REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA
FONDO DE PREVENCI ON Y ATENCION DE EMERGENCIAS
FOPAE

TÍTULO(S) Y SUBTÍTULO(S): HOMOLOGACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

AUTOR(ES): MARIA CONSTANZA ROSERO*. (Subdirección de Hidrología-IDEAM).

RESUMEN: En este documento se hace una descripción de las normas, metodologías y los procedimientos estándar en lo referente al procesamiento de la información hidrológica básica o primaria de las estaciones que hacen parte del convenio IDEAM – FOPAE.

PALABRAS CLAVES: Procesamiento de información hidrológica

TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD:	CONTRATO:	IDIOMA:	NÚMERO DE PÁGINAS
CLASIFICADO	CONVENIO INTER-ADMINISTRATIVO (IDEAM – FOPAE) No. 198/04 - IDEAM No. 550/04 – FOPAE PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO DEL CLIMA Y AMPLIAR LA RED DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO DE BOGOTA D. C.	ESPAÑOL	25

NOTAS/OBSERVACIONES:

* Ingeniera Civil MSc. Recursos Hidráulicos (Contratista).

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL
INSTITUTO DE HIDROLÓGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES – IDEAM

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA
FONDO DE PREVENCI ON Y
ATENCION DE EMERGENCIAS
FOPAE

CLASIFICADO

HOMOLOGACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO
(IDEAM – FOPAE)
No. 198/04 –IDEAM
No. 550/04 – FOPAE
PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO
DEL CLIMA Y AMPLIAR LA RED DE MONITOREO
HIDROMETEOROLÓGICO DE BOGOTA D. C.

20 de febrero de 2007

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 5

2. OBJETIVO 6

3. GENERALIDADES 6

4. CONTROL DE CALIDAD Y ERRORES 7

4.1 INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES 7
4.2 CONTROL PRELIMINAR DE LOS DATOS 7
4.3 DETECCIÓN DEL ERROR 8

5. PROCEDIMIENTOS DE VALIDACIÓN 9

5.1 SISTEMAS DE VALIDACIÓN AUTOMÁTICA 9
5.1.1 CONTROLES ABSOLUTOS 9
5.1.2 CONTROLES RELATIVOS 9
5.1.3 CONTROLES GEOESTADÍSTICOS 10
5.2 PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS DE VALIDACIÓN 10
5.2.1 DATOS DE NIVELES DE AGUA 10
5.2.2 DATOS DE AFOROS DE RÍO 11
5.2.3 DATOS DE SEDIMENTOS 13
5.2.4 DATOS FALTANTES 13
5.3 CODIFICACIÓN DE DATOS 13
5.3.1 CÓDIGOS DE UBICACIÓN 13
5.3.2 CÓDIGOS PARA LAS VARIABLES (PARÁMETROS) 13
5.3.3 CÓDIGOS DE CALIFICACIÓN DE DATOS 14
5.3.4 CÓDIGOS DE DATOS FALTANTES 15

6. ENTRADA DE DATOS 15

6.1 USO DEL TECLADO 15
6.1.1 ESTACIONES MANUALES QUE UTILIZAN LA TELEMETRÍA 16
6.1.2 ESTACIONES AUTOMATIZADAS 16

7. PROCEDIMIENTOS DE PROCESO 17

7.1 PROCEDIMIENTOS GENERALES DEL PROCESO PRIMARIO 17
7.1.1 AJUSTE DE DATOS POR ERRORES CONOCIDOS 18

7.1.2 AGREGACIÓN E INTERPOLACIÓN DE DATOS 18

7.1.3 *EVALUACIÓN DE VARIABLES DERIVADAS* 18
7.1.4 *SALIDAS DE RESÚMENES ESTADÍSTICOS* 18
7.1.5 *CONVERSIÓN A FORMATO DE ALMACENAMIENTO DE BASES DE DATOS* 19
7.2 PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS DEL PROCESO PRIMARIO **20**
7.2.1 *DATOS DE NIVEL* 20
7.2.2 *DATOS DE CAUDALES LÍQUIDOS* 21

8. BIBLIOGRAFÍA **25**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del proceso de datos (Fuente: Guía de prácticas hidrológicas, OMM N°168) *6*
Figura 2. Gráficos de series en función del tiempo para el control de datos de flujo *11*
Figura 3. Técnica de reconocimiento de forma para el control de niveles de agua *12*

HOMOLOGACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

1. INTRODUCCIÓN

Mediante la Ley 99 de 1993 se determinaron los fundamentos de la política ambiental en el país, dando origen al Sistema Nacional Ambiental (Sina) por el cual se consolidan las orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones para poner en marcha los principios generales ambientales. Algunas de las instituciones del Estado Nacional que hacen parte del SINA son: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, corporaciones autónomas regionales, institutos de investigación, entre otros. Además de ONGs, empresas privadas o mixtas vinculadas con el tema ambiental.

La Ley 99, también da origen al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) como establecimiento público adscrito al Ministerio del Medio Ambiente. Cuyas funciones básicas son la de producir y suministrar datos e información ambiental, además de generar conocimiento, fundamentales para la toma de decisiones en materia de política ambiental.

Adicional a esto, el Ideam dirige y coordina el Sistema de Información Ambiental, convirtiéndose en el ente regulador delegado por el Estado en lo referente a los sistemas de observación, la información, las bases de datos y los modelos sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Para ello, ha desarrollado módulos de información y mecanismos para integrar las autoridades ambientales regionales, de tal modo que exista una estandarización y por ende homogeneidad en los protocolos, metodologías, estándares para el acopio de datos, su procesamiento, transmisión, análisis y la difusión de la información ambiental.

A su vez, mediante acuerdos operativos con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) Colombia se hace miembro activo siendo el Ideam su representante ante la Organización. De tal modo que el Ideam acoge los lineamientos descritos en el Reglamento Técnico propuesto por el Congreso Meteorológico Mundial, llevándolos a la práctica y adecuándolos a las necesidades del país sin perder la esencia de dichos reglamentos.

Cabe resaltar, que dichos reglamentos técnicos están sujetos al continuo avance científico a nivel mundial y a la modernización, por tal razón es importante que las entidades que administran información Ambiental se actualicen regularmente para mantener el ritmo de las exigencias internacionales.

Por lo anterior, la homologación de los procedimientos de información ambiental debe estar regulada por los procedimientos adoptados por el Ideam, que a su vez están cobijados por los procedimientