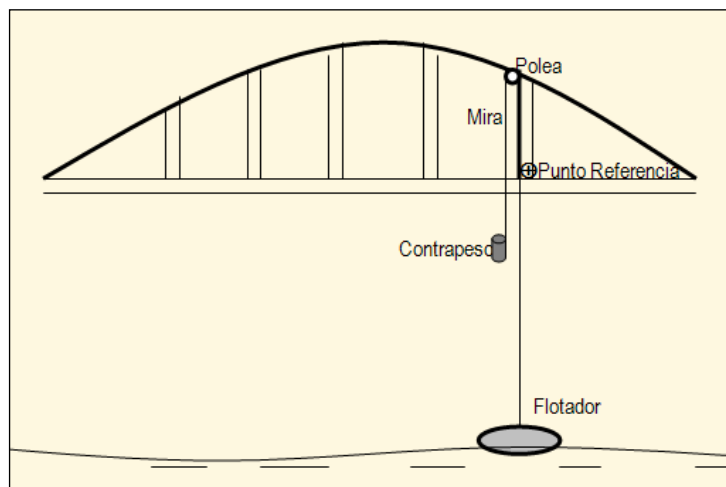
Figura 2. Fijación de un máxímetro en una placa de concreto





Fuente: IDEAM, 2007.

Limnicontrato. El limnicontrato o sonda indicadora de nivel, es un dispositivo simple constituido esencialmente por una polea, un contrapeso y un flotador unidos por un cordel o cable abscisado para facilitar la medición (figura 3). Según el nivel de agua el cable se desplaza con relación a un punto de referencia, permitiendo así obtener la lectura de nivel.

Figura 3. Esquema de un limnicontrato



Fuente: IDEAM, Sánchez F. D., 2006

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Existen varias clases de limnicontrato o sonda, siendo las más usadas la sonda luminosa o eléctrica y la sonda de presión.

- Limnicontrato tipo sonda luminosa: consiste en una cinta graduada que tiene un dispositivo al final, que al hacer contacto con el agua emite un impulso eléctrico que enciende una lámpara de señal o envía señales acústicas (figura 4).
- Sonda de presión con o sin terminal de datos: consiste una célula capacitiva de cerámica, sin aceite, que mide la presión hidrostática de la columna de agua a través de una membrana de presión que la transforma en señal eléctrica. Los valores medidos pueden ser leídos en una pantalla (display) o almacenados en un colector de datos incorporado en el cuerpo de la sonda.
- Normalmente estas sondas se colocan en la parte superior de un punto de medición y con una sencilla manipulación se desciende el cable por medio de una manivela.

Figura 4. Sonda eléctrica



Fuente: www.metaldrillingsac.com

1.3.1.2. Instrumentos registradores

Limnógrafos mecánicos. Son instrumentos que registran continuamente los niveles de agua en el transcurso del tiempo. Están conformados fundamentalmente por tres dispositivos: el primero corresponde al elemento sensible, que puede ser un flotador y contrapeso o un manómetro; el segundo es el sistema que traduce a escala y registra los niveles del agua (eje helicoidal, poleas de escala y mecanismo de registro); y el tercero proporciona una escala de tiempo, basado en un mecanismo de relojería, el cual es alimentado mecánicamente o por medio cuerda o por baterías (figuras 5 y 6). El mecanismo está instalado en una caja hermética y resistente que protege el conjunto contra las inclemencias del clima y la intervención de personas no autorizadas.

- En los limnógrafos de flotador, el contacto con la superficie del agua se establece por medio del flotador, ligado a través de un cable provisto de contrapeso que acciona una polea. Cuando la instalación es directa a la corriente del agua o cuando hay pozo aquietador, el

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

flotador se encuentra dentro del tubo cono o dentro de la estructura del pozo, conectado, en este último caso, hidráulicamente a la corriente por el principio de los vasos comunicantes, a través de tuberías de aguas máximas, medias y mínimas.

- En el equipo manométrico, la presión del agua se transmite a través de una tubería que contiene gas el cual a su vez se acopla a un mecanismo de inscripción. Los hay de dos tipos: estáticos y de burbuja.

El limnógrafo manométrico estático funciona con base en aire y dispone de una bomba manual que sirve para reponer el aire que se pierde por fugas en la tubería. Al ser inyectado el aire a la tubería pasa por un medio desecante, como ácido sulfúrico. La parte terminal de la tubería que se encuentra en contacto con la corriente, se halla abierta hacia abajo en forma de campana o bien cerrado con una colchoneta o vejiga compresible.



El limnógrafo manométrico de burbuja es alimentado a presión con un gas, generalmente Nitrógeno, que burbujea a través de la tubería, asegurándose así que permanezca libre de obstrucciones. Para asegurar el funcionamiento de este tipo de limnógrafo, se necesita un cilindro del gas especificado por el fabricante de los equipos.

Figura 5. Limnógrafo mecánico río Ermi (Charcolargo)



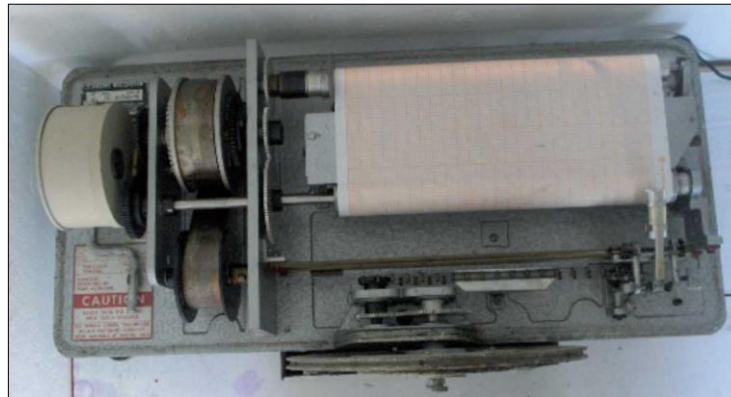
Fuente: Sánchez F. D., 2006

Entre los mecanismos de registro gráfico utilizados para limnógrafos de flotador o de manómetro se encuentran los de tambor y los de banda. Los primeros tienen una duración de registro limitada por el tamaño del tambor y se fabrican habitualmente para una duración de 1 a 30 días. Los limnógrafos de banda tienen una cuerda o batería de larga duración mayor a 90 días y no exigen, dentro de este plazo, una fecha fija de inspección y cambio de papel. En cada inspección se recorta la parte registrada de la banda que transita de una bobina de alimentación a otra de recepción. En el limnógrafo de banda el avance del papel es generalmente del orden de 2 mm por hora, y la altura útil de registro de 250 mm, pero muchos modelos de éstos instrumentos contemplan la posibilidad de cambiar la velocidad de avance y la escala de

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

medición por intercambio de engranajes y poleas. Los dos tipos de limnógrafo cuentan con un dispositivo que amplía indefinidamente el rango de registro de niveles y que se conoce con el nombre de inversor de escala, mediante el cual el registro no se detiene cuando llega al tope de la escala, sino que continúa registrando en sentido inverso.

Figura 6. Composición de un limnógrafo mecánico



Fuente: IDEAM, 2007.



La inscripción se realiza con lápiz o tinta sobre el papel corriente o por medio de un estilete sobre papel encerado, observando que los lápices o minas de grafito proporcionan un registro seguro pero poco nítido, por lo que generalmente se prefiere la inscripción con tinta. En los limnógrafos de tambor, de duración limitada, se usa frecuentemente una plumilla en forma de tetraedro que se recarga en cada inspección; en cambio, los limnógrafos de larga duración vienen provistos de una plumilla de tipo capilar unida a un depósito de tinta.

En ocasiones, el sistema de inscripción basado en tinta se convierte en fuente de perturbaciones por fallas de la plumilla; en estos casos se opta por un sistema de inscripción basado en un estilete que registra por presión sobre papel encerado de mayor costo, exigiendo además manipulación cuidadosa debido a que por su sensibilidad se originan registros ante cualquier presión que se haga sobre el mismo.

El limnógrafo digital. Se utiliza cuando se necesita información continua e inmediata sobre los niveles de una corriente, por requerimientos de operación de obras hidráulicas o por alarma ante crecidas. Se acopla a los instrumentos registradores un sistema automático (figura 7) que consta de un decodificador, un panel de sensores y una antena con alimentación de una batería, que es recargada a través de un panel solar. Los datos colectados son transmitidos vía satélite, radio o teléfono a la estación central para su procesamiento y almacenamiento.

Registadores automáticos de nivel (RAN)

Son equipos automáticos con funcionamiento digital, conformados por un sensor de nivel (mecánico, acústico, de presión o electrónico), un cable que lleva la señal a un transformador de señales análogas en impulsos digitales, los cuales se almacenan en una memoria digital (plataforma colectora de datos o DCP). La información almacenada en un período determinado,

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

por ejemplo un mes, se transfiere mediante una interfase a un computador portátil y posteriormente se procesa, almacena y analiza utilizando un software especializado, diseñado por la casa fabricante del sistema.

En caso de requerirse información en tiempo real, el esquema anterior se adecua con un sistema de telecomunicaciones (vía radio, teléfono, celular, o satelital), que permite llevar los datos instantáneamente a la estación central de recepción, para su uso inmediato, o en términos de unas horas; por ejemplo, en alertas hidrológicas (prevención de desastres), operación de embalses, administración de acueductos o sistemas de riego y/o drenaje, así mismo, en labores de seguimiento y control que hacen parte de la gestión ambiental a cargo de las autoridades ambientales. A los equipos antiguos se les puede modificar el sistema de registro mecánico, por un sistema digital (RAN) que acumula los registros en memoria (datalogger), para ser recogidos periódicamente con un computador portátil, o si se prefiere, para transmitirlos por un sistema telemétrico a la estación central de recepción (figura 8).

Figura 7. Limnógrafo digital, río Sogamoso, estación Puente La Paz



Registadores de radar

Estos registradores están dotados de sensores de radar de microondas, basados en la propagación de ondas electromagnéticas que no son afectadas por la temperatura ni por los cambios en la densidad del agua debidos a contaminación. Una antena dotada de un oscilador de estado sólido enfoca sobre la superficie del agua una señal con una frecuencia de barrido de 10 a 11 GHz. Esta onda se refleja sobre la antena, de tal manera que la diferencia de

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

frecuencias entre las señales de transmisión y de retorno es proporcional al tiempo empleado por las mismas, lo que permite calcular la distancia (figura 9):

Figura 8. Estación en Nariño - río Magdalena compuesta por: un Registrador Automático de Niveles (RAN), que guarda en su memoria los datos, un pluviómetro, una antena de comunicación y un panel solar o batería que soporta con energía al sistema de comunicación



Fuente: IDEAM, 2007.

$$d=v*dt^2$$

Donde:

$$v=c/e$$

d: distancia del emisor al líquido

v: señal de velocidad

dt: tiempo de recorrido

c: velocidad de la luz

e: constante dieléctrica

Dado que la constante dieléctrica de los vapores sobre el líquido es casi la unidad, la variación de la velocidad es despreciable, de modo que la señal de velocidad de radar es más constante que la de ultrasonidos.

La fórmula anterior indica que la velocidad de la microonda a través del aire (u otro gas o vapor)

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

es igual a la velocidad de la luz dividida por la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del gas o vapor. Para la georreferenciación de la distancia entre el radar y el nivel del agua se utiliza un punto de referencia al cual se le ha calculado la cota según el sistema IGAC.

Junto con el equipo registrador de nivel mediante radar, estas estaciones están dotadas de un sistema de almacenamiento de la información (datalogger), y tienen la capacidad de transmitir la información almacenada por medios de transmisión remota tales como conexiones satelitales. En caso de que no haya transmisión, la información almacenada es bajada a un computador o USB durante las visitas de inspección.

Figura 9. Estación con radar y sistema de transmisión satelital



Fuente: IDEAM, 2011

Otros tipos de sensores de nivel

Además de los sensores de radar existen en el mercado sensores ultrasónicos de nivel sin contacto con el agua, con precisiones del orden del 1%, y sensores de presión (sumergidos en el fondo), dotados de un transductor que mide la presión de la columna de agua, con base en la medición de la diferencia en la resistencia eléctrica (en voltaje) de un material sujeto y no sujeto a presión.

1.3.1.3. Resumen de las estaciones según instrumentos

En función de los instrumentos de medición, almacenamiento y transmisión de niveles, las estaciones hidrométricas se pueden subdividir en cuatro tipos (ver tabla 1):

- *Estaciones limnimétricas, de lectura directa (LM).* Estaciones donde un observador realiza lecturas diarias de nivel en un limnómetro o mira, y los registra de manera manual en un formato a horas preestablecidas. Dichas anotaciones son posteriormente digitadas y almacenadas en un sistema de información. Todas las estaciones en donde se monitoree el

- nivel del río deben tener como mínimo un limnómetro (debidamente determinada su cota cero) dado que se constituye en el patrón que ayuda a la calibración y validación de las lecturas de cualquier otro instrumento que tenga la estación para medir también el nivel.
- *Estaciones limnigráficas, de registro continuo convencionales o mecánicas (LG).* Estaciones donde se genera un registro continuo del nivel, dibujado en papel, como es el caso de los limnógrafos. Aunque el dato queda registrado en forma continua, éste se evalúa a nivel horario y digitalizado en el sistema de información, y a través de procesamientos se generan los diferentes niveles de agregación de escalas temporales diarias, mensuales u otras, quedando igualmente almacenadas en el sistema. Este tipo de estaciones se instalan de preferencia en sitios donde se presente alta variabilidad de los niveles en períodos de tiempo muy corto (por ejemplo crecientes súbitas en horas).
 - *Estaciones de registro continuo digital (LGD).* En éstas el registro se lleva a cabo mediante sensores de tipo radar, ultrasónico, de presión y/o registrador automático de nivel, que luego es almacenado en un datalogger (memoria digital). Estas estaciones pueden leer y almacenar la información de acuerdo a lo programado (minutal, horario, etc.). Tanto en éstas como en las anteriores, la recolección de los datos se realiza durante las visitas de inspección u operación, por lo cual la información está disponible con un cierto desfase, en ciertos casos debido al traslado de los datos y en otros por el proceso de digitalización y evaluación de la información contenida en los rollos de papel de los registradores mecánicos. Estas estaciones cuentan con el dato del observador y el dato del registrador.
 - *Estaciones de registro continuo con plataforma satelital (LGDS).* Éstas constan de un datalogger y un sistema de transmisión de datos satelitalmente en la escala de tiempo que se le programe. Para ello están dotadas de un mecanismo que permite transmitir los datos desde el datalogger a una estación terrena, mediante un software de transmisión, ya sea en forma gráfica y/o numérica. Son estaciones especialmente útiles para fines de seguimiento y pronóstico de eventos extremos.

Tabla 1. Instrumentos empleados para la medición, almacenamiento y transmisión de datos de la variable niveles en las estaciones hidrológicas



Equipo	LM	LG	LGD	LGDS
Limnómetro	X			
Limnógrafo	X	X		
Sensores o RAN	X		X	X
Datalogger (DCP)	X		X	X
Plataforma de transmisión	X			X

1.3.2. Instalación del instrumental de medición de niveles

1.3.2.1. Instalaciones para limnómetros, máxímetros y limnicontactos

La instalación de las miras se realiza teniendo en cuenta los siguientes requerimientos técnicos:

- Buena fijación: garantiza que no se produzcan movimientos verticales de las miras, para lo cual se deben escoger sitios estables como rocas, pilas de puentes, muelles, u otras estructuras resistentes.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- En el caso que sea imposible encontrar una estructura estable, es recomendable fijar los limnímetros en rieles, listones de madera, perfiles de acero, o anclarlas en muros de concreto construidos para tal fin. Las miras se acoplan a listones de madera empotrados en concreto o atornillados a perfiles metálicos (T, U, I, etc.).
- Fácil operación: las miras se deben colocar de tal forma que se puedan leer con facilidad y precisión.
- Referenciación: el plano cero de la mira debe estar referenciado a un (BM) que en lo posible esté ligado a la red de nivelación del IGAC, según lo indicado en la sección 1.2.2, Hidrotopografía.
- Las miras hidrométricas directas se instalan sobre la orilla próxima al sector más profundo del cauce, cuidando que la cota cero quede 0,5 metros por debajo del fondo del cauce para ríos pequeños, y 0,5 metros por debajo del nivel de aguas mínimas, en ríos grandes. El extremo superior del limnímetro debe sobrepasar por lo menos en un metro el nivel máximo de la creciente posible o la registrada históricamente según huellas y/o información de los habitantes de la región. Además deben quedar perfectamente empalmados todos los tramos que se tengan.
- De acuerdo con la forma del talud o estructura donde se vaya a instalar las miras, éstas pueden ser verticales o inclinadas. En este último caso es necesario conocer el ángulo de inclinación para poder transformar la distancia inclinada en vertical.
- El máxímetro se instala generalmente a continuación del penúltimo metro de mira, y se deben seguir los mismos requerimientos técnicos para garantizar una buena fijación y comodidad para realizar las lecturas con exactitud. Debe ligarse topográficamente al mismo punto de referencia de las miras y el cero (0) del máxímetro debe coincidir con un valor del limnímetro que sea múltiplo de 0, es decir, 3,50, 4,00, 4,30, 4,70, 5,20, etc.
- La instalación del limnicontacto se hace generalmente sobre barandas de puentes, en lugares que permitan medir toda la gama de variación de niveles. La parte fija de esta instalación es el punto de referencia y los demás elementos el observador los instala en el momento de la medida. El sitio elegido para el contacto del flotador con el agua debe estar alejado de la línea de velocidades máximas, para evitar la inclinación (ángulo) del cable por el arrastre del flotador.

1.3.2.2. Instalaciones para el limnígrafo

Para el correcto funcionamiento del limnígrafo es necesaria la instalación de estructuras en la orilla más cercana a la profundidad máxima del cauce, para evitar que el elemento sensible (flotador o sensor automático) quede en seco durante los periodos de estiaje. La instalación limnigráfica debe estar siempre acompañada de un sistema de miras para su control y calibración. Existen tres categorías o tipos principales de instalaciones limnigráficas: de tubo, de pozo y neumáticos.

Instalaciones de tubería directa: se instalan directamente en el cauce del río sobre paredes verticales de roca, concreto o ladrillo, protegidos contra la fuerza de la corriente mediante una aleta construida en concreto dentro del cauce (figura 10).

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Instalaciones de pozo: se instalan cuando las orillas son bajas e inclinadas, constituidas por materiales fácilmente excavables. El extremo superior del pozo debe quedar no menos de 1 m por encima del nivel máximo posible de las crecidas (figura 11).

Figura 10. Instalación de tubos conductores al agua del río



Fuente: Romero H., en IDEAM, 2007.

Figura 11. Instalación de pozo



Fuente: Romero H., en IDEAM, 2007.

Neumáticos: se construyen para gamas de variación de niveles muy grandes en condiciones que hacen muy difícil o costosa cualquier otra instalación. Consta de una caseta para albergar los instrumentos y un tubo de conexión entre el registrador y la corriente fluvial. En el extremo, que hace contacto con el río, se empotra el tubo en un bloque de concreto que descansa directamente en el lecho, posicionado acorde con el nivel de aguas mínimas para no perder registros.

Estaciones automáticas. Para la instalación de estos tipos de estaciones, así como de sus mecanismos de transmisión, se deben seguir los manuales del fabricante (figura 12).

Figura 12. Imagen de una estación hidrológica con transmisión automática y satelital





Fuente: IDEAM, 2007.

1.3.3. Mantenimiento de estaciones de medición de niveles

1.3.3.1. Mantenimiento de miras, maxímetros y limnicon tactos.

Para mantener en funcionamiento una instalación limnimétrica se debe realizar las siguientes actividades:

- Visitar la estación periódicamente para revisar el estado de la instalación, la mira y el maxímetro, la operación por parte del observador y la continuidad y calidad de los datos.
- Verificar la posición de la cota cero y de los empalmes entre los diferentes tramos de limnómetro instalados en la estación.
- Cambiar los tramos que se encuentren averiados especialmente cuando la pintura o esmalte del tramo se encuentren borrosos o ilegibles.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Revisar los numeradores que identifican los diferentes tramos de la estación.
- Hacerle mantenimiento a los recipientes de los máxímetros para que las lecturas que se puedan obtener de éstos a través de las huellas que dejan las crecientes sean representativas. Después de una crecida se debe lavar el tubo y los vasos para evacuar el sedimento depositado. En el caso de tiza la placa se remarca; si se trata de cinta adhesiva ésta se cambia; y en los de huella (corcho), se lavan y se aplica la sustancia adhesiva del corcho.
- Para el buen funcionamiento y duración de los limnicondómetros, es importante limpiar el cable o la cinta graduada, después de cada medición. La revisión de los contactos eléctricos antes de cada medida es determinante para la confiabilidad de las mediciones.

1.3.3.2. Mantenimiento de estaciones registradoras.

Limnógrafo. Siendo el limnógrafo un instrumento registrador, las intervenciones sobre él se limitan a:

- Servicio rutinario de verificar el buen funcionamiento y ajustes de calibración en caso de necesidad. El inspector de estaciones hidrométricas se familiariza y debe llevar siempre consigo las herramientas, repuestos y otros materiales necesarios para la operación y buen mantenimiento de los mismos.
- Los operarios deben tener buen conocimiento sobre la estructura y conformación de las partes del equipo y sobre el funcionamiento y relación entre esas partes. Adicionalmente deben realizar las rutinas de operación y mantenimiento preventivo, que incluyen el cambio de la gráfica, dotación de tinta, revisión de plumilla, limpieza y lubricación general, revisión y relevo del soporte de energía, revisión del funcionamiento y calibración de las escalas de nivel y tiempo.
- Otras operaciones de mantenimiento consignadas en los manuales de operación de cada equipo entregados por el fabricante, de acuerdo con su marca y modelo.

Limnógrafos digitales, RAN y radar. El mantenimiento de las estructuras debe seguir los mismos procedimientos de las estaciones limnográficas. Para el mantenimiento de los equipos se debe seguir las instrucciones de los manuales de operación suministrados por el fabricante.

1.3.4. Métodos de observación de niveles

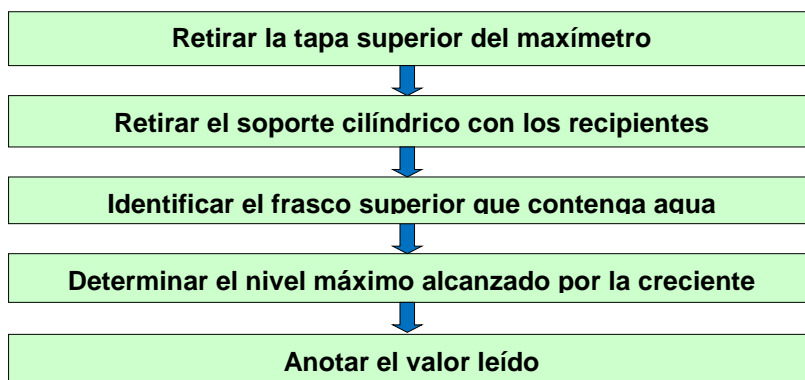
Limnímetros. La información de niveles se puede obtener en forma sistemática de una manera relativamente fácil en corrientes y cuerpos de agua (embalses, lagunas), mediante la observación y lectura directa de la mira hidrométrica o limnómetro a las horas y días establecidas.

Maxímetros. La operación de dicho instrumento se basa únicamente en hacer una inspección después de una creciente. Se retira la tapa superior del máxímetro y se saca el soporte cilíndrico con los recipientes. Se identifica el frasco superior que contenga agua y, en concordancia con la cota del plano cero del máxímetro, se determina el nivel máximo logrado por la creciente (ver procedimiento en figura 13).

Limnógrafos. La evaluación de las gráficas registradoras de los limnógrafos es una de las principales fuentes de datos de nivel. Los pasos para procesar una gráfica se describen en forma detallada en la Guía para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM (2007), que se puede bajar de la página web del IDEAM.

Limnógrafos digitales. El dato colectado es transmitido al satélite a intervalos de tiempo previamente programados, según la frecuencia con que se necesite la información, y éste lo envía a una plataforma central de recepción instalada convenientemente en oficinas. Los datos recibidos se pueden consultar, graficar o hacer análisis estadístico, de manera instantánea para su aplicación en diferentes tareas.

Figura 13. Procedimiento para la lectura del maxímetro





Registro automático de niveles RAN y de estaciones de radar. Los datos digitales del RAN se almacenan en una plataforma colectora de datos (DCP), de donde pueden ser bajados a un computador portátil y almacenados o transmitidos a la bases de datos central. También pueden ser transmitidos vía telefónica, celular, radio o satélite a la estación central de recepción, donde son procesados y almacenados.

1.3.5. Frecuencias y horarios de lectura

Frecuencia de medición de niveles

La lectura de niveles en limnómetros se hace de forma diaria, realizando dos lecturas, a las 6 a.m. y 6 p.m. Hora Local Colombiana (HCL) y lecturas extras si ocurren crecientes. Las lecturas se deben hacer a estas horas por estándares internacionales (OMM), para que la información sea comparable y homologable.

Los limnógrafos registran de manera continua los niveles mediante un mecanismo de registro gráfico que puede ser de tambor o de banda, y dichas gráficas permiten evaluar los niveles horariamente. Se resalta la importancia de realizar el mantenimiento programático de este tipo de instrumento como el cambio de papel de registro gráfico (ver sección 1.3.1.2).

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

De igual manera, las estaciones con Registradores Automáticos de Nivel (RAN) y sensores radar, registran el nivel de manera continua, almacenando los registros en la plataforma colectora de datos (DCP), y pudiéndolos transmitir posteriormente según las necesidades. El tiempo de lectura, almacenamiento y transmisión son programados de acuerdo a lo que se establezca (ver sección 1.3.1.2).

Frecuencia de recolección o de transmisión de los datos de niveles de campo a oficina

La frecuencia de recolección o transmisión del dato de campo a oficina está en relación con el objetivo de la red de monitoreo:

- Para los fines de la red nacional, la frecuencia de transmisión puede ser la misma de inspección, durante la cual se recogen las libretas de lectura de niveles diarios.
- En los casos de redes regionales o locales con otros fines, la frecuencia de transmisión puede ser diferente:
 - Para proyectos específicos como operación de embalses o control de concesión de aguas, la transmisión debiera ser diaria, como mínimo.
 - En todo caso, en redes locales, la frecuencia la define el usuario o propietario de la estación.
- En estaciones utilizadas para fines de pronóstico, la transmisión debe ser como mínimo diaria. Las estaciones automáticas satelitales con limnógrafo digital y/o RAN pueden transmitir a un satélite de acuerdo con la programación que se establezca, y éste envía los datos de niveles a la estación central de recepción, por lo cual son muy útiles para fines de pronóstico.

Previo el envío de los datos a la oficina central de la entidad, los mismos deben ser objeto de un control de calidad por parte de la entidad involucrada, tal como se describe más adelante, en la sección 1.5.

1.3.6. Parámetros a medir y unidades de medida

El *parámetro* a medir en el monitoreo de niveles es:

- Nivel del agua a horas predeterminadas del día.



Unidades de medida. Los niveles se miden y/o estiman, así:

- Nivel: en metros (con dos decimales), centímetros, o altitud (metros sobre el nivel del mar).

1.4. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE NIVELES

1.4.1. Registro de datos de nivel en campo

El registro de los datos en campo se debe hacer en los formatos de campo normalizados por la entidad, por ejemplo ver Anexo 2 formatos tipo 1 y 2. En el caso del formato 1, es la libreta sobre la cual los observadores consignan las lecturas del limnómetro, y el tipo 2 es el que utiliza

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

el operario para transcribir los datos en cada una de las visitas. En algunos casos el tipo 2 también es diligenciado directamente por el observador y enviado por correo. Un aspecto a tener en cuenta es que el tipo 1 debe permanecer en poder del observador (esta libreta sólo se retira anualmente y hace parte del archivo físico de la estación) para asegurar que los registros no se pierdan en las etapas de remisión o transmisión de los datos.

Para consignar los datos de evaluación del limnógrafo se tienen formatos como el tipo 3 del Anexo 2, el cual contiene aspectos tales como la fecha (mes, año), el código, la categoría y el nombre de la estación, el nombre de la corriente o río.

En el caso de registros automáticos de datos, éstos son leídos a través de computador portátil o fijo, ubicado en el sitio de recolección. Los avances recientes que minimizan errores en el proceso de datos (lectores ópticos y computadoras portátiles) permiten la entrada directa de las observaciones en la memoria de la computadora y facilitan un control automático de la calidad de los datos.

En casos de estaciones de propiedad de autoridades ambientales regionales u otros organismos, éstas podrán adoptar estos formularios o similares, pero siempre guardando los criterios mencionados anteriormente.

De lo anterior se desprende que los datos de niveles de un río pueden provenir de:



- Lecturas directas de las miras o limnómetros, realizadas normalmente a las 6:00 y a las 18:00 horas de cada día. En períodos de crecidas se realizan observaciones adicionales al día, que permiten reconstruir, así sea en forma suavizada, el hidrograma de la crecida.
- Lecturas directas de los máxímetros, los cuales leen el valor de la crecida máxima presentada en un período.
- Gráficas registradoras de los limnógrafos, que proveen un registro continuo (horario) del nivel del río.
- Estaciones automáticas, que también proveen registros continuos (minuto) y que pueden ser recibidos satelitalmente.

Las libretas de campo con las lecturas de niveles diarios, así como las gráficas de limnógrafo y/o los registros almacenados en datalogger de las estaciones automáticas (cuando no son transmitidos vía satélite o teléfono), son recogidos durante la inspección que se realiza con la periodicidad previamente definida (ver sección 1.3.5).

1.4.2. Entrada de datos al sistema

Para la captura y procesamiento de la información de niveles en el sistema de información de la entidad, se utiliza un programa de computador, cuyas características dependen del sistema utilizado en la entidad.

El ingreso de los datos de nivel al sistema de almacenamiento se puede hacer por los mismos inspectores de campo encargados de recoger la información en terreno, quienes realizan el primer control de calidad, y a través de los siguientes pasos:

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Grabar los datos de identificación de la estación, año y mes a procesar.
- Grabar el tipo de instrumento (limnógrafo, mira, cauce seco y/o datos estimados)
- Grabar la información horaria previamente depurada en la libreta de niveles (ver formatos tipo 1, 2 y 3 en Anexo 2). La estructura que tiene el IDEAM actualmente está diseñada para que los datos de nivel se digiten en centímetros con números enteros.

1.4.3. Cálculos y procesamiento de niveles

- Nivel medio diario. Una vez realizado el control de calidad de los datos, tal como se indica en la sección 1.5, de los niveles horarios estandarizados de una estación, se deben calcular los valores medios diarios de los niveles mediante el promedio aritmético de las dos (con las adicionales si existen crecientes) lecturas de mira, si la estación no tiene registrador, o de los 24 valores horarios extraídos de la gráfica del limnógrafo o de los registros del RAN.
- Nivel medio mensual: promedio de los niveles medios diarios del mes.
- Nivel máximo mensual: nivel máximo del mes, extraído de los horarios.
- Nivel mínimo mensual: nivel mínimo del mes, extraído de los horarios.

1.4.4. Salida de datos de niveles

Dentro de los datos de salida se destacan los siguientes:



- Relación de información capturada: información grabada en los archivos de datos horarios para cada estación/año/mes.
- Informe de niveles horarios. Valores de los niveles de la estación que no tienen ningún proceso más que el análisis de su calidad. Es a partir de éstos que se extraen los valores máximos y mínimo instantáneo de toda la serie o del período que se desee.
- Informes de valores agregados, producto del procesamiento de los datos horarios:
 - Nivel medio diario
 - Nivel medio mensual
 - Nivel máximo mensual
 - Nivel mínimo mensual.
- Adicionalmente se pueden tener datos a escalas temporales como la anual y la multianual.

En casos de estaciones de propiedad de autoridades ambientales regionales u otros organismos, éstas podrán adoptar formularios de salida o similares, pero siempre guardando los criterios señalados anteriormente.

1.4.5. Estaciones con telemetría y automáticas

1.4.5.1. Estaciones manuales que utilizan la telemetría

En algunas estaciones los datos son recolectados manualmente, pero son transferidos por telemetría, siendo los sistemas más sencillos de teletransmisión el teléfono, el télex y las conexiones radiales. Dicha recolección de datos semiautomática es usada con frecuencia en sistemas de proceso en tiempo real y cuasi real. Se utilizan especialmente en las estaciones de

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

transmisión diaria de la red que alimenta el sistema de pronósticos y alertas, siendo el teléfono el medio más usado. En tales casos (uso de los datos para pronósticos y alertas), estos sistemas requieren (OMM, 1994-2008):

- Suficiente capacidad en el centro de proceso de datos como para poder recibir los niveles pico de entrada de mensajes y la disponibilidad de terminales en línea por donde se pueda ingresar manualmente la información a la computadora.
- Un programa de ingreso de datos que permita el ingreso de conjuntos aleatorios de datos observados en distintos lugares, y el uso de estos valores para actualizar los respectivos archivos de series de tiempo.
- Hoy en día existen técnicas que permiten que el observador codifique la información en un formato compatible con la computadora, que pueda ser recibido y procesado automáticamente en la oficina central. Este método utiliza un teclado pequeño parecido a una calculadora de bolsillo. La transmisión se realiza por teléfono o por radio y puede incluir conexiones vía satélite. Estas unidades son relativamente baratas (incluido el transmisor de radio) y eliminan la necesidad de tener operaciones manuales centralizadas.

1.4.5.2. Estaciones automáticas

Como se dijo anteriormente, se trata de estaciones equipadas con sensores automáticos de niveles, desde donde se pueden grabar datos en medios compatibles con la computadora y/o transmitirlos vía satélite a un centro de recolección de datos.

Los sensores se dividen en dos grupos (OMM, 1994-2008): los que proveen señales analógicas y los que producen salidas digitales (limnógrafos con datalogger). Las señales analógicas generalmente deben ser convertidas en formatos digitales para cualquier operación posterior de grabación en datalogger y transmisión por satélite, trátense de estaciones de la red nacional de referencia, o de estaciones utilizadas para fines de pronóstico y alertas. Muchos sensores producen señales que necesitan una conversión de datos a unidades estándar para su análisis. Los datos registrados *in situ* en general, no son convertidos; esto se hace en el centro de procesamiento. Existen dos bases de tiempo para la recolección de datos: la frecuencia del muestreo y la frecuencia de la grabación de datos. En el caso de las lecturas de niveles, las dos bases de tiempo son idénticas. Los procesos de entrada de datos y de actualización deben incluir un grado elemental de validación de datos, por ejemplo el control de los intervalos de variación, o de valores repetitivos indicadores de mal funcionamiento del sensor.

La figura 14 muestra el flujograma general del procesamiento.

1.5. VALIDACIÓN DE DATOS DE NIVELES: CONTROL DE CALIDAD

1.5.1. Posibles fallas y causas de errores en los instrumentos de lectura directa y de registro continuo de niveles

La tabla 2 muestra una relación de las fallas y/o errores más frecuentes en la instalación, operación y mantenimiento de los limnómetros y limnógrafos, los cuales inciden en la calidad del dato final de niveles, por lo cual, el primer control de calidad debe ser evitar dichos errores. Es

así como el control de la calidad del dato debe realizarse desde la fase de selección del sitio e instalación de la estación, hasta la operación y mantenimiento de los equipos.

Figura 14. Flujoograma general del procesamiento básico de la información de niveles

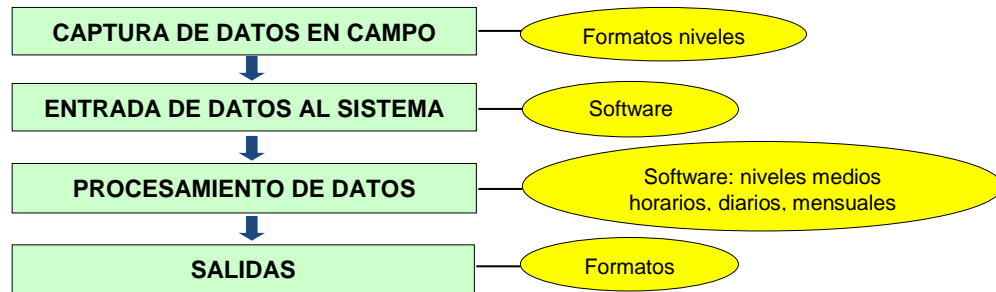




Tabla 2. Errores más frecuentes en la instalación, operación y mantenimiento de estaciones hidrométricas

Errores de instalación del limnómetro y limnógrafo	Errores de operación del limnómetro y del limnógrafo	Errores de mantenimiento del limnómetro y del limnógrafo
<ul style="list-style-type: none"> • Sección inestable. • Instrumentos desnivelados. • Difícil acceso. • Déficit de observadores. • La estación no es representativa de la corriente. • Soportes sin firmeza 	<ul style="list-style-type: none"> • Error de paralaje en lecturas de miras. • Limnómetro y/o limnógrafo sin cota cero. • Limnómetro leído en posición no vertical sin la corrección debida. • Lecturas a deshoras. Por ejemplo, para el limnómetro no hacerlas a las 06:00 y 18:00. • Reloj desincronizado. • Superposición de registros. • Lecturas mal anotadas. (Por ejemplo, 5 en lugar de 0.5; 10, en lugar de 10.0). • Anotaciones ilegibles o dudosas. • Meses con número diferente de días en la libreta. • Gráficas sin identificar y sin horas de puesta y retirada. • Gráfica mal puesta: no se ajusta a la pestaña, o soplada. • Gráficas mal cortadas (registros con pendiente, cero desplazado) y/o de mala calidad. • Gráficas puestas fuera de hora. • Gráficas no corresponden a marca del aparato • Registros falsos. • Gráficas mal leídas • Plumilla sin tinta o con mucha tinta. • Falta de papelería (libretas y gráficas). • Libreta sin identificar (nombre y código estación, fechas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Sección con obstáculos recientes (troncos, etc). • Instrumentos desnivelados. • Cota cero desactualizada • Tramos del limnómetro desempalmados. • Limnómetro o maxímetros averiados después de cada crecida, con pintura o esmalte borrosos. • No limpiar los tubos y vasos del maxímetro después de cada crecida. • No limpiar el cable y la cinta del limnicontacto después de cada medición • Pozo de acceso obstruido (sedimentos, hojas, troncos, etc). • Depósito del flotador sucio. • Plumilla deficiente (trazos muy gruesos, muy débiles, manchados o incompletos). • Brazo portaplumillas: con mucha presión (registro con saltos) o poca presión (registros discontinuos). • Tinta de mala calidad. • Brazo porta-plumilla largo/corto. • Descalibración del instrumento. • Falta de sensibilidad del limnógrafo (insectos, ranas, partículas de polvo) • No cambiar obligatoriamente las gráficas cuando se agoten. • Mal funcionamiento sistema relojería: atraso o adelanto del reloj. • No mantener un adecuado suministro de energía, o recambio de baterías.

Fuente: IDEAM, 2007

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

1.5.2. Validación de datos

El objetivo principal de la validación es la detección y corrección de fallas de los equipos y errores de observación y procesamiento. Los errores pueden ser de tres tipos: absolutos, relativos y físico-estadísticos



- Los errores absolutos son datos o códigos que exceden los valores preestablecidos, por ejemplo, una fecha o una coordenada fuera de límites. Una vez detectados los datos erróneos, ya sea visualmente o automáticamente (en las libretas o la base de datos), se deben corregir.
- Los errores relativos incluyen:
 - Dato por fuera del rango de variación.
 - Dato por fuera del cambio máximo esperado en un parámetro entre observaciones sucesivas o de las tendencias temporales.
 - Dato por fuera de las tendencias espaciales.
 - El análisis en conjunto de estos errores pueden llevar al Inspector a eliminar el dato, desde la fase de verificación, o a realizar un análisis geoestadístico sobre el mismo, lo cual se puede lograr por pruebas de homogeneidad.

El sistema de control de calidad contempla tres etapas como mínimo: preverificación en la estación, validación en las oficinas regionales sobre libretas y validación final post-proceso, en el sistema, los cuales se describen a continuación (figura 15):

1.5.2.1. Preverificación de los datos en la estación

Esta se lleva a cabo en la propia estación, durante la visita de inspección y recolección de la información, así:

- Se revisan las copias u originales de las libretas de meses anteriores y se comprueba:
 - Que las libretas estén al día, sin adelantos ni retrasos. Si se hallan adelantadas, se revisan los días hacia atrás hasta encontrar desde cuándo se presentó la anomalía.
 - Que la última anotación corresponda a las 06 horas del día de la visita, asumiendo que la visita se hace durante el día.
 - Que los datos que identifican a la estación (código, nombre) y las fechas (día, mes, año) estén correctos.
 - Que el número de días de cada mes sea el correcto (28, 29, 30 o 31).
 - Que las copias de la libreta sean legibles, y que los números de las lecturas anotadas sean legibles y estén colocados en las casillas que corresponda.
 - Que se aclaren las lecturas ilegibles con el observador.
- Se examina el estado de la estación, en especial en los siguientes aspectos (ver otros aspectos en la tabla 2):
 - Estado del maxímetro, labores de mantenimiento hechas y calidad de las lecturas.
 - Estado del limnígrafo (si existe) y labores de mantenimiento, reparación, retiro y/o instalación de piezas o partes.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		



- Se chequea la hora del limnígrafo
- Se realizan los trabajos de hidrotopografía para verificación de las cotas cero y empalme de secciones de mira.
- Se hacen las observaciones y recomendaciones sobre la estación y la operación de la misma al observador.
- Se anota el personal que interviene en la inspección, fecha de la misma y otros aspectos generales que se considere pueden ayudar en oficina a entender o resolver problemas, especialmente con los datos atípicos que se puedan presentar.

Los formatos tipo 6 y 7 del Anexo 2, empleado por el IDEAM, muestra un ejemplo de formatos a emplear para las visitas de inspección a estaciones hidrométricas convencionales y automáticas.

1.5.2.2. Verificación de los datos sobre la libreta

- Se evalúa la calidad de las lecturas según sean: confiables, al día, incompletas o dudosas. Esto se hace mediante el examen de la libreta de datos diarios entregada por el observador.
 - Si la estación es limnimétrica se revisa la secuencia de variación de los niveles con respecto a las características hidráulicas de la corriente o depósito de agua sobre la cual está ubicada la estación. Si es un río con régimen de montaña los niveles pueden presentar variaciones grandes durante el día como respuesta a las lluvias, mientras que si es un río de régimen aluvial o un depósito de agua, las variaciones son menores y presentan cambios suaves (secuencia escalonada); en ambos casos las variaciones serán mínimas cuando los datos corresponden al período seco o de estiaje.
 - Si la estación es limnigráfica se debe retirar la gráfica y hacer una primera evaluación para determinar adelantos o atrasos en la escala de tiempo; lo mismo verificar si hay coincidencia entre el nivel registrado y el observado en la mira en el momento del retiro de la gráfica. Realizada esta actividad se procede en presencia del observador a plotear (colocar) las lecturas de mira y de máxímetro sobre la gráfica, permitiendo determinar la calidad de las lecturas de mira. En caso negativo, se hace el respectivo llamado de atención al observador y si el problema es recurrente y se presenta en un largo período, el valor de la toma de las lecturas no se cancela, dejando así sentado un precedente para que el observador corrija su actitud y los datos vuelvan a ser consistentes.
 - No obstante, se debe verificar que el limnígrafo esté funcionando correctamente, que no esté descalibrado, desnivelado o descronometrado, antes de comparar sus registros con los de la mira, pues puede ocurrir que los datos correctos sean los de la mira.
 - En caso de que se disponga de registros RAN, además de lecturas de mira y gráficos de limnígrafo, se debe verificar si los tres datos concuerdan, caso en el cual, el dato es correcto y debe aceptarse sin reservas. En caso de que sólo concuerden dos, se acepta el dato común de los dos instrumentos. Pero si todos los datos son diferentes, debe procederse a realizar los análisis propuestos en la sección siguiente (1.5.2.3), para decidir qué dato se acepta.

Posteriormente en oficina, se realiza la evaluación de los niveles observados y/o registrados,

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

con el fin de detectar errores, tal como indica en el numeral siguiente, Validación.

Para la evaluación de la gráfica se puede hacer manualmente o con un software que facilite la tarea. Luego se transcriben los datos al formato de niveles horarios indicado en la sección 1.4.1, y se procede a la grabación de los mismos, siguiendo las especificaciones e instrucciones técnicas del software que se tenga implementado. Una vez grabados los datos de cada estación se hace una impresión para confrontar los datos de salida contra los archivos de codificación y así corregir posibles errores de digitación.

Estos procedimientos son dinámicos en la medida en que se involucren técnicas que no necesiten hacer digitaciones manuales y que los procesos de revisión no sean manuales.

1.5.2.3. Validación de datos de niveles

Se refiere básicamente a la detección y corrección de los errores relativos mencionados arriba:

A. Una gama prevista de niveles.

Al inicio de operación de una estación y/o durante las etapas iniciales de desarrollo de la base de datos, se recomienda asignar límites de tolerancia bastante amplios, los cuales pueden ser acotados posteriormente, cuando se logre un mejor conocimiento estadístico de las variaciones de cada parámetro.

Si bien se requiere un análisis lo más completo posible de las series históricas, las gamas esperadas para este método deberían ser calculadas para distintos intervalos de tiempo, incluido el intervalo de observación de los datos existentes, debido a que la varianza de los datos disminuye con el incremento de tiempo. Los niveles fluviales diarios se podrían comparar inicialmente con una gama esperada de valores diarios para un período de tiempo determinado, por ejemplo, el mes en curso. Como es posible que cada valor diario pueda caer en la gama esperada, pero que el conjunto total de datos sea sistemáticamente falso, demasiado alto o bajo, los controles posteriores deberían realizarse para un período de tiempo más largo. Así, al final de cada mes, el promedio de los valores diarios del mes en curso debe ser comparado con el promedio a largo plazo del mes dado. En forma similar, al final de cada año hidrológico, el promedio para el año en curso se debe comparar con el promedio anual a largo plazo. Esta técnica es de aplicación general en hidrología a todas las series de datos cronológicos.

B. El cambio máximo esperado del nivel entre observaciones sucesivas.

Este método se basa en la comparación de cada dato con la observación precedente, y se aplica a las variables que muestren una correlación serial importante, como es el caso de la mayoría de tipos de datos de nivel de agua.

C. La diferencia máxima esperada en los niveles entre estaciones cercanas.

Este método es una variación del método B, pero usa criterios de cambios aceptables en el espacio en vez de los cambios en el tiempo. Evidentemente, es particularmente efectivo para

valores de niveles y caudales de ríos de la misma cuenca, aunque en cuencas más grandes algunos datos rezagados pueden ser necesarios antes de hacer las comparaciones entre las estaciones.

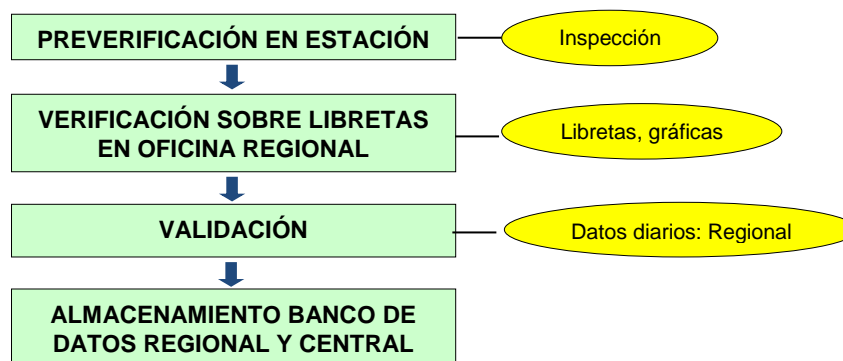
El análisis en conjunto de estos errores puede llevar al Inspector a eliminar un dato de nivel.

D. Errores en gráficas del limnógrafo.

Los limnigramas pueden presentar errores específicos que deben ser objeto de detección y corrección en la misma fase de interpretación. En el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2007), que puede bajarse de la página web del IDEAM, se detallan los procedimientos correspondientes.

En caso de que persistan datos dudosos de nivel, la validación de caudales (ver sección 5.6) puede ayudar a aceptar o eliminar un dato.



Figura 15. Flujograma general de la validación de niveles



1.6. ALMACENAMIENTO Y DIFUSIÓN⁵

Los procedimientos de almacenamiento y difusión de la variable niveles son similares a los de la variable caudales, por lo cual se pueden ver en las secciones 2.6 y 2.7 de este documento.

⁵ Con base en Pedraza C. E. y Franco J. C., Procedimiento para la actualización del Banco de datos central con la información de las áreas operativas. IDEAM. Bogotá. 2005.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

2. PROTOCOLO DE CAUDALES

2.1. OBJETO Y OBJETIVOS

2.1.1. Objeto del monitoreo

El objeto del monitoreo es el caudal líquido en ríos, quebradas, lagos, lagunas o embalses.

De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional⁶, el caudal es el “volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo”. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m³/s) o en litros por segundo (l/s). También se conoce como caudal absoluto. Otros conceptos útiles en el monitoreo de caudales son los siguientes:

Caudal específico, o rendimiento hidrológico, según el mencionado Glosario: es la “cantidad de agua derivada por unidad de superficie de una cuenca y en un intervalo de tiempo dado”. Este es un indicador sintético del valor hidrológico de una cuenca. Para obtenerlo, se divide el caudal absoluto por el área de la cuenca de drenaje hasta la estación. En Colombia, estos rendimientos varían considerablemente, desde menos de 1 l/s/km² en las cuencas de La Guajira hasta cerca de 170 l/s/km² en las del Chocó (según IDEAM, 2010, Estudio Nacional de Aguas, y Pérez Preciado, 2004).

Altura de la lámina de agua escurrida o altura de escorrentía: es otra forma de expresar el caudal, definida como “el volumen de escorrentía de una cuenca dividido por su área para un tiempo dado” (Glosario Hidrológico Internacional, 2011), para hacerlo comparable con la precipitación. Para ello, el caudal específico en l/s/km² se multiplica por el número de segundos que tiene un año, se hacen las transformaciones de litros a mm³ y de km² a mm², para llegar así a la fórmula siguiente en mm por año:

$$h = 31,536 q$$

Donde:

h: altura de la lámina escurrida

q: caudal específico en l/s/km²

Aforo de caudal: según el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO, es el “conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado”. El caudal en una corriente de agua es función del área de la sección de aforos (A) y de la velocidad media del flujo (V) y se obtiene mediante el producto de estas dos variables: $Q = V \cdot A$

Si la geometría del perfil de la sección de aforos es estable, la velocidad mantiene su comportamiento horizontal y vertical, mientras que, si la geometría es inestable debido a los cambios por sedimentación o socavación del lecho y/o los taludes, la relación nivel – área se altera continuamente y, por tanto, la velocidad cambia su comportamiento. Por esta razón, en la

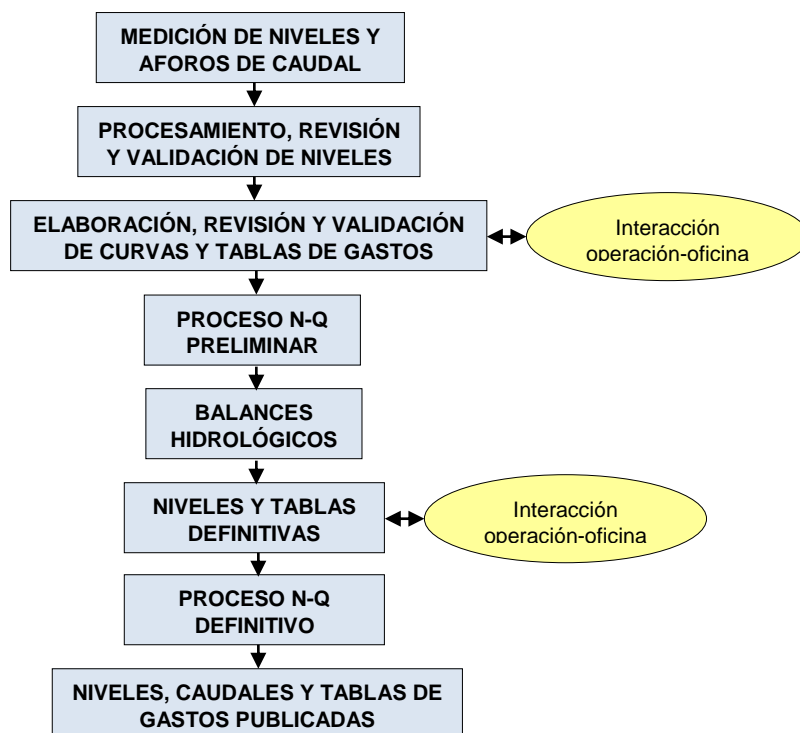
⁶ UNESCO. Glosario Hidrológico Internacional. Paris. 2011. <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDES.HTM>

etapa de selección de la sección de afloros se debe buscar que el cauce sea lo más estable posible.

Curva de calibración o curva de gasto: de acuerdo con el Glosario mencionado, es la “curva que muestra la relación entre la altura y el caudal de un curso de agua en una estación hidrométrica. Si se traduce a números, es una tabla de gasto”. También se conoce como curva HQ. Esta curva es la base para transformar datos de niveles horarios o diarios en caudales.

Proceso de generación de información de caudales. En el presente protocolo se describe la forma como se debe medir el caudal, la representatividad del sitio donde se mide, la frecuencia, las unidades en que se mide, la recolección de los datos y su procesamiento, validación, almacenamiento y difusión. El flujograma de la figura 16 muestra el proceso general de generación de información de caudales.



Figura 16. Proceso de generación de información hidrológica (caudales)



Fuente: IDEAM, 2011

2.1.2. Para qué se mide el caudal

Cuando se va a iniciar un programa de monitoreo de caudales, la primera pregunta que se debe contestar es “para qué se mide”. Esto con el fin de racionalizar el empleo de los recursos económicos disponibles. En principio, de acuerdo con la política para la gestión Integral del Recurso Hídrico (MAVDT, 2010), es importante medir el caudal de una corriente de agua con los siguientes propósitos principales, entre otros:

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Para conocer la oferta hídrica de una cuenca hidrográfica, de la cual depende la posibilidad de atender la demanda de agua para distintos fines.
- Para conocer, junto con los niveles, la amenaza que las crecidas de la corriente representan para las instalaciones o actividades humanas existentes o previstas en las proximidades del cauce, la cual puede manifestarse en forma de inundaciones, destrucción de infraestructuras, viviendas, cultivos, pastos, animales, etc.
- Para soportar programas de protección de fuentes hídricas frente a amenazas de origen antrópico.

Si no existe la necesidad de conocer la oferta (en ausencia de demanda actual o potencial, por ejemplo) o no existe un riesgo⁷ actual o potencial ligado a las crecidas, o la corriente no está amenazada, no se justifica medir sus caudales.

Dentro de este marco, el conocimiento de los caudales de una corriente o cuerpo de agua se justifica por su uso para los siguientes fines, entre otros:

- Protección de la navegación fluvial, marítima y terrestre
- Diseño de obras civiles (alcantarillados, presas, carreteras, etc.)
- Diseño y operación de centrales hidroeléctricas
- Planificación y control de riego y drenaje en actividades como la agricultura, ganadería y silvicultura.
- Pronóstico de inundaciones y estiajes, prevención y atención de desastres naturales y estudios de riesgo.
- Control de aprovechamientos hídricos y vertimientos de aguas residuales.
- Desarrollo de proyectos de disponibilidad hídrica que apoyan la planeación municipal, departamental y nacional.
- Sector académico, investigación, programas internacionales de intercambio de datos, programas internacionales de investigación (Estudio Regional del Fenómeno El Niño, ERFEN, etc.)



Objetivos del monitoreo

La medición de caudales se enmarca dentro de las estrategias de la Política Hídrica Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico establecidos por el Gobierno Nacional⁸, cuyo objetivo general para el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) puede establecerse así:

“Formular y ejecutar un plan integrado de monitoreo del recurso hídrico que permita conocer la cantidad y calidad del mismo a nivel nacional, regional y local, con la participación y responsabilidad de las autoridades ambientales de estos niveles, con protocolos compartidos y bajo la vigilancia de la autoridad nacional, con el fin de garantizar la calidad de la información generada”.

⁷ El riesgo resulta de que la probabilidad de una amenaza (crecida en este caso) pueda afectar una actividad o instalación humana (vulnerabilidad).

⁸ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente. Política Nacional para la gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá. 2010.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

De acuerdo con los componentes de este objetivo general y de las líneas estratégicas definidas por el Gobierno Nacional, los objetivos específicos del PNMHR en materia de caudales pueden desglosarse así:

Objetivos a nivel nacional:

1. Actualizar, complementar, operar y mantener la red de monitoreo de la variable caudal de aguas superficiales, tomando como referencia las 41 zonas hidrográficas definidas por el IDEAM, con el fin de conocer, mediante la captura sistemática y estandarizada de información, el estado del recurso hídrico en los ambientes continental (superficial y subterráneo) y marino, y su afectación por actividades antrópicas, para soportar acciones y estrategias de protección, manejo y desarrollo del recurso.

Objetivos a nivel regional y local:

2. Homologar, consolidar y compartir los sistemas de monitoreo, seguimiento y evaluación de los caudales de aguas superficiales y su distribución espacio-temporal, en el marco de la cuenca hidrográfica, de acuerdo con prioridades fijadas en el Plan Hídrico Nacional, y con la finalidad de apoyar la planeación de proyectos de aprovechamiento y control del recurso hídrico.
3. Integrar en un sistema jerarquizado las redes y programas de monitoreo regional y local de niveles y caudales, y establecer protocolos comunes de instalación, operación, procesamiento y control de calidad.



2.2. ASPECTOS GENERALES DEL MONITOREO DE CAUDALES

2.2.1. Selección del sitio: dónde medir

La segunda pregunta que surge en un programa de monitoreo de caudales es “dónde medir”. La selección del sitio o sitios de medición depende del objetivo del monitoreo, el cual puede requerir redes más o menos densas, cuyos criterios de diseño pueden consultarse en los informes del “Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico” y del Rediseño de la Red (ver volúmenes 2 y 3 del informe final del presente proyecto).

Diseñada la red, si no existe, se debe definir el sitio o sitios específicos de medición, los cuales deben cumplir unos requerimientos mínimos, entre los cuales son de mencionar los siguientes:

- a. La sección debe estar situada a un tramo recto de la corriente. En lo posible, la longitud del tramo tendrá un mínimo equivalente a cinco (5) veces el ancho de la sección.
- b. La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en aguas máximas, con lo cual se garantiza la calibración de caudales máximos.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- c. La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme, evitándose tramos con quiebres fuertes de pendiente que desequilibran la velocidad de la corriente. Se deberá evitar áreas de aguas muertas y contracorrientes o remolinos.
- d. El lecho del río debe tener geometría regular, cauce estable y no tener obstáculos (troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.). Se debe evitar los lechos fangosos.
- e. La corriente debe mostrar líneas de flujo uniformes y paralelas a las márgenes de la corriente y deben ser normales a la sección transversal de aforos, de tal manera que la medición de la velocidad sea precisa para la obtención del caudal. Cualquier desviación en las líneas de flujo produce alteración en la magnitud, por cuanto vectorialmente no corresponde al 100 % de la velocidad, sino a una componente de la misma.
- f. La geología del terreno deberá facilitar la construcción de las obras para medición como tarabitas, puentes, pasarelas, etc.

Las anteriores consideraciones garantizan una buena definición y permanencia de la curva de calibración de la sección de aforos, la cual relaciona los caudales con los niveles (ver Anexo 1):

$$Q = f(H)$$

Donde:

Q = Caudal resultante de los aforos

H = Nivel promedio durante cada aforo.

En todo caso, las condiciones del sitio deben ser tales que sean las más favorables posibles para la instalación de la estación y para su operación, factores que inciden en los costos.



Un aspecto a tener en cuenta es que si se necesita conocer en un sitio la variabilidad de los caudales de manera continua, lo cual se logra a través de la relación Nivel-Caudal, en el sitio en donde se realice las mediciones de caudales puntuales deben tener instalado equipos de medición de los niveles, siguiendo los criterios del protocolo de niveles.

2.2.2. Hidrotopografía⁹

Una vez seleccionado el sitio de la estación, se debe realizar la hidrotopografía del mismo, cuyo objeto es conocer las características topográficas del área y tramo de emplazamiento de la estación, en especial en los siguientes aspectos: georreferenciación, topografía del sector de la estación e hidrotopografía del cauce en el tramo de aforos. Este conocimiento permite, además, reconstruir la estación, en caso de que sus obras sean destruidas por algún evento extremo.

En la presente sección se hace una descripción del conjunto de levantamientos que constituyen la hidrotopografía de una sección y su tramo de influencia, de utilidad para diversos fines, en especial para modelación hidráulica. No obstante, para los fines de seguimiento al comportamiento del río y a la variabilidad natural a la que están sujetas las curvas de gastos por efecto de la dinámica del cambio en la sección por posibles desajustes de las miras, sobre todo

⁹ Esta sección se elaboró con base en una propuesta de Domínguez C., E., IDEAM, 2000.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

después de las crecidas, la hidrotopografía se reduce a un levantamiento periódico básico con una adecuada georreferenciación de la misma (ver punto 2.2.2.1 siguiente).

2.2.2.1. Georreferenciación

Consiste en el amarre de los elementos de la estación a coordenadas y cotas reales (msnm) del sistema de referencia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. Para este efecto se desarrollan las actividades descritas en la sección 1.2.2 del protocolo de niveles, a saber:

1. Ubicación de un BM o NP del IGAC más cercano.
2. Nivelación de alta precisión de doble recorrido entre el BM o NP seleccionado y un punto de la estación previamente seleccionado, con un error máximo acumulativo de $\pm 3(n)^{1/2}$ milímetros, donde n es el número de estaciones de la nivelación, y de una décima de la distancia representada por un milímetro a la escala del plano de la estación hidrométrica, para las coordenadas X, Y, referente a la diferencia entre las coordenadas del BM IGAC y las obtenidas del recorrido inverso estación-BM.
3. Una vez materializado el BM de la estación y conocidas sus coordenadas por la nivelación de precisión, se deben acotar los elementos principales de la estación, en la forma indicada en el protocolo de niveles.

Cuando no haya evidencias de alteraciones en la posición del BM de la estación, no hace falta georreferenciarlo nuevamente con respecto al BM o NP del IGAC, sino que la georreferenciación periódica básica consistirá en levantar de nuevo la sección a partir del BM de la estación y verificar la cota cero de la mira.

2.2.2.2. Levantamiento topográfico del sector de la estación



Cuando los datos se vayan a utilizar para modelación hidráulica del cauce, el levantamiento topográfico debe contemplar la ubicación de la estación en su entorno, que permita construir un modelo de elevación digital de alta precisión del sector. No obstante, cuando se instala por primera vez una estación, es deseable realizar este levantamiento, que permitirá comprender mejor la dinámica del cauce. Comprende las siguientes actividades:

1. Adopción de la escala del plano, la cual depende de las dimensiones del río en el tramo de la estación, en tal forma que el ancho del río no represente más de 5 cm en el plano. La tabla siguiente muestra una propuesta de escalas según el ancho del río.

Descripción	Ancho (en metros), escala (adimensional)			
Ancho del canal principal río en período de estiaje (en metros)	50	50-100	100-500	>500 m
Escala del plano	1:1.000	1:2.000	1:5.000	1:10.000

Fuente: Domínguez IDEAM (2000)

2. Determinación de la longitud del tramo a levantar. Para ríos de menos de 100 metros de ancho promedio (A), esta longitud no debiera ser menor de 5 veces este ancho (5A), tomando la sección de aforo como eje central. En ríos más anchos, la longitud del tramo puede variar entre 2 A y 3 A.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

3. Determinación de la amplitud transversal o ancho del levantamiento. En todos los casos el ancho a levantar debe corresponder como mínimo al valle aluvial del río, es decir, que cubra las vegas bajas hasta el borde de la primera terraza, o hasta el punto correspondiente a una cota de 2 metros por encima del máximo nivel histórico observado. En vegas aluviales muy amplias, se deben ubicar todos los puntos de quiebre del valle aluvial.

Además de la altimetría, el plano topográfico debe georreferenciar y ubicar los siguientes elementos planimétricos próximos a la sección:

- Coberturas vegetales.
- Caminos o carreteras.
- Puentes.
- Intersección con tuberías.
- Edificaciones existentes.
- Líneas de transmisión eléctrica.
- Sección de aforo.
- Sección de registro de niveles (si esta no coincide con la de aforos).
- Caseta hidrométrica.
- Miras.
- Máxímetro.
- Puntos de referencia (orilla derecha e izquierda).
- Cortes transversales para la construcción de perfiles.
- Actividad antrópica sobre el río.
- Afluentes y derivaciones.
- Bocatomas y vertimientos.
- Otra infraestructura hidráulica o de mediciones



2.2.2.3. Hidrotopografía (batimetría)

La hidrotopografía se refiere específicamente al levantamiento del perfil batimétrico¹⁰ transversal del curso de agua. Este se puede llevar a cabo por diferentes procedimientos, de acuerdo con la profundidad y ancho del cauce:

1. Por vadeo, en caso de corrientes pequeñas y de poca profundidad.
2. Por sondeos en lancha en caso de ríos de profundidades entre 1 y 2 metros y ancho de varias decenas de metros.
3. Por ecosondeo en ríos de mayor profundidad y anchura.

Para el levantamiento de estas secciones se pueden utilizar los mismos procedimientos indicados en la sección 2.3.4, Procedimientos de medición de caudales. Se deben realizar perfiles batimétricos por lo menos en tres secciones, con el fin de establecer la pendiente longitudinal del río en el tramo de la sección: en la sección de aforo, al comienzo y al final del

¹⁰ Se llama batimétrico porque se refiere a las profundidades de la sección, por oposición a altimétrico, que se refiere a la altura (de la superficie hacia arriba).

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

tramo a levantar topográficamente, según el punto 2 del numeral anterior (las tres secciones permiten establecer la pendiente).

Durante la batimetría es necesario registrar los niveles del agua al inicio y fin del levantamiento.

2.2.2.4. Equipos de la hidrotopografía

La topografía debe levantarse con instrumentos de precisión, preferiblemente estaciones totales o con GPS de alta precisión. Si el sector de la estación está muy distante de los puntos geodésicos del IGAC se puede establecer un sistema de referencia local debidamente materializado y mantenido.

El uso de GPS u otros instrumentos de posicionamiento para la transferencia de cotas es permisible en especial en zonas montañosas y/o de difícil acceso, a condición de respetar los criterios de precisión arriba mencionados.

2.2.2.5. Productos del levantamiento

El levantamiento hidrotopográfico se debe documentar de la siguiente manera:

- Memorias de campo calculadas y verificadas.
- Carteras de nivelación y ubicación de los puntos del levantamiento
- Plano digitalizado del área de la estación
- Secciones transversales y perfil longitudinal del río en el tramo levantado.
- Modelo de elevación Digital (2D y 3D), cuando aplique.

2.2.3. Frecuencias de monitoreo de caudales



Frecuencia de aforos

Para estaciones nuevas de la red nacional, es recomendable realizar por lo menos un aforo mensual, buscando cubrir toda la gama potencial de niveles, con el fin de obtener pares nivel - caudal que faciliten la calibración de la sección de aforos, la cual se plasma en la curva de calibración¹¹. Para estaciones antiguas y en operación, la frecuencia de aforos depende de las condiciones de estabilidad de la sección, aunque se recomienda que ellos sean distribuidos en aguas altas, medias y bajas. En estaciones de redes regionales o locales, la frecuencia está determinada por las necesidades de control de aprovechamientos, vertimientos y/u operación de infraestructuras de aprovechamiento.

Frecuencia de transmisión de los datos de caudales de campo a oficina

La frecuencia de transmisión del dato de campo a oficina es la misma del aforo, aunque, de

¹¹ De acuerdo con un estudio del IDEAM elaborado por Domínguez E, Verdugo N. y Niño R., "Optimización de la red hidrológica nacional de referencia, Bogotá, 2002", para que una curva de gastos sea hidrológicamente aceptable, se requiere que los caudales medidos correspondan a un 80% de la amplitud de los niveles del río, y el restante 20% se podrá extrapolar por los diferentes métodos (Chaparro y Salazar: 1990). Los análisis de este estudio muestran que el número óptimo de aforos a realizar sería de 20 por año en secciones estables y 70 por año en secciones inestables.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

todas maneras, depende del objetivo de la red de monitoreo (ver sección 1.2.3 para niveles). En oficina los datos deben ser objeto de un control de calidad, tal como se describe más adelante, en la sección 2.5.

2.2.4. Parámetros a medir y unidades de medida

El principal *parámetro* del monitoreo de la variable caudales es:

- Caudal del aforo.

Unidades de medida. Los caudales se miden y/o estiman, así:

Caudal: en metros cúbicos por segundo (m³/s) o litros por segundo (l/s)

2.3. MEDICIÓN DE CAUDALES

Cuando se requiera medir el caudal que pasa por una sección dada de un río en un momento dado, sin que esa sección esté necesariamente asociada a la generación de una serie de tiempo de caudales, adicional a los procedimientos que se van a enumerar en este ítem (2.3), se debe colocar de manera provisional un tramo de mira en el río e ir tomando lecturas intermedias del nivel durante la realización de las mediciones que se hacen para calcular el caudal, conocido comúnmente como aforo líquido.

Cuando el punto sobre el que se van a hacer las mediciones para calcular el caudal hace parte de una red destinada a generar series de tiempo de caudales, se presupone que existen instalados instrumentos de medición de niveles (ver sección 1.3), y que el aforo del caudal hace parte de la operación de la estación, de acuerdo con las frecuencias establecidas, con miras a construir posteriormente la curva de calibración (relación nivel-caudal, H-Q).

2.3.1. Instrumentos

Como se verá en la sección de procedimientos, para calcular el caudal, la mayoría de los métodos de aforo requieren conocer dos variables: la velocidad de la corriente y el área de la sección de aforo. De esta manera, el caudal se estima mediante la relación:

$$Q = V \cdot A$$

Donde:

Q = Caudal, en m³/s o l/s, para un determinado nivel del río (H)

V = Velocidad media de la corriente

A = Área de la sección transversal

El caudal, por tanto, no se mide en forma directa, sino que depende de la medición de la velocidad de la corriente y del área de la sección.

2.3.1.1. Equipos para medir velocidades de la corriente

Para la medición de caudales es necesario conocer la velocidad de la corriente y el área de la sección de aforo. Para la medición de las velocidades se emplean los correntómetros o molinetes hidrométricos; en condiciones hidráulicas especiales se usan flotadores y trazadores como sales, colorantes e isótopos radiactivos.

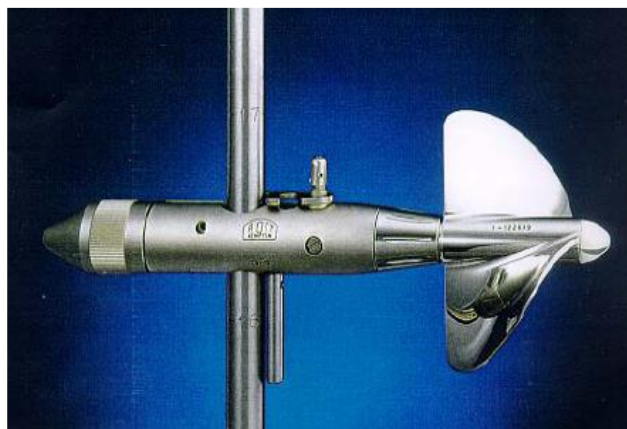
Molinetes y micromolinetes. Para la medición de las velocidades de las corrientes se emplean los correntómetros o molinetes hidrométricos. Los molinetes generalmente utilizados son el de cazoletas, con eje vertical, y el de hélice, de eje horizontal (figuras 17 y 18). Las revoluciones se registran en un contador, el cual por cada giro recibe un impulso eléctrico, originado en la cámara de contactos. La relación entre velocidad del flujo y la velocidad de rotor se expresa en revoluciones por segundo.

Figura 17. Micromolinete típico





Fuente: http://www.ott-hydrometry.de/web/ott_esp.nsf/print/pa_ottn6q4mqt.html

Figura 18. Molinete de eje horizontal



Fuente: IDEAM, 2007.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Los molinetes se adquieren y calibran a fin de cubrir la gama potencial de velocidades de flujo. Normalmente, los molinetes vienen calibrados de fábrica y el fabricante los entrega con la respectiva ecuación de calibración. A los efectos de la confiabilidad de las curvas de calibración y las ecuaciones pertinentes, el fabricante y/o las autoridades en calibración, deberán fijar los límites de tolerancia en el 95 % del nivel de confianza.

Para medir velocidades en ríos y canales pequeños o en niveles bajos de una corriente o canal, se utilizan los micromolinetes, en los cuales la rotación de la hélice calibrada con precisión es proporcional a la velocidad del agua. Estos instrumentos tienen un sistema de rodamiento de eje reforzado y muy preciso y un sistema de transmisión sin contacto que permiten medir velocidades desde 2,5 cm/s, y emplearse a profundidades mínimas de 4 cm.

Fabricantes tales como SEBA Hidrometrie y A. OOT Kempton recomiendan que cuando una hélice se daña no debe ser recalibrada, debido a que, como cada hélice tiene una ecuación única, en caso de averiarse es mejor cambiarla y no repararla. Dado que el HIMAT venía recalibrando sus correntómetros, en 1984 solicitó al ingeniero Joachim Weiss, asesor de la GTZ, realizar una investigación en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional, el cual concluyó que, efectivamente, se debía suspender la recalibración de los correntómetros (IDEAM, Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, 2007). No obstante lo anterior, algunos laboratorios de hidráulica, como el de la Universidad Nacional, ofrecen corrientemente servicios de calibración de molinetes¹². La Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) también aceptan la calibración de molinetes, a condición de que sea en laboratorios certificados¹³. Esto hace que sea importante retomar el tema, ya que ello permitiría aumentar la vida útil de los molinetes.

Otros sensores. Existen en el mercado sensores de medición directa basados en el principio de inducción magnética o térmica, en los cuales el valor medido se indica directamente en la pantalla del registrador de velocidades y es independiente de las características físicas, químicas y biológicas del agua. Su principio de funcionamiento se basa en la ley de Faraday, que indica que si un medio electroconductor se desplaza en un campo magnético, una tensión inducirá dicho conductor, por lo cual la tensión de salida es proporcionalmente lineal a la velocidad del conductor eléctrico (corriente de agua) (figura 19)

Según OTT – Hidrometrie (Catálogo, sensores de medición, en IDEAM, Sánchez, F. D, 2004), estos tipos de sensores se utilizan en corrientes de agua con velocidades entre 0 y 2,5 m/s y profundidades desde 3 cm. Se calibran individualmente en el laboratorio para rangos distintos de velocidad (0 m/s – 1,5 m/s y >1,5 m/s), son robustos a pruebas de impactos y no presentan mayor desgaste.

¹² Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Unidad Académica de Hidráulica. Email: roortizm@unal.edu.co

¹³ Ruiz A., A. Medidores de velocidad (hélice, turbina y molinete). CNA. IMTA. México. 2001.



	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		



Figura 19. Sensor de medición directa



Fuente: OTT - Hidrometrie, Catalogo, sensores de medición, en IDEAM, Sánchez, F. D, 2004.

Caudalímetros

Hoy en día existe en el mercado un tipo de instrumentos denominados perfiladores acústicos Doppler (ADP o ADCP, por sus siglas en inglés: Acoustic Doppler Profiler Current Meter), que miden la velocidad en 3 direcciones simultáneas especificadas por el usuario, hasta un máximo de 220 metros de profundidad, y vienen acompañados de un software que permite calcular el área de la sección transversal y el caudal de la corriente de manera automática, sin necesidad de trabajo de procesamiento ulterior en oficina. Los equipos vienen en varias configuraciones y se pueden utilizar para mediciones en tiempo real, levantamiento de costas y ríos y mediciones autónomas de largo plazo (hasta 1 año). Se basan en el empleo de transductores y sistemas electrónicos que permiten mediciones verticales desde la superficie, desde el fondo y horizontalmente. El ADP estándar tiene 3 transductores, aunque los hay de 2 y de 4 transductores, para aplicaciones específicas. En la configuración estándar, los transductores, el receptor los sistemas electrónicos de proceso y los sensores opcionales vienen dentro de un solo receptáculo, lo que facilita su instalación y operación. Usan una fuente externa de energía y sus datos de salida pueden ser capturados en un computador, un registrador digital (datalogger) y/o ser transmitidos por telemetría. Pueden utilizar cables de hasta 1.500 m de longitud para comunicación y suministro de energía. Los ADP vienen en 5 frecuencias estándar (0.25, 0.5, 1.0, 1.5 y 3.0 MHz), si bien mientras mayor sea la frecuencia mayor es la resolución. Para pequeños ríos se puede obtener una configuración de Mini ADP. Todos los parámetros son programables tales como la profundidad, el tamaño de las celdas de medición, el número de celdas de medición y el tiempo de promediación por perfil. Estos equipos se venden con un sensor de temperatura, un medidor de voltaje y puertos de comunicación para RS232 (para

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

cable de hasta 100 m) y RS422 (para cables de hasta 1.500 m). Entre los sensores opcionales son de destacar la brújula para reporte de velocidad según la dirección (útil en medición de oleaje en costas), backup de memoria, sensor de presión y, lo más importante, sensores ópticos y acústicos (OBS y ABS) para medir la concentración de sedimentos en suspensión y la turbidez. La figura 20 muestra un ADCP portátil.

Varios factores pueden afectar su precisión y resolución, entre los cuales son de mencionar la absorción, la dispersión, la velocidad del sonido en el agua, la amplitud de las ondas sonoras, intensidad y eco de la señal emitida, tamaño del transductor, diámetro del rayo sonoro dentro del agua, frecuencia y otros relacionados con las técnicas de procesamiento, el hardware y la precisión del sistema de relojería.

Estos tipos de instrumentos pueden utilizarse en muy diferentes tipos de corrientes, desde pequeños ríos de montaña hasta grandes y caudalosos ríos de llanura. Por sus características, pueden ahorrar considerable tiempo en el aforo de grandes ríos como el Amazonas, el Caquetá, el Atrato o el Magdalena, donde un aforo con correntómetro puede requerir un día completo.

Existe en el mercado un tipo de instrumentos de esta misma familia denominados ADFM (*Acoustic Doppler Flow Meter*) de la compañía estadounidense MGD Technologies Inc de California, o el Ultrasonic Doppler Flow & Depth Instrument (UDFD) de la compañía Starflow de Australia, construidos en modelos compactos para medir al mismo tiempo la velocidad y la profundidad del agua en ríos y canales y que, gracias a un programa de computador pueden calcular el caudal a diversos intervalos de tiempo. Los hay de dos modelos: perfiladores (ADFM) y continuos (UDFD). Este último también tiene dos modelos, según la profundidad (0 a 2 y 0-5 m), y consiste en una combinación de transductores ultrasónicos y sistemas electrónicos de procesamiento de señales y está diseñado para colocarse cerca o sobre el lecho de la corriente, para mediciones hacia arriba. La conexión a una fuente de energía de 12 V se asegura mediante un cable. La velocidad del agua se mide mediante el efecto Doppler, basado en la reflexión y detección de un rayo ultrasónico emitido por el medidor sobre las partículas en suspensión o las burbujas de aire en el agua. La profundidad es medida mediante un sensor hidrostático de presión referenciado a la presión atmosférica. También mide la temperatura para ajustar los cambios en la velocidad debidos a la velocidad del sonido. La figura 21 muestra el medidor UDFD.

Existen varias marcas de estos aparatos, cada una con especificidades particulares de diseño¹⁴. Los beneficios de esta tecnología, en el caso de medidores fijos instalados en el fondo de ríos y canales son: no necesidad de otros elementos de medición (como molinetes, cintas, escandallos, lanchas o miras), se pueden instalar donde otros equipos no funcionarían debido a su pequeño tamaño (30x5 cm), amplio rango funcionamiento (hasta velocidades de 9 m/s, frente a las velocidades que se pueden medir con molinete, del orden de 3 m/s), posibilidad de almacenar digitalmente y transmitir por medios de transmisión remota, menor tiempo de medición, información oportuna, menores riesgos en la medición, mayores oportunidades de medir caudal y potencial de medición sedimentos.

¹⁴ Pedroza, G. E. Medidor ultrasónico de efecto Doppler para canales. CNA-IMTA. México. 2010. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Ultrasonico_Doppler_canales_pdf.

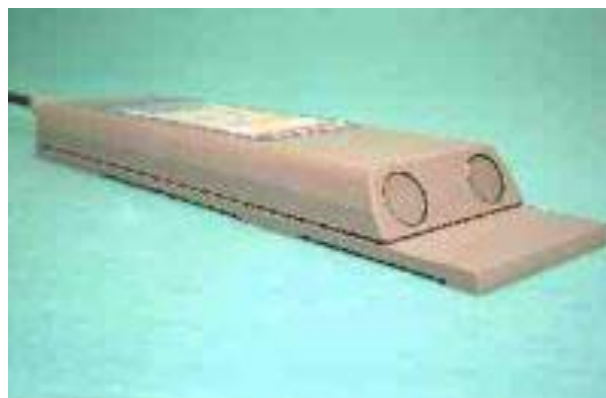
Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA
ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Figura 20. Medidor de caudal ultrasónico Doppler portátil



Fuente: http://www.ott-hydrometry.de/web/ott_esp.nsf/print/pa_ottn6q4mqt.html

Figura 21. Medidor ultrasónico de caudal y profundidad (UDFD de Starflow)



Fuente: www.unidata.com.au

Equipos auxiliares

Durante la ejecución de los diferentes tipos de aforos se utilizan diversos equipos y accesorios como malacates, varillas de vadeo, escandallos o tocadores de fondo, equipos automáticos para aforo químico, además, de los instrumentos específicos de topografía y batimetría.

2.3.2. Instalaciones necesarias para realizar los aforos

En lo posible y siempre que los estribos no constituyan obstáculos al escurrimiento del agua, se deben emplear puentes de carreteras y/o ferrocarriles como sitios de aforo, toda vez que, en general, corresponden a secciones estables de las corrientes. Además, los estribos de los puentes son sitios ideales para la instalación de limnímetros (figura 22). En caso de que no sea posible utilizar puentes, se debe construir instalaciones especiales para el aforo, como los puentes hidrométricos y las tarabitas.

Figura 22. Realización de aforos desde un puente



Fuente: IDEAM, 2007.

Los puentes hidrométricos. Son instalaciones necesarias para realizar aforo de caudales (figura 23). El puente hidrométrico debe quedar como mínimo 1 m por encima del nivel máximo histórico, con objeto de evitar daños durante avenidas y para ofrecer condiciones óptimas de aforo. Igualmente, debe construirse perpendicular al eje de la línea de la corriente del agua¹⁵.

Las estructuras de los puentes hidrométricos deben ser lo más rígidas posibles y diseñadas para resistir cargas hasta de 1.000 kg, con el fin evitar movimientos indeseados durante las mediciones hidrométricas.

Tarabitas. La tarabita es un conjunto de cables y canastillas que permiten aforos de caudal área-velocidad (figura 24). Para su correcto funcionamiento se debe tener ciertas condiciones entre las cuales se destacan las siguientes¹⁶:

¹⁵ Ardila H. G. A. Guía de construcciones hidrometeorológicas. IDEAM. Bogotá. 1997.

¹⁶ Ardila H, G. A. op cit.

Figura 23. Puente peatonal-hidrométrico



Fuente: IDEAM, Grupo de Redes, 2010.

Figura 24. Tarabita monofilar para aforos



Fuente: IDEAM, Grupo de Redes, 2010.

- El soporte inferior de la canastilla no debe tocar en ningún momento la superficie del agua, para lo cual es importante definir la altura máxima que han alcanzado las crecientes del río.
- El cable o los cables deben formar con la horizontal una catenaria del 2% de la longitud del ancho. Este valor debe tenerse en cuenta en el momento de diseñar la altura de los pórticos de la tarabita.
- El sistema constituido por cables, tensores, anclajes y canastilla debe poder soportar cargas móviles hasta de 500 kg., y sus componentes deben estar convenientemente protegidas contra la corrosión de la intemperie.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- En función del ancho de la sección de aforos, las tarabitas pueden ser monofilares o bifilares, es decir tener uno o dos cables de apoyo para el desplazamiento de la canastilla.

Cables e instalaciones de orilla. En caso de que no se puedan instalar puentes hidrométricos o tarabitas, se utilizan cables e instalaciones de orilla (figura 25). El ancho máximo para instalar el sistema de aforos desde la orilla es de 100 m, pero se debe contar con taludes altos, de tal manera que el valor de la catenaria de los cables que conforman la estructura no rocen la lámina del agua en el momento del aforo. La instalación de este tipo de aforos desde la orilla permite al malacate tener una doble funcionalidad que consiste en los desplazamientos horizontales y verticales dirigidos desde un mismo sitio. Se considera menos costoso que una estación convencional ya que por fácil traslado y operabilidad se puede utilizar la misma estructura en varias estaciones.

2.3.3. Mantenimiento de instalaciones y equipos de aforo de caudal

Para el mantenimiento de las estaciones de aforos se deben seguir los mismos procedimientos indicados para el mantenimiento de las instalaciones y equipos de medición de niveles indicados en la sección 4.3, toda vez que el cálculo de las series de caudal depende de la confiabilidad de las series de nivel. Además, se deben seguir procedimientos adicionales para el mantenimiento de los equipos de medición de caudal (molinetes, caudalímetros, etc.).

Foto 25. Cable guía para aforo por vadeo





Fuente: IDEAM, Grupo de Redes, 2011

2.3.4. Procedimientos para medición del caudal

2.3.4.1. Métodos de aforo

Para la medición del caudal en una corriente se han desarrollado diversos métodos de aforo que se aplican según el tamaño del cauce, la magnitud del caudal, las características

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

hidráulicas del flujo, la necesidad de contar con datos inmediatos o a corto plazo y, en general, las dificultades para realizar el aforo, entre otros. Los distintos métodos de aforo son:

- a. Volumétrico.
- b. Estructuras aforadoras
- c. Con molinete hidrométrico (por vadeo, por suspensión, angular, con bote cautivo, con bote móvil o lancha en movimiento).
- d. Flotadores
- e. Dilución (con trazadores).
- f. Ultrasónico (acústico).

A continuación se hace una descripción general de éstos; sin embargo todos los detalles técnicos de cada uno de ellos están desarrollados en las Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM, 2008, y en los anexos de la Guía para el Monitoreo y Seguimiento del Agua (IDEAM, 2004), disponibles en la web del IDEAM.

En consecuencia, con anterioridad a la realización de un aforo, éste debe ser planeado teniendo en cuenta las características de la sección y el caudal de la corriente. La tabla 3 muestra un resumen de las condiciones de uso de cada método de aforo.

Tabla 3. Condiciones de uso de los métodos de aforo

Método de aforo	Sección	Caudal o velocidad
Volumétrico	Pequeña (< 1 m ²)	Q<100 l/s
Estructuras aforadoras - Vertederos - Canaletas	Pequeñas (< 1 m ²) Pequeñas (preferible <2,5 m ancho)	v< 0,15 m/s Q<4 m ³ /s
Molinete hidrométrico - Por vadeo - Por suspensión - Angular - Bote cautivo - Bote móvil	Profundidad < 1m Profundidad > 1m Grandes ríos donde se requiere apoyo topográfico para medir posición del bote en su recorrido Ríos o canales medianos que permiten extender y alinearse con manila Ríos muy anchos y caudalosos	V<1 – 3 m/s V>1 – 3 m/s Velocidad en general entre 1 y 3 m/s Velocidad en general entre 1 y 3 m/s Velocidad en general entre 1 y 3 m/s
Flotadores	Muy baja profundidad	Baja precisión
Dilución con trazadores	Muy baja profundidad, alta presencia de sedimentos	Turbulencia, velocidades muy altas. Baja precisión.
Ultrasónico	ADCP: hasta 220 m de profundidad. Pequeños a grandes ríos.	Velocidades hasta 9 m/s.

Fuentes: IDEAM, Sánchez F. D., 2004; Ven T. Chow, Hidráulica de canales abiertos, 2009. <http://www.sontek.com/adp-adcp-php>.

A. Volumétrico

El aforo volumétrico se realiza cuando se trata de medir caudales pequeños (de algunos pocos litros por segundo) en condiciones que no permitan el uso del molinete. El procedimiento consiste en recolectar en un recipiente previamente calibrado, el volumen de agua que está pasando por un determinado punto, tomando con precisión el tiempo de recolección

(cronómetro). En un aforo volumétrico, el caudal se obtiene por la relación entre el volumen recolectado en litros (V) y el tiempo correspondiente en segundos (T). El procedimiento general se indica en la figura 26.

Figura 26. Procedimiento para aforo volumétrico

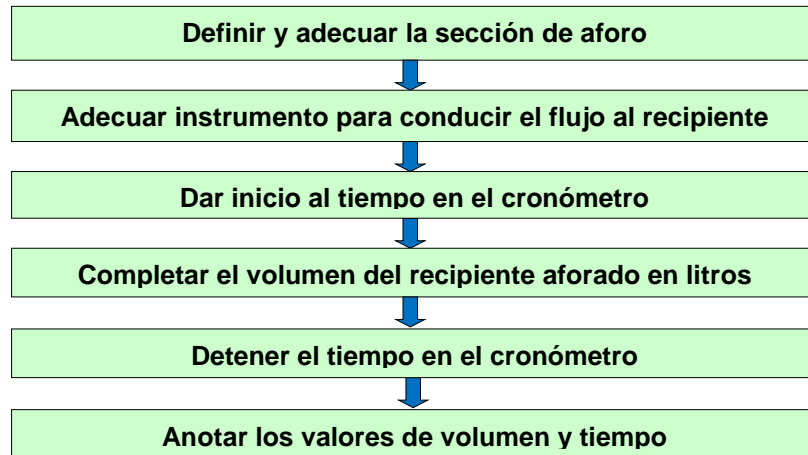
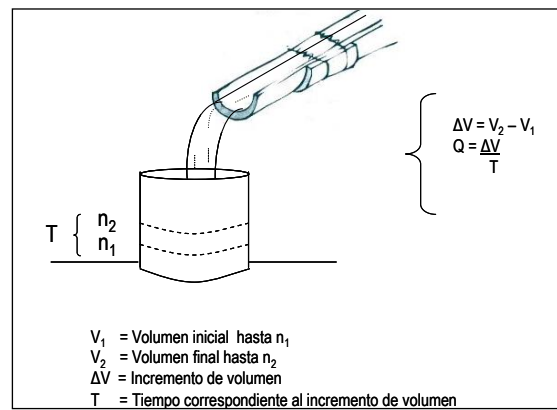
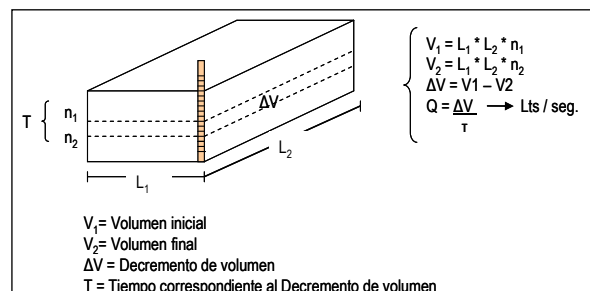


Figura 27. Aforo volumétrico en balde





Fuente: Sánchez F. D, IDEAM, 2006

Figura 28. Aforo volumétrico en tanque



Fuente: Sánchez F. D, IDEAM, 2006

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Generalmente se utilizan recipientes de uso común como baldes o canecas que tenga registros de volumen. En otros casos el aforo se realiza en tanques de mayor tamaño que tengan dimensiones precisas, de tal manera que mediante la medición de un diferencial de nivel se determina el incremento de volumen (figuras 27 y 28).

B. Aforo en estructuras aforadoras

Son estructuras que han sido estudiadas y calibradas en diferentes condiciones experimentales. Para cada una de ellas es posible obtener una ecuación de descarga (relación Nivel-Caudal) que permite determinar el caudal instantáneo en función de la altura de la lámina de agua con respecto a un punto de la estructura, que se mide con ayuda de una mira o un instrumento registrador. A continuación se presentan las estructuras más utilizadas.

Vertederos: Son dispositivos hidráulicos fijos o removibles que consisten en una escotadura a través de la cual se hace circular el flujo que se quiere medir en el canal o corriente natural. La precisión del aforo depende de la velocidad de llegada a la estructura, por lo tanto es importante remansar el agua ampliando la sección del canal arriba del sitio para obtener velocidades mínimas ($< 0,15$ m/s). Existen diferentes tipos de vertederos:

- a. Vertedero rectangular: puede ocupar total o parcialmente el ancho del canal, presentando contracciones laterales que reducen la longitud efectiva de la cresta, y en consecuencia el caudal medido por pérdidas por rozamiento.
- b. Vertedero trapezoidal (Cipolletti): se construye con paredes laterales inclinadas en una relación 1 horizontal a 4 vertical.
- c. Vertedero triangular: se recomienda para medición de caudales pequeños, siendo en particular conveniente para medición de caudales muy fluctuantes. Los más utilizados son los de escotadura con ángulo de 90° y 60° .

Las características geométricas y las ecuaciones para el cálculo del caudal en estos tipos de vertederos pueden ser consultadas en la literatura. Algunos aspectos también pueden ser consultados en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM (2004), disponible en la página web¹⁷.

Canaletas: Son estructuras de gran aplicación en terrenos planos ya que funcionan a flujo libre con pérdidas de carga pequeñas. Las canaletas más utilizadas son:

- a. Tipo Balloffet: se caracteriza por tener paredes paralelas y fondo plano, por lo cual se hace extremadamente fácil su construcción, posee características de solidez y resistencia a las condiciones de campo.
- b. Medidor sin cuello (cutthroat): Consiste principalmente en una sección de entrada, una sección de salida, una garganta y un fondo aforador. El caudal (Q) del aforador se obtiene

¹⁷

<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=667>

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

midiendo las profundidades de flujo aguas arriba H_a y aguas abajo H_b de la garganta (figura 29).

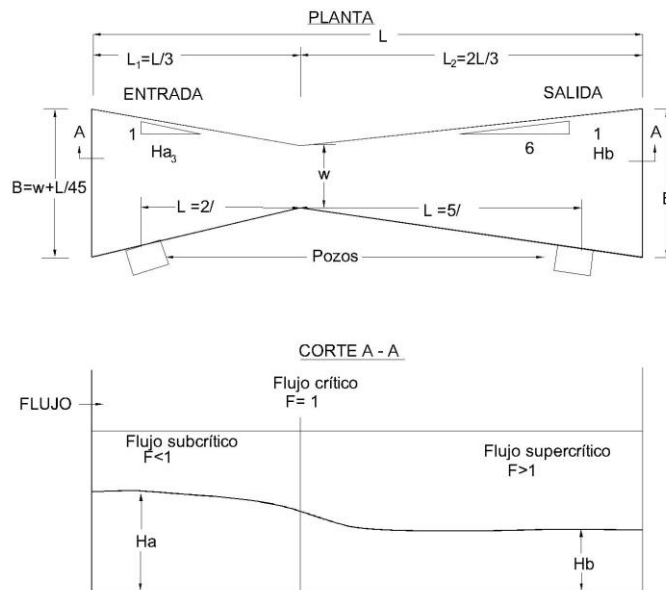
- c. Canaleta Parshall: está formado por tres secciones principales: una sección convergente de contracción que se localiza en su extremo aguas arriba, una garganta y una sección divergente o expansión aguas abajo (ver figura 30). Para determinar el caudal, se dispone de dos medidores de profundidad (H_a y H_b) (ver figura 31), los cuales se calibran colocando la cota "cero" coincidiendo con la cota de la cresta del canal (sección convergente). Opera como un dispositivo de cabeza sencilla con mínima pérdida de energía, por lo cual se utiliza en canales poco profundos y con escasa pendiente.

Las características geométricas y las ecuaciones para el cálculo del caudal en estos tipos de canaletas pueden consultarse en la literatura. Algunos aspectos también pueden ser consultados en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM (2004) disponible en la página web¹⁸.

C. Con molinete hidrométrico

Se basa en la determinación del área de la sección mojada u ocupada por el agua y de la velocidad del flujo. Este sistema de aforo es el de mayor uso y requiere que el flujo tenga un comportamiento laminar y que las líneas de flujo sean normales a la sección transversal de aforo. El procedimiento para el aforo de área-velocidad inicia con la selección del sitio de aforo, la cual debe cumplir los requerimientos indicados en la sección 2.2.1.

Figura 29. Esquema del medidor sin cuello (cutthroat)



Fuente: IDEAM, Sánchez F. D, 2004.

18

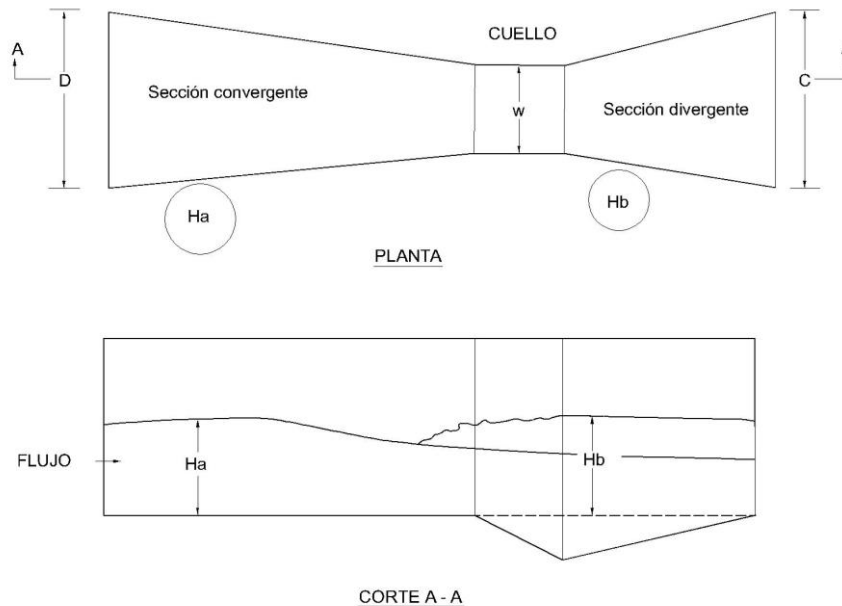
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=667>

Figura 30. Canaleta Parshall para medición de caudal en pequeñas corrientes





Fuente: IDEAM, Grupo de Redes, 2010.

Figura 31. Esquema de la canaleta Parshall



Fuente: IDEAM, Sánchez F. D, 2004.

Con base en la profundidad y el ancho de la sección de aforos, la velocidad de la corriente, la disposición de estructuras de apoyo como puentes o tarabitas y el tipo de régimen de los caudales predominantes, se determina el tipo de aforo que mejor se ajuste a las condiciones existentes.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- *Aforo por vadeo.* Se utiliza cuando la profundidad es menor a un metro (< 1 m) y la velocidad de la corriente menor de un metro por segundo (< 1 m/s).
- *Aforo por suspensión.* Se utiliza cuando la profundidad y la velocidad no permiten realizar el aforo por vadeo. Las mediciones se realizan desde un puente o una tarabita, y el correntómetro va suspendido desde un malacate o torno a través de un cable coaxial, que adicionalmente sirve para medir la profundidad en las diferentes abscisas de medición.
- *Aforo angular.* Se utiliza en grandes ríos, cuando la definición del abscisado no se puede realizar por mediciones directas con cinta o con marcaciones indirectas registradas en puentes o tarabitas. Para este tipo de aforos es necesario el apoyo topográfico para ubicar, a través de la sección del río, la posición que debe tener la lancha en el momento de la actividad foronómica.
- *Aforo en bote cautivo.* Se utiliza en ríos o canales medianos, donde es posible tender una manila o cable de orilla a orilla, que sirve de apoyo a la embarcación para contrarrestar el empuje de la corriente.
- *Aforo con bote móvil o lancha en movimiento.* Se utiliza en ríos muy anchos y caudalosos. Se instala en un bote un molinete especialmente diseñado que indica los componentes de la corriente y los valores instantáneos de la velocidad. Las mediciones se realizan atravesando el río a lo largo de un recorrido preestablecido perpendicular a la corriente. Durante la travesía, efectuada sin detenerse, un ecosonda registra la geometría de la sección transversal y el molinete en funcionamiento continuo mide las velocidades combinadas de la corriente y del bote. Estos datos, recogidos en 30 a 40 puntos de observación (verticales) a través del recorrido, se convierten en caudales. La velocidad registrada en cada punto de observación de la sección transversal es un vector de cantidad que representa la velocidad relativa de la corriente que pasa por el mecanismo del molinete¹⁹.

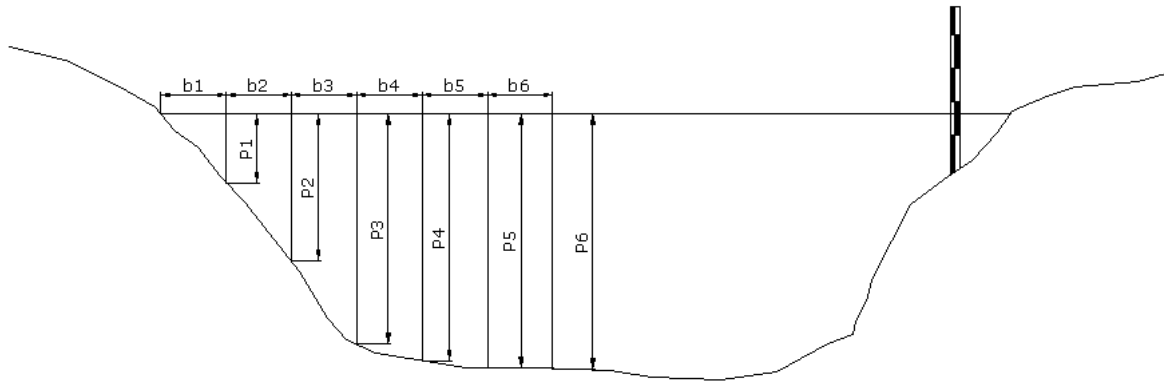
La tabla 4 muestra los equipos y otros requerimientos en cada uno de estos tipos de aforos. Los pasos para realizar el aforo por el método con molinete hidrométrico son los siguientes:

1. Selección del número de verticales

La precisión en la determinación del caudal depende en gran parte del número de verticales que se tomen para la ejecución de las mediciones, por lo tanto se deben seleccionar de forma que se pueda precisar la variación de la configuración del lecho de la corriente y la variación vertical y horizontal de la velocidad. La distancia entre verticales, correspondiente al ancho parcial, debe ser aquella que defina secciones parciales por las cuales no pase más del 10% del caudal total (figura 32). En este sentido debe tenerse en cuenta que la primera campaña de aforos debe programarse con un tiempo suficiente para efectuar estos estimativos.

¹⁹ WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION WMO. Guide to Hydrological Practices. Vol I, Vol II. WMO No 168. Sixth Edition. Geneva (Switzerland). 2008.

Figura 32. Sección transversal de aforo



Fuente: IDEAM, 2007.

Tabla 4. Requerimientos para diferentes tipos de aforos con molinete hidrométrico

Tipo de aforo	Personal necesario	Instrumentos necesarios
Por vadeo	Inspector Aforador Auxiliar	Molinete o micromolinete Contador de revoluciones Cinta métrica Varilla de vadeo Cartera de aforo
Por suspensión	Inspector Aforador Auxiliar	Molinete Contador de revoluciones Malacate y tabla con polea Escallos de 30, 60, 75 y 100 kg Transportador para medición del ángulo de arrastre Cartera de aforos y tabla de conversión para corrección de profundidades por ángulo de arrastre
Angular	Inspector Aforador Motorista Auxiliar de topografía	Molinete Contador de revoluciones Malacate y tabla con polea Escallos de 30, 60, 75 y 100 kg Jalones y banderolas de colores vivos Sextante o tránsito Lancha con motor fuera de borda Radios portátiles o celulares Cartera de aforos
Bote cautivo	Inspector Aforador Auxiliar Motorista	Molinete Contador de revoluciones Malacate y tabla con polea Escallos de 30, 60, 75 y 100 kg Bote Manila Cartera de aforos
Lancha en movimiento	Inspector Aforador Auxiliar técnico Motorista	Molinete Contador de revoluciones Soporte para fijación de molinete Jalones y banderolas de colores vivos

Tipo de aforo	Personal necesario	Instrumentos necesarios
		Sextante o tránsito Lancha con motor fuera de borda Ecosonda Batería de 12 voltios Cronómetro Cartera de aforos

Fuente: IDEAM, 2007.

2. *Determinación del ancho entre verticales*

El ancho de cada sección parcial se denomina ancho parcial y corresponde a la distancia existente entre dos verticales de medición consecutivas. Normalmente son iguales a lo ancho del cauce, aunque si el fondo del cauce es irregular deberá reducirse en los sectores más profundos para cumplir con la norma que establece que los caudales parciales deben ser inferiores al 10% del caudal total²⁰. El ancho total de la sección de aforos se encuentra sumando los anchos parciales. Las mediciones pueden ser directas (con cintas) o indirectas, mediante triangulación, éstas últimas en ríos grandes.

3. *Medición de la profundidad*

La profundidad total es la distancia en metros que existe en cada una de las verticales de medición entre la superficie del agua y el lecho de la corriente²¹. La sección de aforos se divide en un número de franjas, limitada cada una de ellas por dos verticales adyacentes, siendo P1 y P2, las profundidades correspondientes (figura 26). Los métodos varían desde utilización de una varilla graduada en aforos por vadeo, hasta malacate de tambor con cable coaxial, escandallo, molinete y contador de profundidad, en aforos por suspensión. Para aumentar la precisión de las mediciones de la profundidad, el escandallo puede proveerse de un dispositivo eléctrico que envíe directamente una señal tan pronto como la parte inferior del escandallo haga contacto con el lecho del río (figura 33).

La profundidad media de la sección es el promedio de las dos profundidades sucesivas y así para cada una de las secciones parciales

$$P_{\text{media}} = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right)$$

Donde:



P_{media} = Profundidad media entre verticales

P_1 y P_2 = Profundidades de las verticales 1 y 2.

Si el escandallo no pesa lo suficiente para mantenerse perpendicular y se crea un ángulo de arrastre, las mediciones de profundidad se deben corregir. Los factores de corrección que se

²⁰ WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION WMO. Guide to Hydrological Practices. Vol I, Vol II. WMO No 168. Sixth Edition. Geneva (Switzerland). 2008

²¹ KLOHN Wulf. Instrucciones para aforar con molinete. SCMH. 1973, en Sánchez F. F. 2006.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

aplican tienen en cuenta el ángulo de inclinación del cable en relación con la vertical y la curvatura de la parte sumergida de este debido a la presión de la masa de agua en movimiento.

Figura 33. Tocador de fondo tipo SEBA



Fuente: Sánchez F. D, IDEAM, 2006

El procedimiento específico para la determinación de estas correcciones y para medir la profundidad exacta se puede consultar en el documento Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM (2007), o en las guías que lo actualicen, que se puede bajar de la página web de la entidad²². El flujograma de la figura 34 muestra los pasos generales a seguir.

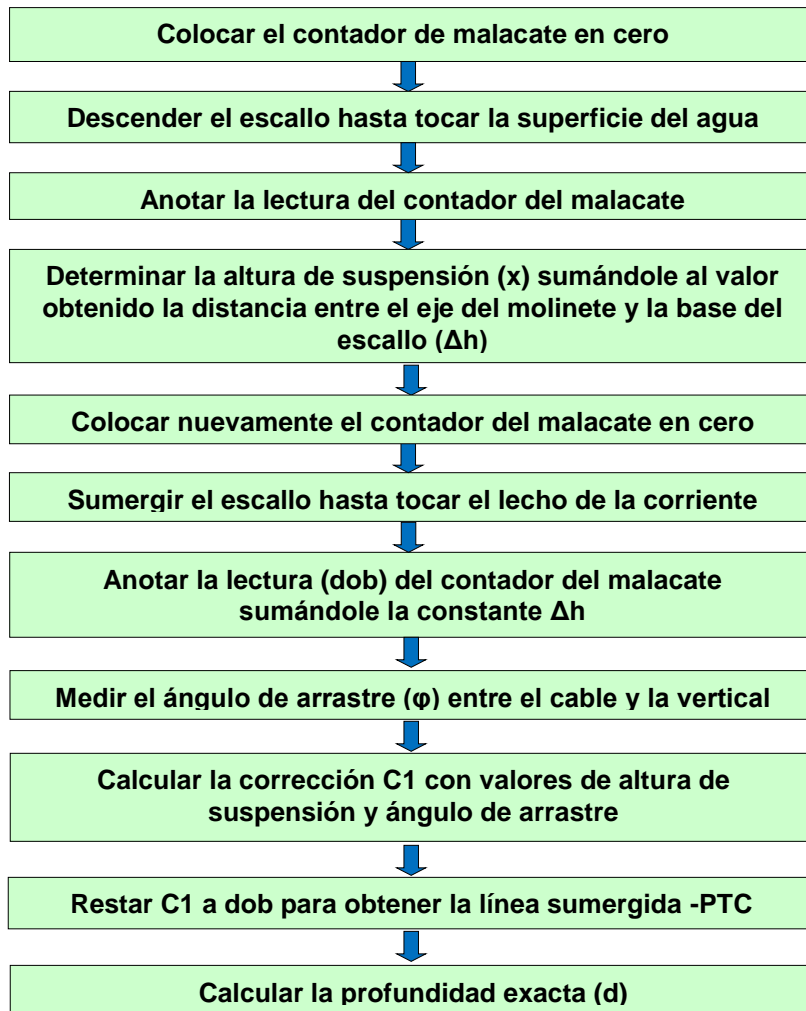
Las profundidades de aforo se calculan tomando los porcentajes correspondientes al método que se establezca para la determinación de la velocidad media en la vertical, directamente de la línea sumergida – PT (ver figura 35), ya que cualquier valor de porcentaje tomado sobre la hipotenusa PT, corresponde al mismo valor de la profundidad tomada en d. Se toman las velocidades en los puntos calculados (profundidades de aforo), teniendo el cuidado de sumar la corrección C1 por ángulo de arrastre, para tomar correctamente las profundidades. Cuando se realizan mediciones superficiales, no se debe sumar la corrección C1, ya que el ángulo de arrastre se reduce notablemente. Con los valores de PT y ϕ se calcula la corrección C2, por longitud de cable sumergido, el cual se resta de la longitud PT, encontrando así la profundidad total d (ver detalles en IDEAM 2007²³, citado).

²²

<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=667>

²³ <http://institucional.ideam.gov.co/> op cit

Figura 34. Procedimiento para determinar la línea de profundidad exacta



4. Cálculo del área parcial y total

El área de una sección parcial corresponde a la superficie de cada tramo en que se ha dividido el cauce y se encuentra multiplicando la profundidad media por el ancho parcial.

$$A_p = P_{media} * a_p$$

Donde:

A_p = Área parcial

a_p = ancho parcial

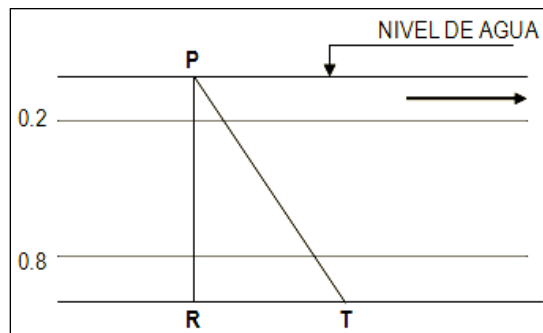
P_{media} = Profundidad media

El área total de la sección de aforos se obtiene sumando las áreas de las secciones parciales.

5. Medición de velocidad

La velocidad se determina en uno o más puntos de la vertical, contando en cada punto las revoluciones del rotor del molinete en un lapso no inferior a los 50 segundos. Si se sabe que la velocidad del agua está sujeta a pulsaciones periódicas, es recomendable que el molinete se exponga en cada punto de la nueva sección, durante un período mínimo de 3 minutos.

Figura 35. Valores a leer en el contador del malacate



Fuente: Sánchez F. D, IDEAM, 2006

El molinete debe sostenerse en la posición deseada, por medio de una varilla de vadeo en el caso de los canales de poca profundidad, o se debe suspender de un cable coaxial desde un puente o embarcación. Una vez que se haya colocado el molinete en el punto seleccionado de la vertical, se le orientará en dirección de la corriente antes de comenzar las mediciones. Si no se puede evitar el flujo oblicuo (en mediciones con embarcación), se debe medir el ángulo que forma la dirección del flujo normal con respecto a la sección transversal y hacer la corrección de la velocidad medida. Se han diseñado instrumentos especiales para medir el ángulo y la velocidad en un punto simultáneamente, sin embargo, en los casos en que no se cuente con estos instrumentos y el viento es insignificante, se debe considerar que el ángulo del flujo a través de la vertical es el mismo que el que se observa en la superficie. Si el ángulo medido con respecto a la normal es diferente a 90°, entonces la velocidad es:

$$V_{\text{normal}} = V_{\text{medida}} \times \cos \alpha$$

Donde:



V_{normal} = Velocidad en la normal

V_{medida} = Velocidad medida con el correntómetro

α = Ángulo medido con respecto a la normal

El molinete debe extraerse del agua para examinarlo, por lo menos cuando se pasa de una vertical a otra. La velocidad mínima de uso para obtener mediciones confiables con molinetes corrientes es de 0,15 m/s. Los molinetes especiales que permiten la realización de mediciones confiables por debajo de la velocidad deben ser ensayados previamente.

El eje horizontal del molinete no debe estar situado a una distancia menor que una vez o una

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

vez y media la altura del rotor con respecto a la superficie del agua, ni deberá estar a una distancia menor que tres veces la altura del rotor desde la parte inferior del canal; además, ninguna parte del molinete deberá rozar la superficie del agua.

La velocidad media del agua en cada vertical puede determinarse mediante métodos que se aplican dependiendo de la profundidad de la lámina de agua, de las condiciones del lecho, de la distribución de la velocidad en profundidad, y del grado de precisión que se quiere. Los métodos son:

- *Método de un punto a 60% de la profundidad total por debajo de la superficie.* Se emplea en secciones de poca profundidad, pero no menores a 40 centímetros. Para profundidades menores, la velocidad obtenida al 50% es representativa para el cálculo del aforo.
- *Método de dos puntos, a 20 y 80% de la profundidad total por debajo de la superficie.* El promedio de los dos valores puede considerarse como velocidad media en la vertical. Este método se emplea cuando la distribución de velocidades es regular y la profundidad es superior a unos 60 cm.

$$V_{media} = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2}$$

Donde:

V_{media} = Velocidad media en la vertical

$V_{0,2}$ y $V_{0,8}$ = Velocidades a 0,2 y 0,8 de la profundidad total, a partir de la superficie.

- *Método de tres puntos.* La velocidad se mide colocando el molinete en cada vertical a 20, 60 y 80 % de la profundidad total por debajo de la superficie. Debe utilizarse para mediciones bajo hielo o en canales cubiertos por vegetación acuática. El promedio de los tres valores puede ser considerado como la velocidad media en la vertical. Se puede también ponderar la medición al 60% y la velocidad media se obtendrá con la ecuación:

$$V_{media} = 0.25(V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})$$

Donde:

V_{media} = Velocidad media en la vertical

$V_{0,2}$, $V_{0,6}$ y $V_{0,8}$ = Velocidades a 0,2, 0,6 y 0,8 de la profundidad total, a partir de la superficie.

- *Método de cinco puntos (superficie - 20 - 60 - 80% - fondo).* Cuando se sitúa el correntómetro en superficie y fondo, este no debe quedar ni por fuera de la superficie del agua ni rozando el fondo del cauce. Se utiliza cuando la distribución vertical de la velocidad es muy irregular. La velocidad media se calcula en forma ponderada así:

$$V_{media} = 0.1(V_{super} + 3V_{0,2} + 3V_{0,6} + 2V_{0,8} + V_{fondo})$$

Donde:

V_{media} = Velocidad media en la vertical

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

$V_{0,2}$, $V_{0,6}$ y $V_{0,8}$ = Velocidades a 0,2, 0,6 y 0,8 de la profundidad total, a partir de la superficie.

V_{super} = Velocidad superficial

V_{fondo} = Velocidad en el fondo

- *Método puntual (once puntos)*. Se recomienda cuando se afora por primera vez, para conocer en detalle la distribución vertical de la velocidad. La velocidad media en la vertical se obtiene promediando los once valores de velocidad puntual.
- *Método superficial*. Se realizan mediciones de velocidad 20 cm por debajo de la superficie del agua. Se utiliza en crecientes que no permiten efectuar aforos convencionales. Se utiliza un factor K (relación entre la velocidad media y la velocidad superficial). Cuando no se tienen aforos anteriores y por consiguiente no se ha calculado el factor de conversión para cada uno de los aforos, se emplea 0,85, cifra promedio obtenida en experimentación en canales.

$$V_{media} = KV_{super}$$

Donde:

V_{media} = Velocidad media en la vertical

K = factor de relación entre la velocidad media y la velocidad superficial

V_{super} = Velocidad superficial

- *Método de integración*. En este método el molinete es sumergido y elevado a lo largo de toda la vertical a una velocidad superficial (m/s) uniforme. La velocidad de descenso o ascenso del molinete no deberá ser superior al 5% de la velocidad media del flujo y en todo caso deberá estar comprendida entre 0,04 y 0,10 m/s. En cada vertical se realizan dos ciclos completos y si los resultados difieren en más de 10%, se repite la medición.

6. Cálculo de área y caudal

Para el cálculo del caudal correspondiente a un aforo con molinete hidrométrico se procede de la siguiente manera:



- a. A partir de los datos de profundidad, ancho y velocidad medidos en campo para cada vertical se calcula las anteriores variables para cada sección parcial.
 - La profundidad media de la sección es el promedio de las dos profundidades sucesivas y así para cada una de las secciones parciales.

$$P_{media} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Donde:

P_{media} = Profundidad media entre verticales

P_1 y P_2 = Profundidades de las verticales 1 y 2.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- El área de una sección parcial corresponde a la superficie de cada tramo en que se ha dividido el cauce y se encuentra multiplicando la profundidad media por el ancho parcial.

$$A_{parcial} = P_{media} \cdot b$$

Donde:

$A_{parcial}$ = Área de la sección parcial

P_{media} = profundidad media

b = ancho parcial.

- La velocidad media de la sección parcial de aforos corresponde al promedio de las velocidades conocidas de verticales sucesivas.

$$V_{media} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Donde:

V_{media} = Velocidad media de la sección parcial

V_1 y V_2 = Velocidades de las dos verticales sucesivas

- El producto del área parcial multiplicada por la velocidad media de la sección parcial define el caudal parcial, que corresponde al caudal que pasa por cada tramo del cauce.

$$Q_{parcial} = A_{parcial} \cdot V_{media}$$

Donde:

$Q_{parcial}$ = Caudal de la sección parcial

$A_{parcial}$ = Área de la sección parcial

V_{media} = Velocidad media de la sección parcial

Los caudales parciales se suman para obtener el caudal total. El área total de la sección de aforos se obtiene sumando las áreas de las secciones parciales. Con la relación del caudal total (Q_{total}) y el área total (A_{total}) se obtiene la velocidad media (V_{media}) de la sección de aforos.

$$Q_{total} = A_{total} \cdot V_{media}$$

Q_{total} = Caudal total del aforo



A_{total} = Área total de la sección de aforo (suma de las áreas parciales)

V_{media} = Velocidad media de la sección de aforos

El IDEAM maneja los formatos tipo 4 y 5 que se presentan en el Anexo 2 para el registro de los datos de aforos y para el cálculo del caudal.

D. Aforo con flotadores

El aforo con flotadores, sigue los mismos principios del aforo área-velocidad, es decir, determina el caudal como una función del área de la sección y la velocidad superficial de flujo. Se utiliza cuando se requiere medir en forma rápida el caudal en una corriente que presenta

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

una lámina de pocos centímetros de profundidad, para lo cual se mide la velocidad superficial a lo ancho del cauce utilizando flotadores especialmente diseñados y suministrados para este efecto.

Generalmente se toman las velocidades a 1/4, 1/2 y 3/4 del ancho de la sección. Se selecciona un tramo de la corriente limitado por dos secciones, entre las cuales las líneas de flujo sean paralelas. En la sección uno, se colocan los flotadores y en la sección dos se registra la llegada, tomando el tiempo de desplazamiento de cada uno de los flotadores.

La velocidad media superficial de la corriente se obtiene promediando las tres velocidades obtenida para cada flotador. Para láminas pequeñas la velocidad en la vertical es uniforme, por lo tanto la velocidad superficial es representativa para toda la sección de aforo. El área de la sección transversal se establece mediante sondeos de profundidad y medición del ancho del cauce. El caudal se obtiene mediante el producto entre el área transversal (A) y la velocidad superficial obtenida (V), con la siguiente fórmula: $Q = A \cdot V$

E. Aforo con trazadores

Para secciones de aforo donde se encuentren grandes turbulencias y remolinos, régimen torrencial, altas pendientes, poca profundidad, lechos inestables y líneas de flujo desordenadas se recomienda construir instalaciones para realizar aforos por trazadores. Los aforos con trazadores también llamados aforos químicos, permiten conocer el caudal a partir de la variación de concentración de una sustancia inyectada en el cauce que permite estudiar su comportamiento y evolución.

El procedimiento consiste en inyectar un trazador en una sección de la corriente y realizar aguas abajo, a una distancia lo suficientemente lejos para que haya dilución total, mediciones de conductividad eléctrica para detectar el paso de la nube y así calcular el caudal. En todo este desarrollo no se requiere conocer el área de la sección de medición. Las sustancias que más se utilizan en la realización de aforos con trazadores son: cloruro de sodio, dicromato de sodio, cloruro de litio, rodamina W y elementos radiactivos como los isótopos radiactivos bromina 82, yodina 131 y sodio 24, en concentraciones o niveles que no representen peligro para el ambiente y la salud. La tabla 5 muestra los requerimientos básicos para un aforo con trazadores.

Una vez seleccionado el trazador apropiado, se procede a seleccionar un sitio de emplazamiento para la medición del caudal, donde se produzca una mezcla homogénea de la solución inyectada en el agua de la corriente en un tramo relativamente corto de un canal. Seleccionado el sitio se determina:

- La distancia aproximada en metros, requerida entre el sitio de inyección y el sitio de medición.
- El peso o cantidad de trazador a emplear en la medición de caudal, a partir de aproximaciones realizadas antes de iniciar el procedimiento.

Tabla 5. Requerimientos para aforo por dilución con trazadores

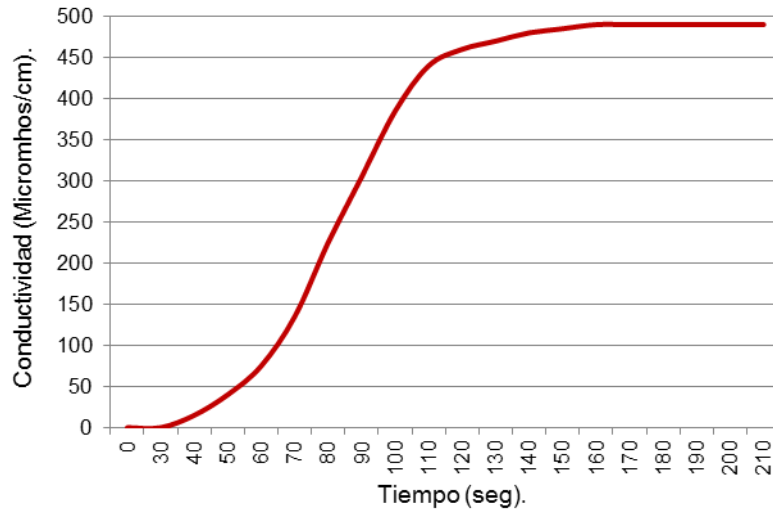
Tipo de aforo	Personal necesario	Instrumentos necesarios
Por dilución	Inspector Aforador Auxiliar técnico	Conductímetro Cronómetro Botella de Mariotte Cinta métrica Dos botellas de 1 litro y 500 ml Baldes graduados Mezclador que no altere la solución Agua destilada Trazador Frascos de 100 ml Radios portátiles o celulares Cartera de aforos

- Realización del aforo. Para este efecto se pueden emplear dos métodos para la inyección del trazador: la inyección de la sustancia a un caudal constante y la inyección instantánea. El procedimiento en campo consiste en verter en la corriente una solución del elemento químico o radiactivo seleccionado a un ritmo constante o instantáneamente, y la solución se diluirá en la corriente por efecto de la mezcla. La relación entre el caudal constante de la solución inyectada y la concentración resultante en la corriente en el sitio de medición permite conocer el caudal de la corriente. La precisión del método depende principalmente de que se produzca una dilución uniforme de la sustancia trazadora en la sección transversal y que los materiales, sedimentos, plantas u organismos del lecho no la absorban y/o que la sustancia no se descomponga.
- El tiempo de muestreo dependerá del método de inyección seleccionado. Para el caso de disolución de sales, es posible graficar la conductividad contra el tiempo (figuras 36 y 37) determinado así el comienzo y el final del aforo; las mediciones de conductividad se realizan desde el momento que se inicia la inyección continua o instantánea de la solución y el muestreo comienza cuando se registra el incremento de la conductividad, el cual se continúa a intervalos de tiempo (Δt), hasta que la conductividad se haga constante para el primer caso, o hasta que la conductividad sea igual a la inicial en el caso de la inyección instantánea, cuando el aforo termina.

El tiempo (T_i), medido desde el momento de iniciarse la inyección, hasta el instante en que comienza a pasar la onda, está dado por la relación entre la distancia L y la velocidad (V_e) de la corriente en m/s, estimada previamente para el tramo definido ($T_i = L/V_e$).

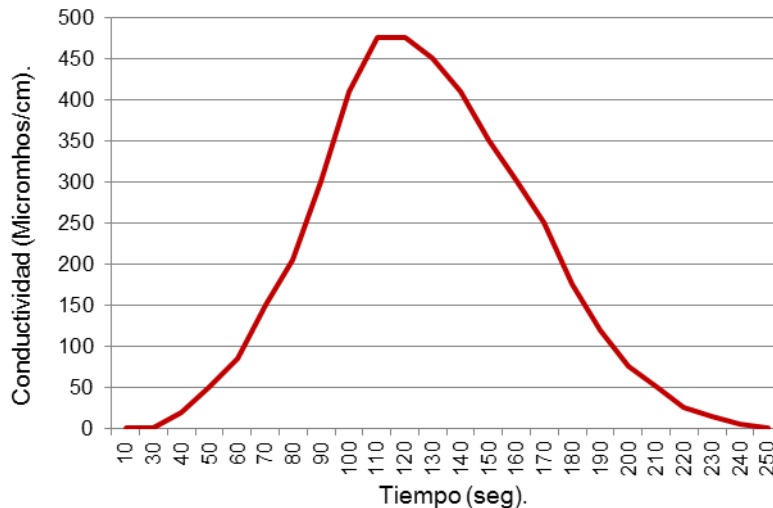
El tiempo de muestreo (T) viene dado por la sumatoria de los Δt constantes, empleados para la extracción de cada una de las muestras, para las cuales se emplean recipientes con capacidad de 100 mililitros. Este tiempo depende, en el caso de inyección constante, del tiempo que dure la inyección más el T_i y en el caso de inyección instantánea, del tiempo que tarde en pasar totalmente la onda de trazador.

Figura 36. Conductividad según inyección constante



Fuente: IDEAM, Sánchez, F. D. 2004

Figura 37. Conductividad según inyección instantánea

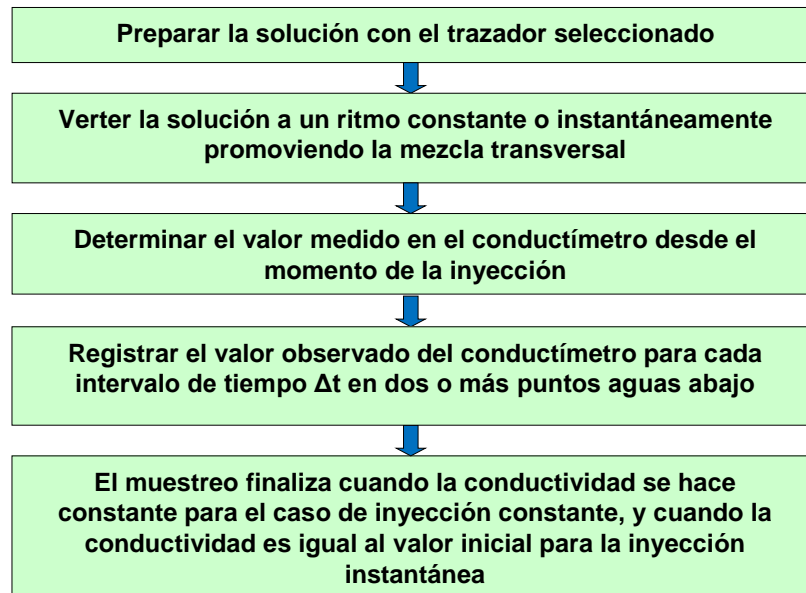


Fuente: IDEAM, Sánchez, F. D. 2004.

Es necesario que el número de muestras tomadas sea suficiente para definir con precisión el comportamiento de las concentraciones durante el aforo. Por lo general, se acostumbra utilizar intervalos de tiempo (Δt) de 10 - 15 - 20 - 25 ó 30 segundos (IDEAM, Sánchez, F. F., 2007; OMM, 1994-2008).

La figura 38 muestra el procedimiento para el aforo por dilución con trazadores.

Figura 38. Procedimiento para aforo por dilución con trazadores



Para el cálculo del caudal se sigue el siguiente procedimiento:

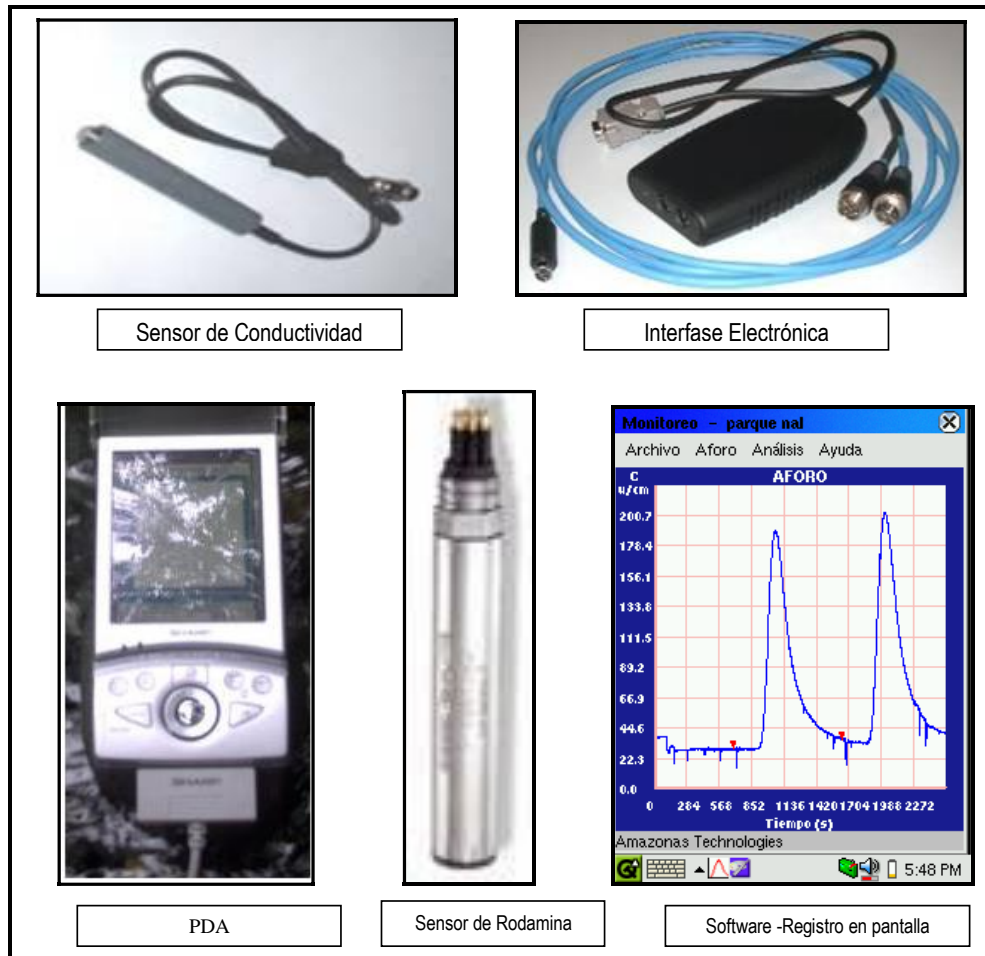
- A partir de los datos de conductividad es posible obtener los datos de concentración mediante la curva de calibración del conductímetro.
- Con los datos iniciales del aforo y los datos obtenidos de concentración y tiempo, se calcula el caudal.
- El método de cálculo difiere si se trata de inyección continua o instantánea. Las fórmulas a emplear para el cálculo de caudal, así como de los factores que entran ellas pueden consultarse en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2007) o en los anexos de la Guía para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2004), los cuales pueden bajarse de la página web de esta entidad.

Aforo con trazadores automatizado

Recientemente se ha puesto en práctica en el país (IDEAM, Sánchez, F. F. 2004) un procedimiento automatizado, aplicable a todo tipo de cauces, desde caudales muy bajos (pocos litros) hasta caudales muy grandes (100 m³/s), con trazador fluorimétrico. La señal se toma con electrónica de dos tipos de sensores (cloruro de sodio - sal y rodamina) y el análisis lo hace un PC manual mediante modelos físico - matemáticos propios que producen y entregan la información en tiempo real y la almacenan en memoria.

El sistema consta de un sensor de conductividad eléctrica, una interfase electrónica, un computador portátil y un software para procesamiento, análisis, almacenamiento y consulta de información (ver figura 39). En la figura 40 se ilustra el procedimiento para el aforo con trazadores automatizados.

Figura 39. Componentes de un aforo con trazadores automatizado



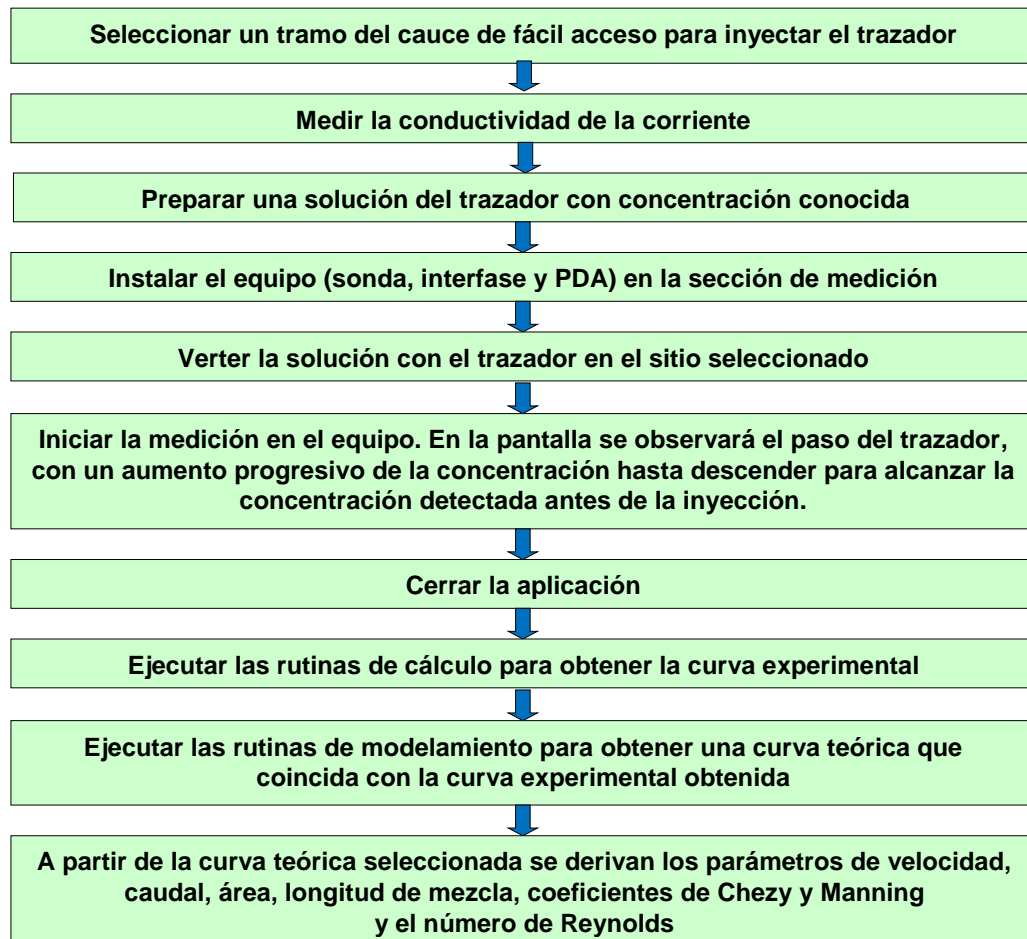
Fuente: IDEAM, Sánchez, F. D. 2004.

El equipo mide parámetros hidráulicos como la velocidad y el caudal y permite establecer parámetros de geomorfología de cauces representados en la rugosidad según Manning y Chezy, además calcula la longitud de mezcla, parámetro que alimenta los modelos de calidad del agua, mediante los cuales se establece la capacidad de asimilación de un vertimiento por parte de una corriente, lo cual facilita la toma de decisiones en gestión ambiental del agua.

Otros aspectos del método de aforo con trazadores puede consultarse en la Guía para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM 2004), disponible en la página web del IDEAM²⁴.

²⁴ <http://institucional.ideam.gov.co/> op cit

Figura 40. Procedimiento para aforo por dilución con trazadores automatizado



F. Aforo con sensores ultrasónicos

Tal como mencionó en la sección 2.3.1.1, los aforos con sensores acústicos utilizan un equipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), basado en el efecto Doppler, el cual consta esencialmente de un perfilador (ADCP), un bote para sujetar el perfilador, un transmisor BlueTooth, una PDA a prueba de agua, el software y el programa para PC.

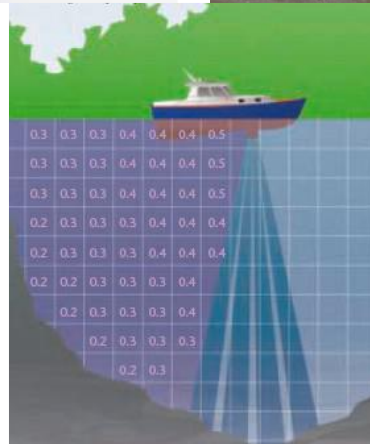
El ADCP utiliza el efecto Doppler transmitiendo sonido a una frecuencia fija y escuchando los ecos retornados por los reflectores presentes en el agua, como pequeñas partículas o plancton que reflejan el sonido hacia el ADCP, los cuales se mueven a la misma velocidad horizontal del agua. Cuando el sonido enviado por el ADCP llega a los reflectores, este se desplaza a una mayor frecuencia debido al efecto Doppler; este desplazamiento frecuencial es proporcional a la velocidad relativa entre el ADCP y los reflectores. Parte de este sonido desplazado es reflejado hacia el ADCP donde se recibe desplazado una segunda vez. Los archivos generados por el equipo pueden llevarse las gráficas a impresión a Excel mediante el software del equipo, así

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

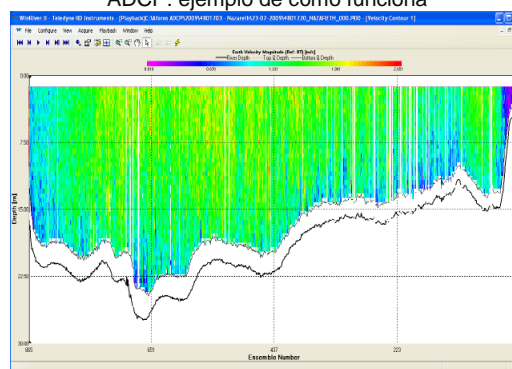
como la tabla de trayectos para plotear el aforo.

Para la realización del aforo, el equipo, montado sobre el bote, se desplaza de vertical en vertical a través de la sección transversal, desde la estructura de aforo (puente, tarabita, bote u otra), midiendo al tiempo el perfil vertical de velocidades y las profundidades en cada vertical. El equipo viene acompañado de un programa que calcula en tiempo real el caudal a partir de los registros de velocidad y profundidad (ver ilustración del aforo en figura 41).

Figura 41. Ilustración del procedimiento de medición con medidores Doppler ADCP desde un bote



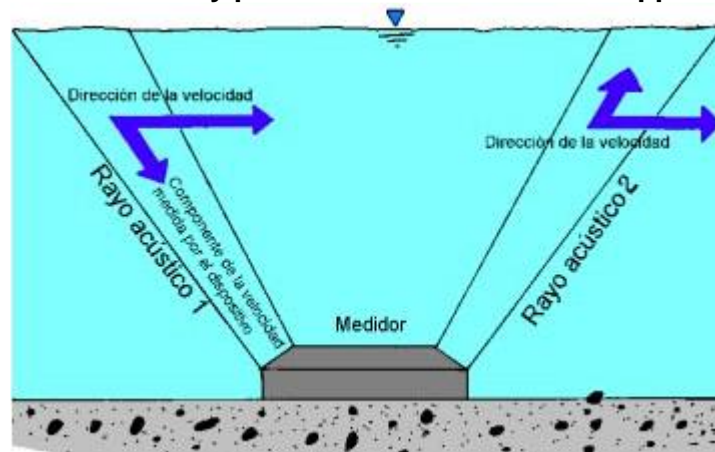
ADCP: ejemplo de cómo funciona



ADCP: ejemplo de perfil de profundidad
Fuente: IDEAM, Grupo de Redes, 2011.

Para la medición del caudal mediante medidores Doppler de lecho (ver ADFM o UDFD, sección 2.3.1.1) no hace falta ningún procedimiento especial. El equipo colocado en el fondo del canal mide la velocidad del agua en varias direcciones y la profundidad y, mediante un programa de cómputo, calcula el área hidráulica y el caudal, datos que puede almacenar en un datalogger y transmitirlos a un centro de control según la programación que al efecto se realice (ver figura 42).

Figura 42. Medición de velocidad y profundidad con medidor Doppler de lecho



Fuente: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Ultrasonic_Doppler_canales_pdf.

2.4. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAUDALES

2.4.1. Registro de datos de campo de aforos líquidos



El primer paso para la generación de estadísticas de caudal de una corriente de agua es la realización de aforos o mediciones directas de caudal. Cada uno de estos aforos tiene relacionado un nivel de la corriente, el cual es medido en el momento en que se hace el aforo, en la mira o instrumento registrador.

Para el registro de los datos del aforo en campo, se debe contar con formatos adecuados, para lo cual se pueden tomar como base los formatos tipo 4 y 5 que se muestran en el Anexo 2.

2.4.2. Entrada de datos

Entrada de datos de aforos. Consiste en el ingreso al sistema de información de la cartera de campo de los aforos realizados en las estaciones hidrométricas. El sistema de información debe permitir el almacenamiento de los datos y su respectiva consulta a través de búsquedas dinámicas (por código de identificación de la estación, por fecha del aforo, etc.). Adicionalmente, el sistema debe tener criterios de validación y control básicos para evitar el mínimo de errores al momento de la digitación, así como contar con procesos ágiles para la corrección de errores.

Entrada de datos de la curva de gastos. El sistema debe permitir la captura inicial de las

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

curvas de gastos para cada estación y para una vigencia (ver procesamiento de curva de gastos en sección siguiente). Éstas se pueden ingresar y almacenar de dos maneras:

1. En forma tabulada: de los puntos de la curva de gastos se extraen los puntos de la curva en forma de tabla (pares de puntos nivel-caudal),
2. En forma funcional: ingreso de una ecuación en donde el caudal es la variable dependiente y el nivel es la variable independiente.

2.4.3. Cálculos y procesamiento de datos

Aforos. Una vez digitados los datos de la cartera de campo, el aforo es procesado para calcular el dato del caudal y las demás características asociadas a este cálculo (área, velocidad, ancho, etc.), a través de programas diseñados previamente de las ecuaciones que se han mencionado en los métodos y tipo de aforo.

Los resultados del proceso o cálculos deben quedar debidamente almacenados en el sistema de manera secuencial y permitir correcciones en caso de detectarse errores.

Curvas de calibración. Cuando se han realizado suficientes aforos para representar la gama de variación de los niveles de una corriente, es posible definir la curva de calibración de una estación. La curva de calibración de una estación hidrométrica es la expresión gráfica de la relación existente entre los niveles del agua y los caudales de la corriente, generalmente en régimen permanente (curva HQ). La vigencia de la curva de calibración estará condicionada por el tiempo en se mantengan uniformes las condiciones geométricas de la sección.

La curva es aproximadamente parabólica, cuando su representación está en coordenadas lineales y con tendencia a recta cuando las coordenadas son logarítmicas. Su forma puede presentar algunas irregularidades si la sección transversal es irregular, es decir, cuando las características geométricas son inestables al cambio de las condiciones climáticas de la zona. Los aforos que se utilizan para elaborar las curvas de calibración deben tener previamente un control de calidad descrito en la sección 2.5.

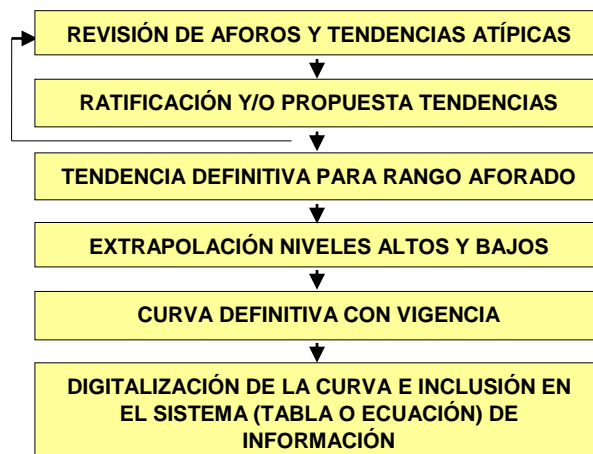
Si los caudales medidos no cubren toda la gama de variación de niveles, se hace necesaria la extrapolación de la curva. El procedimiento para construir la curva de calibración y los métodos para la extrapolación de la curva pueden ser consultados en la Guía para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2004) que se puede consultar en la página Web, o en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2007). Una descripción muy breve, extractada de los documentos anteriores, se presenta en el Anexo 1. La figura 43 muestra el proceso general de construcción de una curva de calibración.

Cálculo y procesamiento de caudales. Para el cálculo de los caudales deben estar disponibles, en la base de datos, los siguientes datos e información:

1. Los niveles horarios validados, es decir verificados en cuanto a calidad y homogeneidad, de acuerdo con el procedimiento enunciado en el Protocolo de monitoreo de niveles.

2. Las tablas o ecuaciones de las curvas de gastos, con los rangos de extrapolación técnicamente sustentados de acuerdo con el método de extrapolación utilizado.

Figura 43. Proceso general de construcción y/o actualización de una curva de calibración



Fuente: IDEAM, 2011

Una vez el sistema cuente con dichos datos, se hace el proceso de convertir los niveles en caudales a través de la ecuación o de la tabla, y generar datos de caudal en los periodos de tiempo en que está la estructura del sistema de información (día, mes, año).

Un aspecto fundamental es que cada ecuación, curva o tabla de calibración tiene una vigencia que debe estar claramente definida para poder generar caudales dentro de esta misma vigencia. Adicionalmente, si una curva de gastos fue extrapolada, debe quedar identificado en el sistema el nivel a partir del cual se extrapola tanto para niveles altos como para niveles bajos, de tal manera que durante el proceso de generación de los caudales el sistema identifique los caudales que se generan a través de una metodología de extrapolación más no tienen el soporte de aforos.

2.4.4. Salidas

Aforos. El sistema debe permitir la edición del cálculo del aforo líquido como de los resúmenes de aforos.

Con el almacenamiento de datos se debe ubicar toda la información procesada, validada y consistente en el banco de datos, en donde podrá ser utilizada por los diferentes usuarios.

Curva de calibración. El sistema debe estar en capacidad de producir informes de las curvas de calibración a través de filtros (por estación, por vigencia de las curvas, etc.).

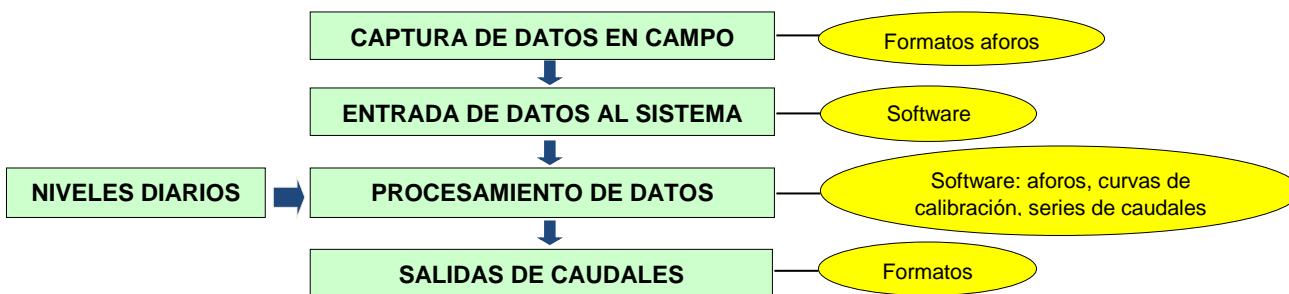
Caudales. Como resultado del procesamiento primario, se generan las salidas del sistema, conformadas por:

- Informes de caudales característicos (o que caracterizan la estación), que, al igual que para los niveles, se pueden hacer a nivel diario, mensual y multianual. Por ejemplo:
 - Caudal medio diario
 - Caudal medio mensual
 - Caudal máximo mensual
 - Caudal mínimo mensual
 - Adicionalmente se pueden tener datos a escalas temporales como la anual y la multianual

Para estos fines se entiende que el caudal medio diario es el promedio aritmético de los valores horarios; el caudal medio mensual es el promedio aritmético de los valores diarios de un determinado mes; el caudal medio anual es el promedio aritmético de los 365 ó 366 caudales medios diarios; el caudal máximo mensual es el valor mes; y, el caudal mínimo mensual es el menor valor diario del mes.

En casos de estaciones de propiedad de autoridades ambientales regionales u otros organismos, éstas podrán adoptar los formularios de salida que permitan relacionar estos mismos datos como mínimo.

Figura 44. Flujoograma general del procesamiento básico de la información de caudales



2.5. VALIDACIÓN DE DATOS: CONTROL DE CALIDAD



2.5.1. Posibles fallas y causas de errores en los procedimientos e instrumentos de aforo

La tabla 6 muestra una relación de las fallas y/o errores más frecuentes en la realización de aforos líquidos y en la operación y mantenimiento de los equipos de aforo. Es evidente que el control de calidad en la medición de caudales debe empezar con evitar estos errores.

2.5.2. Validación de datos de caudales

Las series de caudales se generan de las series de niveles, a partir de la relación Nivel-Caudal (HQ). Por tanto, los posibles errores en los caudales se deben a errores en los niveles y/o a errores en la curva de calibración.

Al igual que para niveles (ver sección 1.5), el sistema de control de calidad de caudales contempla tres etapas como mínimo: preverificación en la estación, validación en oficina sobre

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

libretas y validación final post-proceso, en el sistema, los cuales se describen a continuación (figura 46):

2.5.2.1. Preverificación de los datos en la estación

Esta se lleva a cabo en la propia estación, durante la realización del aforo líquido.



- Aseguramiento en el cumplimiento de todos los requisitos técnicos para la realización del aforo, en particular que se eviten los errores descritos en la tabla 6 del presente protocolo.

Tabla 6. Errores más frecuentes en la realización de aforos líquidos

Errores de selección estación de aforos	Errores de operación en medición de profundidad y velocidad	Errores de procesamiento y construcción de la curva de gastos
<ul style="list-style-type: none"> • Lecho inestable, fangoso y/o de geometría irregular. • Tramo recto muy corto • Sección poco profunda y de márgenes naturales bajas. • Pendiente longitudinal variable en el tramo, con formación de remolinos. • Corriente no uniforme. • La estación no es representativa de la corriente. • Ausencia de levantamiento hidrotopográfico y/o desactualización del mismo. • Difícil acceso. • Déficit de observadores. • Soportes sin firmeza 	<ul style="list-style-type: none"> • Error de lectura en contador de revoluciones (en caso de molinetes). • Pantalla del contador averiada • Hélice averiada • Molinete y/o sensor descalibrado. • Molinete o sensor inadecuado a la velocidad y profundidad de la corriente. • Lecturas mal anotadas (por ejemplo, 5 en lugar de 0.5, etc.). • Anotaciones ilegibles o dudosas. • Falta de papelería adecuada (libretas). • Formato sin identificar (nombre y código estación, fechas). • Escandallo sin suficiente peso para contrarrestar ángulo de arrastre, y/o no corrección del mismo en los cálculos de profundidad. • No colocar el molinete en dirección de la corriente, y/o no hacer la corrección de velocidad por ángulo de flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diferencia de más del 1% entre el caudal obtenido de la curva de calibración y el caudal obtenido de multiplicar las curvas de velocidad y área en función del nivel (H). • Dispersión de más del 10% entre los caudales obtenidos a través de la curva de calibración vigente y los caudales aforados. Si esto no ocurre, la curva debe ajustarse mediante campañas intensivas de aforos
NOTA: Se deben tener en cuenta, además, los errores debidos a la medición del nivel (ver sección 1.5)		

Fuente: IDEAM, 2007

- Paralelamente, durante la inspección, se debe examinar el estado de la instalación de aforos y efectuar las labores de mantenimiento, retiro e instalación de partes que sean necesarias en los instrumentos de aforo.
- Se deben realizar los trabajos de hidrotopografía que se requieran, verificar las cotas cero y el empalme de los tramos de mira.
- Se debe verificar el correcto funcionamiento del limnómetro y/o registradores, tal como se explica en las secciones 1.3.1, 1.3.2 y 1.3.3 del protocolo de niveles.
- Se deben anotar las observaciones y recomendaciones sobre la estación y la operación de la misma.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

2.5.2.2. Verificación de los datos sobre la libreta

Una vez en oficina, se revisa el aforo realizado y la información registrada, con el fin de detectar errores, tal como indica a continuación:

- Se evalúa la calidad de los registros del aforo, según sean: confiables, incompletos o dudosos. Esto se hace mediante el examen de la libreta de aforos diligenciada por el aforador.
 - No anotar correctamente el nombre de la estación, la corriente, la fecha y la hora del aforo, antes de iniciarlo.
 - No registrar los niveles del agua durante el aforo, el molinete utilizado y otros datos requeridos en el formato de aforo.
 - Error en la anotación de las lecturas de revoluciones, profundidad, ancho de sección y otros datos necesarios para el aforo.
 - Anotaciones ilegibles o dudosas.
- Luego se calcula el aforo según las instrucciones del formato, y se procede a la grabación de los datos, siguiendo las especificaciones e instrucciones técnicas del software que se tenga implementado. Una vez grabados los datos del aforo de cada estación, se debe realizar una revisión para detectar posibles errores de digitación y hacer las respectivas correcciones.

2.5.2.3. Validación final post-proceso



Caudales

La validación de caudales tiene por objeto detectar los errores de observación o ingreso de datos. Es posible distinguir tres tipos de errores: absolutos, relativos y físico- estadísticos.

- Los errores absolutos son datos o códigos que exceden los valores preestablecidos, por ejemplo, una fecha con más de 30 o 31 días, según el mes; una coordenada geográfica más allá de las coordenadas límites de la jurisdicción o con una precisión menor o mayor a la requerida por la escala. Hoy día se pueden minimizar este tipo de errores a través de la programación de filtros en el software en el que se realiza la digitación y procesamiento.
- Los errores relativos incluyen, al igual que para los niveles:

A. Una gama prevista de caudales.

Al inicio de operación de una estación y/o durante las etapas iniciales de desarrollo de la base de datos, se recomienda asignar límites de tolerancia bastante amplios, los cuales pueden ser acotados posteriormente, cuando se logre un mejor conocimiento estadístico de las variaciones de cada parámetro.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Si bien se requiere un análisis lo más completo posible de las series históricas, las gamas esperadas para el método A deberían ser calculadas para distintos intervalos de tiempo, incluido el intervalo de observación de los datos existentes, debido a que la varianza de los datos disminuye con el incremento de tiempo. Los caudales diarios se podrían comparar inicialmente con una gama esperada de valores diarios para un período de tiempo determinado, por ejemplo, el mes en curso. Como es posible que cada valor diario pueda caer en la gama esperada, pero que el conjunto total de datos sea sistemáticamente falso, demasiado alto o bajo, los controles posteriores deberían realizarse para un período de tiempo más largo. Así, al final de cada mes, el promedio de los valores diarios del mes en curso debe ser comparado con el promedio a largo plazo del mes dado. En forma similar, al final de cada año, el promedio para el año en curso se debe comparar con el promedio anual a largo plazo. Esta técnica es de aplicación general en hidrología a todas las series de datos cronológicos (aplica la misma observación que en niveles).

Para verificar los caudales máximos instantáneos, se hace una comparación entre los caudales máximos promedio diarios y su correspondiente caudal máximo instantáneo. El resultado es que los caudales máximos instantáneos deben ser mayores o por lo menos iguales a los caudales máximos promedio diarios

B. El cambio máximo esperado del caudal entre observaciones sucesivas.

Este método se basa en la comparación de cada dato con la observación precedente, y se aplica a las variables que muestren una correlación serial importante, como es el caso de los caudales de ríos.

C. La diferencia máxima esperada en los caudales entre estaciones cercanas.

Este método es una variación del método B, pero usa criterios de cambios aceptables en el espacio en vez de los cambios en el tiempo. Evidentemente, es particularmente efectivo para valores de caudales de ríos de la misma cuenca, aunque en cuencas más grandes algunos datos rezagados pueden ser necesarios antes de hacer las comparaciones entre las estaciones. El principal método de este tipo es el balance de caudales.

Balance de caudales. Es una prueba alternativa para comprobar si una variación por fuera de rango es aleatoria o asignable. Esta es una herramienta para determinar la variabilidad uniforme de los caudales entre estaciones de la misma cuenca. Consiste en la comparación de los caudales (también puede hacerse en algunos casos para la variable niveles, aunque en tal caso lo que aplica es la visualización de tendencias mas no necesariamente de los valores) medios diarios, mensuales o anuales entre estaciones cercanas, los cuales deben guardar correlación en términos de conservación de la masa, especialmente si están sobre una misma corriente. Este tipo de análisis se hace también volumétricamente, teniendo en cuenta los aportes y desviaciones de los afluentes y efluentes, es decir se establecen balances de entradas y salidas registradas en las estaciones ubicadas dentro de la cuenca, teniendo en cuenta los tiempos de propagación de ondas entre ellas, lo cual permite conformar el modelo de drenaje de la misma (ver proceso general de revisión de balances hidrológicos en figura 45).

Complementariamente, otro control de calidad del dato es comparar el caudal con las precipitaciones registradas en la cuenca hidrográfica, que, aunque no es una fórmula ideal, sí permite observar la coherencia entre ambas variables.

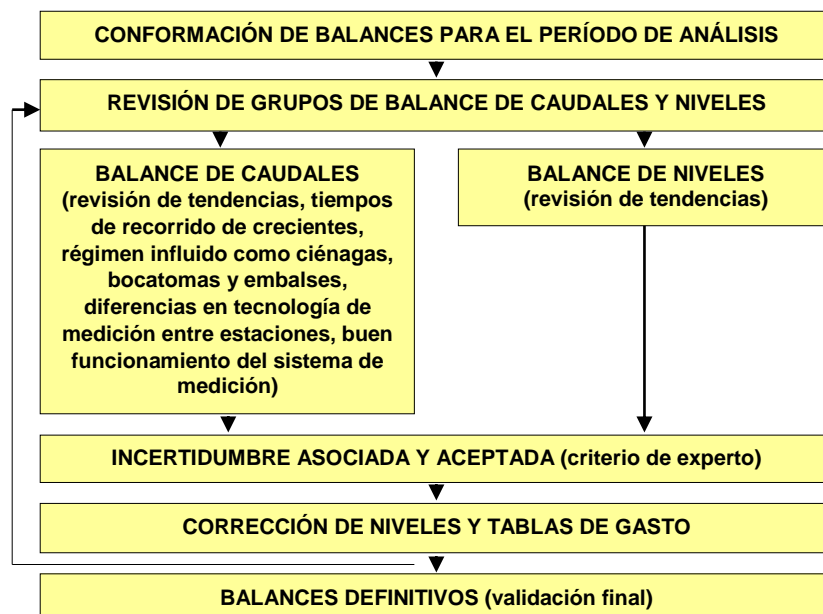
El análisis en conjunto de estos errores determina la consistencia de los datos de caudal.

Curva de calibración

La construcción de la curva de calibración puede tener errores en sí misma, debido a las siguientes fuentes o causas: a) error sistemático de la metodología de aforo, b) factores hidráulicos y c) factores morfológicos del cauce. Como resultado, la dispersión de los puntos de aforo (caudal vs. nivel) puede llegar a ser muy alta, lo que invalida los datos de caudal estimados con base en la curva.

La detección y corrección de errores de la curva de calibración se puede hacer mediante la comparación entre las curvas $H = f(Q)$, $H = f(A)$ y $H = f(V)$ resultantes de los aforos (ver Anexo 1). El valor absoluto de ΔQ , obtenido mediante la comparación del caudal (Q) obtenido de la curva $H = f(Q)$, construida con los aforos, y los que se obtienen con el producto de las áreas por las velocidades, logradas ambas por medio de las curvas $H = f(A)$ y $H = f(V)$ para los mismos niveles de los aforos, no puede superar el 1%. En caso de que se supere este valor es necesario corregir el trazado de las curvas $H = f(Q)$, $H = f(A)$ y $H = f(V)$.

Figura 45. Proceso de validación de balances hidrológicos



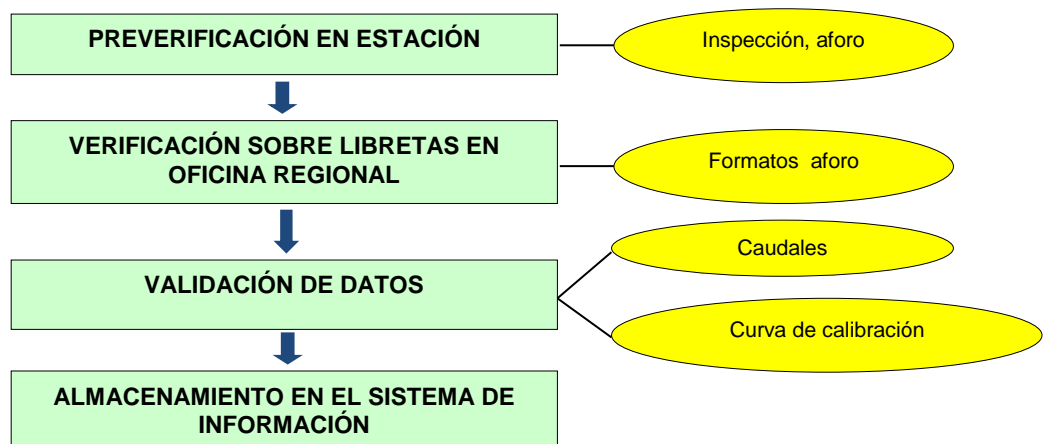
Fuente: IDEAM, 2011



De igual manera, la validación implica determinar el grado de dispersión entre la magnitud del caudal aforado y el valor de caudal medio obtenido a través de la curva de gastos. Esta

dispersión no debe superar el error sistemático del aforo. En la literatura se reconoce como aceptables diferencias en un 10% del caudal entre el medido y el que da la tendencia de la curva de gastos (de acuerdo con investigaciones del IDEAM citadas en IDEAM, Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, 2007). No obstante, dado que con las series de caudales diarios se generan a partir de la curva de calibración y ésta se actualiza con los aforos, se recomienda que el número total de aforos no sea inferior a uno por mes y, en caso de secciones inestables, el número de aforos por año esté acorde con la desviación de los aforos de la tendencia de la curva de gastos. Se podría también estudiar la posibilidad de estabilizar la sección mediante revestimientos u otro tipo de obras, con el fin de reducir la incertidumbre generada por la curva. Por tanto, para considerar que una curva de gasto presenta una relación estable es necesario que la dispersión entre los caudales aforados y los obtenidos a través de la curva de gastos, no supere el 10%. Sólo en este caso se considera que la curva $H = f(Q)$ es estable y se puede usar sin esfuerzos adicionales para generar caudales con base en los niveles diarios observados. En caso contrario la curva debe ajustarse mediante nuevas campañas intensivas de aforos (ver detalles en Anexo 1, tomado de guías de IDEAM, 2004, 2007).

De otro lado, es importante estimar el error en que se puede estar incurriendo en el cálculo de caudales diarios por la utilización de curvas de calibración soportadas con aforos que no cubren todos los estados de niveles del río. Así, de acuerdo con Domínguez & otros (2002), en cauces estables el error cuadrático estándar de la curva H-Q crece de forma directamente proporcional con el aumento de los niveles de extrapolación. Lo mismo sucede en cauces inestables, en los que se evidencia que para porcentajes de extrapolación de 0 a 40% el error alcanza el 15%, mientras que para extrapolaciones del 40% en adelante el error alcanza el 25%. Además, según dicho estudio, el error cuadrático estándar de aproximación de la curva H-Q aumenta con el crecimiento de los niveles, y la extrapolación en zonas donde no hay aforos puede conllevar un error cuadrático estándar del 50 y 60%. Por tanto se recomienda se calcule el porcentaje de extrapolación que presenta la estimación de las series de caudales diarios y, con base en este porcentaje se estime el error que presentan los caudales considerados como definitivos. La figura 46 muestra el flujograma general de la validación.

Figura 46. Flujograma general de la validación de la información de caudales



	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Análisis de consistencia especializados

Existen distintos métodos y niveles de profundidad en los análisis de consistencia de las series de caudales. En los textos y estudios de hidrología se pueden encontrar diferentes métodos, tales como gráficas de series de tiempo, gráficos de simple y doble masa, gráficos de cuartiles, gráficos S-S, gráficos suavizados y otros. Los métodos también varían si se trata de detectar cambios en la media, en la tendencia, en la varianza o en la independencia de una serie. No obstante, la selección del método a utilizar depende fundamentalmente del objetivo para el cual se vayan a utilizar los datos. Un método sencillo para detectar si una serie presenta cambios no aleatorios, para proceder luego a corregirlos o a eliminar los datos inconsistentes, es el método de las cartas de control, cuya descripción y metodología de uso se encuentra en los textos de estadística (ver en especial el libro Probabilidad y Estadística, de Walpole & Myers, 4 Ed. McGrawHill, 1999, México (Mex)).

2.6. ALMACENAMIENTO²⁵

Los datos procesados, validados y consistentes de niveles y caudales son almacenados en un sistema de información que pueda ser consultado por los diferentes usuarios. El sistema debe permitir consultas por diferentes medios, desde la visual por pantalla, hasta la física tanto en archivos digitales como en papel.

Como se anotó en las secciones 1.4 y 2.4, el ingreso de los datos al sistema de almacenamiento contempla desde la digitación de los datos que se miden en campo y que son consignados en formatos, hasta las series de tiempo que se generan, producto de procesos de agregación.

El ingreso de datos al sistema puede variar en función del programa de que se disponga para el efecto, sin embargo en forma general un flujograma general del almacenamiento puede ser como el mostrado en la figura 47.

2.7. DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN

La difusión de los datos de niveles y/o caudales se realizará conforme a las políticas de gestión de información que defina el Consejo Directivo de cada entidad, definiendo la disponibilidad de los diferentes tipos de datos asociados al monitoreo de niveles y caudales, las estrategias de entrega de información a usuarios particulares, la disponibilidad para usuarios internos y la divulgación de información en el portal web institucional de cada entidad, de información consolidada de acuerdo con la condición misional de la información.

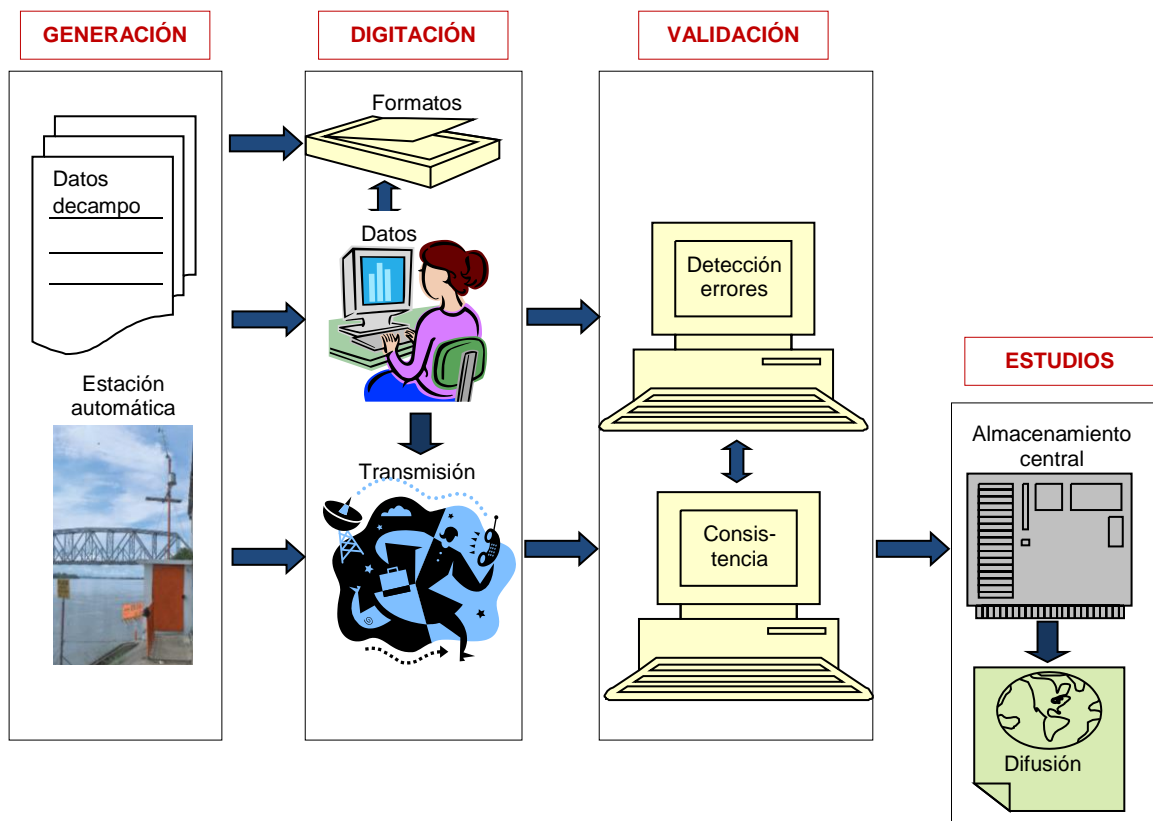
El Decreto 1277 de 1994 indica que le corresponde al IDEAM dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las Entidades Científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones autoridades ambientales y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental - SINA. En este sentido las entidades mencionadas

²⁵ Con base en Pedraza C. E. y Franco J. C., Procedimiento para la actualización del Banco de datos central con la información de las áreas operativas. IDEAM. Bogotá. 2005.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

anteriormente, deberán coordinar con el IDEAM la estrategia de transmisión de la información o consolidados del monitoreo del recurso hídrico en Colombia para su divulgación en el Sistema de Información Ambiental de Colombia, particularmente en el subsistema de información del recurso hídrico SIRH.

Figura 47. Flujo general del almacenamiento de la información



Como referente se cita la resolución 2367 de 2009 sobre Gestión de Datos e Información del IDEAM y donde se adopta el proceso genérico de Gestión de Datos e Información Misional del IDEAM.

La información a divulgar por cada entidad tendrá como prerequisite el cumplimiento del protocolo de monitoreo, que garanticen que la información cumpla con los requisitos de gestión de información en los aspectos de calidad de la información en su carácter de información misional, oportunidad, restricciones de ley, observación de estándares, y documentación.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

ANEXOS



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

ANEXO No 1. CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN²⁶

1. ASPECTOS GENERALES

La curva de calibración de una estación hidrométrica es la expresión gráfica de la relación existente entre niveles del agua y los caudales de la corriente. El tipo de ecuación que generalmente representa esta relación es de tipo exponencial, y se puede expresar de la siguiente manera (ver figura 1.1):

$$Q = a(H - H_0)^b$$

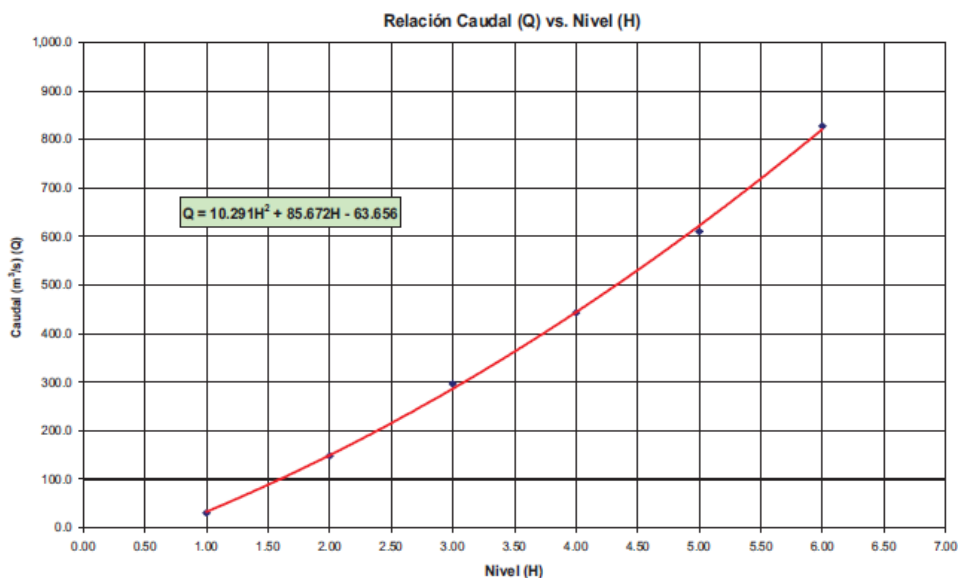
Donde:

H = Nivel del agua

H₀ = Nivel al cual el caudal es igual a cero

a y b = Constantes de la fórmula

Figura 1.1. Ejemplo de curva de calibración nivel vs. caudal en el rango de los aforos



Fuente: IDEAM, 2007

Los caudales que se utilizan para la construcción de la curva de calibración provienen de los aforos, mientras que los niveles se obtienen de la observación horaria o diaria de los mismos, mediante limnímetros, limnógrafos u otros mecanismos. Como ordinariamente los caudales aforados no cubren toda la gama de variación de niveles, se hace necesaria la extrapolación de la curva. Si la estación cuenta con curva definida, los aforos realizados, en adelante, serán los que muestren la continuidad de la curva y su vigencia durará mientras las condiciones geométricas de la sección se mantengan uniformes.

²⁶ Tomado de Guía para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2004), y Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2007).

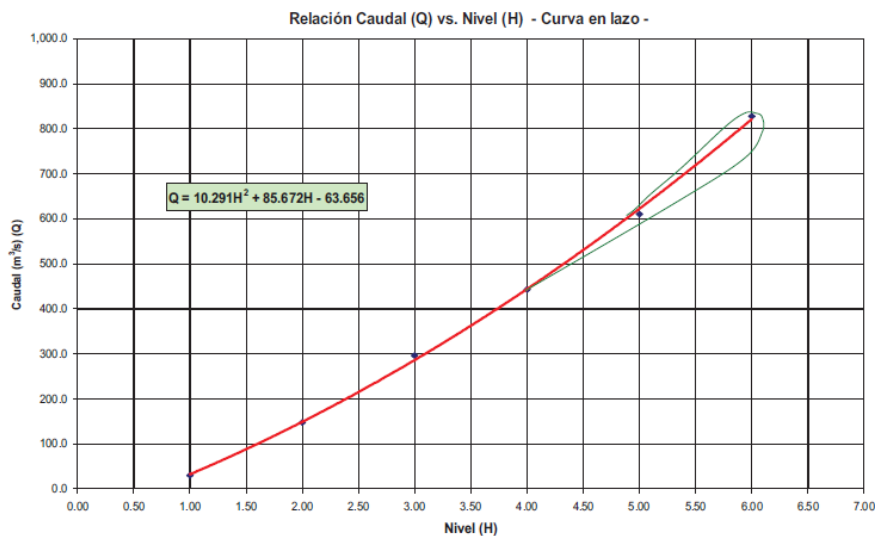
Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Es importante tener presente que los aforos que se utilizan para elaborar las curvas de gastos deben tener previamente un control de calidad como, por ejemplo, verificar que se hayan tomado los ángulos de arrastre en aquellas secciones donde se presenten; que a los aforos superficiales se les haya aplicado el factor de transformación a velocidad media; que la línea sobre la cual se hizo el aforo sea perpendicular al flujo de la corriente, de lo contrario, en este caso, debe corregirse el ancho de la sección para no sobrevalorar el cálculo del área.

La curva es aproximadamente parabólica, cuando su representación está en coordenadas lineales y con tendencia a recta cuando las coordenadas son logarítmicas; sin embargo, su forma puede presentar algunas irregularidades si la sección transversal es irregular, es decir, cuando las características geométricas de estas son inestables al cambio de las condiciones climáticas de la zona.

En la construcción de la curva de gastos de algunas estaciones, la sucesión de datos conjugados de altura y caudal resultantes de una serie de valores directos ejecutados en el curso de las diversas fases de crecida o bajada subsecuente, presenta una forma en lazo (ver la figura 1.2). En esta clase de relaciones se observa que cuando el nivel del agua va en ascenso los caudales deducidos en la curva son ligeramente superiores a los obtenidos en la curva de régimen permanente, efecto que es contrario cuando los niveles del río se encuentran en descenso; en este caso se simplifica el comportamiento del río asumiendo una relación funcional de correspondencia 1:1.

Figura 1.2. Ejemplo de una relación existente entre los valores de niveles y caudales en forma de lazo



Fuente: IDEAM, 2007

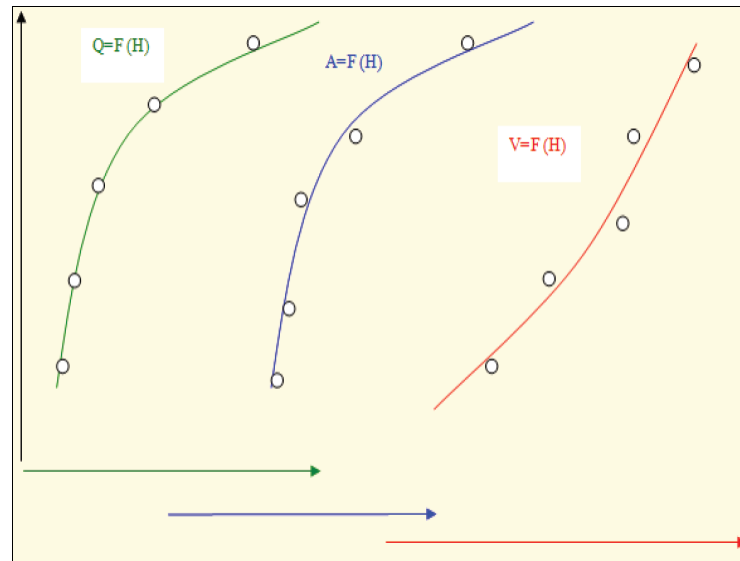
Las curvas de calibración se elaboran graficando aritméticamente o logarítmicamente los caudales de los aforos contra los niveles del río. Los valores a y b de la ecuación de calibración son obtenidos por el método de mínimos cuadrados y son diferentes para cada caso en particular.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- b. Ploteo de puntos nivel – caudal, nivel – área y nivel – velocidad. Dado que el caudal es el producto del área (A) de la sección por la velocidad media de la corriente (V), para cada una de las secciones de aforos se debe elaborar las curvas nivel vs. caudal, nivel vs. área y nivel vs. velocidad (figura 1.3), con el fin de observar el comportamiento hidráulico de la sección. Esto permite de entrada ver si la sección es estable o, por el contrario, presenta una variación constante en sus condiciones geométricas. Así, si no existe dispersión grande entre los puntos con relación a la media se puede considerar que la sección es persistente en sus condiciones hidráulicas y por el contrario, si existe mucha dispersión se considera que la sección es inestable y tendrá una variedad de curvas de gastos a través del tiempo.

Figura 1.3. Curvas medias a partir de datos de campo



Si la elaboración de las curvas se hace mediante un paquete gráfico o un programa, se puede realizar un proceso de aproximación por mínimos cuadrados, o por cualquier otro método, ajustando de este modo una ecuación analítica a cada campo de puntos. Este proceso también puede realizarse en forma manual teniendo en cuenta consideraciones que garanticen una adecuada precisión.

La dificultad de ajuste de una ecuación a los puntos podrá hacer ver la necesidad de dividir la curva en varios tramos. Así por ejemplo, si la amplitud de los caudales es muy grande, cuando el cociente entre el caudal máximo aforado y el caudal mínimo aforado es igual o mayor que 20, es recomendable trazar una curva para la parte inferior de la sección (primeros 20 - 30% de la curva), en una escala 5 a 10 veces mayor, lo cual permite definir con mayor exactitud los caudales de estiaje. Puede suceder también que la curva para los niveles inferiores y medios ajuste bien, pero no los niveles altos, lo cual justificaría elaborar una curva para éstos últimos.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Las curvas $H = f(Q)$, $H = f(A)$ y $H = f(V)$ se encuentran relacionadas entre sí, por lo cual las curvas trazadas no deben contradecir este hecho. Para verificar esta relación es necesario comparar los caudales que se obtienen a través de la curva $H = f(Q)$, construida con los aforos y los que se obtienen con el producto de las áreas por las velocidades, logradas ambas por medio de las curvas $H = f(A)$ y $H = f(V)$ para los mismos niveles de los aforos.

El valor absoluto de ΔQ , obtenido mediante la comparación del caudal (Q) obtenido de la curva $H = f(Q)$, construida con los aforos, y los que se obtienen con el producto de las áreas por las velocidades, logradas ambas por medio de las curvas $H = f(A)$ y $H = f(V)$ para los mismos niveles de los aforos, no puede superar el 1%. En caso de que se supere este valor es necesario corregir el trazado de las curvas $H = f(Q)$, $H = f(A)$ y $H = f(V)$.

- c. Evaluación de la estabilidad de la curva del gasto. La dispersión que se presenta entre los caudales aforados y los caudales definidos por la relación $H = f(Q)$ es ocasionada por los siguientes factores: a) error sistemático de la metodología de aforo, b) factores hidráulicos y c) factores morfológicos.

La dispersión a causa del error sistemático de la metodología de aforo tiene un carácter aleatorio y por tanto su influencia es balanceada, ya que se presenta, alternadamente, con signos positivos y negativos. La influencia de factores hidráulicos y morfológicos puede ocasionar una alta dispersión en la curva $H = f(Q)$, lo cual se debe a que las condiciones hidráulicas y morfológicas, no coherentes con el régimen de flujo uniforme, deterioran la monovalencia de la relación $H = f(Q)$, y produce la aparición del fenómeno de histéresis en la curva, lo que ocasiona que para un mismo nivel se obtengan caudales muy diferentes. Para determinar qué factores producen la dispersión en la curva $H = f(Q)$ es necesario obtener su magnitud y compararla contra el error sistemático de los aforos. La dispersión de la curva $H = f(Q)$ se calcula como:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_i - \bar{Q}_i}{\bar{Q}_i} \right)^2}$$

Donde

σ_q = Dispersión de la curva



N = Número de aforos utilizados para construir la curva

K = Grado de libertad de la ecuación de regresión $H = f(Q)$

Q_i = Caudal aforado en el nivel H_i

\bar{Q}_i = Caudal obtenido de la curva $H = f(Q)$ con el nivel H_i

La curva $H = f(Q)$ se considera estable sí $\sigma_Q \geq \sigma_{q_i}$, donde σ_Q es el error de la metodología aplicada para aforar. Las metodologías de aforo recomendadas por el IDEAM tienen un error que no supera el 10% en promedio, por lo tanto si $10\% \geq \sigma_{qq}$ se considera que la curva $H = f(Q)$ es estable y se puede usar sin esfuerzos adicionales para generar caudales con base en los niveles diarios observados.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- d. Construcción de la tabla de calibración. Puede ser manual o automática. La tabla de calibración manual se elabora extrayendo los pares de datos, nivel - caudal de la curva de gastos, de tal manera que los espacios entre valores definidos coincidan con puntos de quiebre pronunciados, especialmente para el tramo de niveles bajos de la curva y que correspondan a valores redondos (5, 10, 15 centímetros etc.) a fin de facilitar su interpolación. Para niveles altos se pueden extender estos intervalos en la medida que la curva de gastos se vaya aplanando.

El proceso descrito a continuación se hace después de la extrapolación si hubo lugar a ella.

Luego se digitan para ser indexados al programa donde se hace el proceso de transformación de niveles a caudales. El proceso automático se hace mediante la generación automática y sistematizada de la ecuación de la curva de gastos, la cual la toma el programa realizando de inmediato la transformación de los niveles, consignados en la base de datos, a caudales horarios, mensuales y anuales. Mayores detalles para la extrapolación de curvas de gastos pueden encontrarse en varias publicaciones del IDEAM, de manera especial en la Guía para el seguimiento y monitoreo del agua (IDEAM, 2004), y Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM, 2007), que pueden ser consultados en la página web del IDEAM²⁷.

3. EXTRAPOLACIÓN

Cuando la curva de calibración no es representativa para toda la gama de variación de niveles de la estación, se recurre a métodos de extrapolación para determinar sus caudales. Existen diversos métodos de extrapolación que han sido desarrollados para diferentes características geométricas e hidráulicas de las secciones de aforos.

Entre los diferentes métodos utilizados para la extrapolación de curvas de calibración para niveles altos se encuentran los siguientes:

- a. Método de Manning: Su procedimiento se basa fundamentalmente en ajustar sistemáticamente las curvas deducidas de la información básica generada de los aforos, tomando como apoyo el perfil topográfico de la sección de aforos y la ecuación de Manning.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde

R = Radio hidráulico

S = Pendiente de la línea de energía específica o pendiente hidráulica

N = Coeficiente de rugosidad del lecho o resistencia que le ofrece el fondo y el talud al paso del agua

- b. Método de Stevens: su fundamento está en la fórmula de Chezy para calcular la velocidad.

²⁷ Vínculo en la página del IDEAM:

<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=667>

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

$$V = C\sqrt{D \cdot S}$$
$$C = \frac{1}{n} D^{1/6}, \quad D = \frac{A}{W}$$

V = Velocidad media para la sección (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad

D = Profundidad media de la sección (m)

S = Pendiente hidráulica (m/m)

A = Área de la sección (m²)

W = Ancho de la sección (m)

- c. Método logarítmico: el método plantea el ajuste de las curvas por el método de mínimos cuadrados. Es un método probabilístico que tiene por objeto la compensación de los errores asociados a toda observación o medida.

Para la determinación de la altura H_o existen diferentes métodos de extrapolación para niveles mínimos para curvas de calibración:

- a. Método Logarítmico: se gráfica en escala logarítmica la relación nivel - caudal establecida previamente con los aforos realizados. Al graficar dicha relación se asume que el H_o es igual a cero en la ecuación $Q = a (H - H_o)^b$. Si la gráfica es una línea recta, el H_o es efectivamente 0, pero si el resultado no es lineal se debe ajustar el valor de H_o hasta obtener una línea recta en la gráfica (método ensayo error).
- b. Método de Running: Es un método gráfico. Se plotean los valores de la relación nivel - caudal en escala aritmética con su respectiva curva. Tres puntos a, b y c son seleccionados de tal manera que sus caudales estén en progresión geométrica, en los puntos a y b se trazan líneas verticales y después líneas horizontales hacia b y c para conseguir los puntos de intersección con las verticales d y e. Se dibujan dos líneas rectas ed y ba interceptadas en f. La ordenada de f es el valor requerido de H_o , nivel que corresponde a un caudal cero.
- c. Método de Johnson: consiste en tomar de la curva de calibración, dibujada en escala aritmética, tres valores de caudales Q_1 , Q_2 y Q_3 tal que $Q_1/Q_3 = Q_3/Q_2$, obteniendo de la curva los correspondientes valores de H_1 , H_2 y H_3 . El valor de H_o se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$H_o = \frac{(H_1 \cdot H_2) - H_3^2}{(H_1 - H_2) - 2H_3}$$



INFORME FINAL



Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

ANEXO 2. FORMATOS

Formato 1. Formato de la Libreta Diaria del IDEAM, para registro de niveles a las 6 y 18 horas

MES: _____		AÑO: _____						
DIA	NIVELES (Cm) HORAS		TEMPERATURAS (°C) HORAS		SEDIMENTOS EN SUSPENSION NUMERO DE LA BOTELLA			OBSERVA - CIONES
	06	18	06	18	1/4 del ancho	1/2 del ancho	3/4 del ancho	
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								
26								
27								
28								
29								
30								
31								



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 2 Formato para registro de lecturas fluviométricas y temperaturas diarias

Formulario for recording fluviometric readings and daily temperatures. Includes fields for station code, date, observer, and a detailed table for water levels and temperatures.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 4. Formato para cartera de aforos

Formulario titled 'CARTERA DE AFOROS' with fields for CODIGO, CORRIENTE, ESTACION, REG., FECHA - AFOROS, HORA INICIAL, HORA FINAL, NIVEL INICIAL, NIVEL FINAL, FACTOR DE CONVERSION, N° DE VERTICAL, etc. Includes a 'CONVENCIONES' section at the bottom.



INFORME FINAL



Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 5. Formato para aforo y cálculo de caudal

Formulario for flow measurement and calculation. Includes fields for river name, station, date, time, level, velocity, area, section, and a detailed data table with columns for distances, depths, revolutions, velocities, and section types. Includes a legend for abbreviations at the bottom.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 6. Formato de inspección de estaciones hidrométricas

INSPECCION DE ESTACIONES HIDROLOGICAS
Formulario de inspección con secciones para: CATEGORIA, OBSERVADOR, SEDIMENTOS, TEMPERATURA, LIMNIMETRO, LIMNIGRAFO, INSTALACION LIMNIGRAFICA, INSTALACION DE AFOROS, AFOROS, COMENTARIOS ADICIONALES, y FIRMAS.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 7. Formato de inspección de estaciones hidrométricas automáticas

IDEAM		Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Grupo de Operación de Redes Ambientales República de Colombia			
HOJA DE INSPECCIÓN ESTACIÓN AUTOMÁTICA HIDROMETEOROLÓGICA					
Fecha inspección:		Hora de inicio:		Hora de finalización:	
Integrantes comisión:					
Nombre de la estación:					
Categoría:	Tipo:	código:		Área operativa:	
Cuenca:		Municipio:		Departamento:	
A. DATOS GEOREFERENCIACIÓN				Precisión:	
Marca GPS:		Modelo:		Serie:	
Latitud:		Longitud:		Altitud:	
B. REGISTRO FOTOGRÁFICO					
Marca de la Cámara:		Serie:		No. de fotos:	
C. SISTEMA DE TRANSMISIÓN					
Satelital:		Radio:		Otro:	
Marca Tx:		Modelo:		Serie: Inv.:	
Marca antena GPS:		Modelo GPS:		Serie GPS: Inv.:	
Marca antena:		Modelo:		Serie: Inv.:	
Cable coaxial:		Bueno:		Malo:	
Código Nesdis:		Hora Tx:		V _{DC} Standby:	
V _{DC} Tx:		Pot. Directa:		Pot Reflejada:	
Message type:		No. Bytes:		No. Errores:	
Command:		Code:		Versión firmware:	
Prueba Tx con estación central:		Fecha y hora:		Contacto:	
LABORES EFECTUADAS:					
D. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN					
				Cantidad de Paneles:	
Marca panel solar:		Modelo:		Serie:	
Inv.		V _{DC} sin conectar al regulador:		V _{DC} conectado al regulador:	
Marca batería:		Modelo:		Serie:	
V _{DC} sin panel:		V _{DC} con panel:			
Marca regulador:		Modelo:		Serie:	
V _{DC} Entrada panel solar:		V _{DC} Entrada batería:		V _{DC} Salidas:	
Puesta a tierra:	Bueno	Malo	Fusible batería:	Bueno	Malo
Fusibles:	Bueno	Malo	Porta fusibles:	Bueno	Malo
LABORES EFECTUADAS:					
E. SISTEMA DE COLECCIÓN DE DATOS					
Gabinete:	Bueno	Malo	Serie:		Inventario No:
Marca DCP:		Modelo:		Serie: Inv.:	
Versión firmware:		Cable RS232:	Bueno	Malo	Error:
Conexión de sensores:		Bueno		Malo	
LABORES EFECTUADAS:					

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 7. Formato de inspección de estaciones hidrométricas automáticas (cont.)

F. SENSORES AUTOMÁTICOS															
Sensor	Marca	Modelo	Serie	No. Inv.	Estado			V ₁ : Estado	V ₂ : Salida	Dato inicial	Dato final	Cable	Ducto		
Dirección del viento					NT	B	M					B	M	B	M
Velocidad del viento					NT	B	M					B	M	B	M
Radiación global sensibilidad					NT	B	M					B	M	B	M
Radiación visible sensibilidad					NT	B	M					B	M	B	M
Temperatura del aire 2 m.					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del aire 2 m.					NT	B	M					B	M	B	M
Temperatura del aire 10 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del aire 10 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Presión atmosférica					NT	B	M					B	M	B	M
Evaporación					NT	B	M					B	M	B	M
Temperatura del suelo 10 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Temperatura del suelo 30 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Temperatura del suelo 50 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del suelo 10 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del suelo 30 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del suelo 50 cm.					NT	B	M					B	M	B	M
Sensor de paros					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del suelo menor 1 metro					NT	B	M					B	M	B	M
Humedad del suelo mayor 1 metro					NT	B	M					B	M	B	M
Sensor de nivel tipo Kalamita					NT	B	M					B	M	B	M
Sensor de nivel tipo R.A.N.					NT	B	M					B	M	B	M
Nivelómetro					NT	B	M					B	M	B	M
Precipitación sólida					NT	B	M					B	M	B	M
Precipitación líquida					NT	B	M					B	M	B	M
LABORES EFECTUADAS:															
G. ESTADO DE LAS ESTRUCTURAS FÍSICAS							H. RETIRO DE ELEMENTOS								
Elemento		Estado		Observaciones			Elemento	Marca	Sede						
Gabinete	B	M													
Familia: soportes de sensores	B	M													
Soportes de sensores	B	M													
Mastil Telescópico	B	M													
Ducto del mastil al gabinete	B	M													
Malla del Jardín meteorológico	B	M													
Puerta del Jardín meteorológico	B	M													
Base del gabinete	B	M													
Tanque de evaporación	B	M													
Base tanque de evaporación	B	M													
Canastillas de protección	B	M													
LABORES PENDIENTES:															
ELABORADA POR:				FECHA:	APROBADA POR:				FECHA:						
Nombre y firma					COORDINADOR GRUPO AUTOMATIZACIÓN										
REVISADA POR:				FECHA:	ARCHIVADA POR:				FECHA:						
Nombre y firma					Nombre y firma										
OBSERVADOR VOLUNTARIO O CONTACTO				FIRMA:	NÚMERO TELEFÓNICO DEL OBSERVADOR:				FECHA:						






INFORME FINAL

epam s.a. esp




Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

 	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

BIBLIOGRAFÍA

- ARDILA H., G. A. Guía de construcciones hidrometeorológicas. IDEAM. Bogotá. 1997.
- CONTRERAS T., C. Y. y NIÑO R., R. (con colaboración de BERMÚDEZ M., IBÁÑEZ D.). Procesamiento y calidad de la información hidrológica básica. IDEAM. Bogotá. 1999.
- DOMENICO, P Y SCHWARTZ, F. W. Physical and chemical hydrogeology. Wyley, 502 pp. 1998.
- DOMÍNGUEZ C., E, VERDUGO N. Y NIÑO R. Optimización de la red hidrológica nacional de referencia. IDEAM. Bogotá, 2002.
- DOMÍNGUEZ C., E. Especificaciones técnicas para levantamientos topográficos en el sector de ubicación de las estaciones hidrométricas operadas por la CRQ. IDEAM. Bogotá. 2000
- EPAM-CPT, Plan de ordenación y manejo de la microcuenca de la quebrada Santa Elena (Medellín). Bogotá-Medellín. 2008.
- GARCÍA M., et al. Sistema de información componente hidrológico redes, mediciones, observaciones y procesos básicos. IDEAM. Bogotá. 1999.
- IBÁÑEZ D. Consideraciones técnicas sobre trabajos hidrotopográficos. Comunicación escrita. IDEAM. Santa Fe de Bogotá. 2000. (en Domínguez, 2000).
- IDEAM. Subdirección de Hidrología. Grupo de operación de redes ambientales. Presentación al taller de IDEAM-EPAM, febrero 2011. Bogotá. 2011.
- IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Bogotá. 2010.
- IDEAM. Protocolo para el seguimiento y monitoreo del agua. Bogotá. 2007.
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=667>
- IDEAM-INVEMAR-DANE. Guía para el seguimiento y monitoreo del agua. Bogotá. 2004.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Viceministerio de Ambiente. Política Nacional para la gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá. 2010.
- NIÑO, R. Reingeniería de la red hidrológica operada por el IDEAM-CAR para la cuenca piloto de la parte alta del río Ubaté. Contrato de prestación de servicios No. No.208/2009. Convenio específico de cooperación IDEAM-CAR No 005/2009. Bogotá. 2009.

 	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL OMM. Guía De Prácticas Hidrológicas: Adquisición y Proceso de Datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones, OMM No. 168, Quinta edición. Ginebra. 1994.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. *Guía de prácticas hidrológicas*. (5), 210-213, 217-220, 223. Ginebra. 1994.

PEDROZA, G. E. Medidor ultrasónico de efecto Doppler para canales. Subdirección General de Administración del Agua. Coordinación de Tecnología Hidráulica. CNA. IMTA. México D.F. 2010. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Ultrasonico_Doppler_canales_pdf.

PÉREZ PRECIADO, A., Gran atlas y geografía de Colombia. Círculo de Lectores. Bogotá. 2004.

REMENIERAS G. Tratado de hidrología aplicada. Ed. Técnicos Asociados SA. Barcelona, España. 1971.

SÁNCHEZ F. D. Guía y protocolos del monitoreo y seguimiento del agua. Contrato de servicios de consultaría No. C – 0427 – 05. Bogotá. 2006.

UNESCO, WHO. Water Quality Surveys. Studies and reports in hidrology. Paris. 1978.

UNESCO. Glosario Hidrológico Internacional. Paris. 2011.
<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDES.HTM>

VARGAS, O. Las aguas subterráneas también son nuestra responsabilidad. Primer taller de socialización Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. IDEAM. Bogotá. 2010.

VARGAS O. Protocolo del agua: Monitoreo de aguas subterráneas. IDEAM. Bogotá, 2010.




VEN TE CHOW, MAIDMENT R. DAVID, MAYS LARRY, Hidrología Aplicada. Ed. Mac Graw Hill. 2001

WALPOLE & MYERS. Probabilidad y Estadística. 4 Ed. McGrawHill, México (Mex). 1999.

WARD, R.C. Regulatory Water Quality Monitoring. Water Res. Bull 15. 1979.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION WMO - WORKING GROUP OF THE COMMISSION FOR HYDROMETEOROLOGY. Machine Processing Of Hydrometeorological Data, Technical Note No. 115. Geneva - Switzerland: WMO No. 275. 1971
<http://web.usal.es/javisan/hidro>
<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/libroPIEB/3> - 2.html

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION WMO. Guide to Hydrological Practices. Vol I, Vol II. WMO No 168. Sixth Edition. Geneva (Switzerland). 2008.

  <p> IDEAM Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia </p>	<p>INFORME FINAL</p>	
<p> Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN </p>		

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION WMO. Manual on Stream Gauging. Vol. I Fieldwork. Vol. II. Computation of Discharge. WMO-No. 1044. Geneva – Switzerland. 2010.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN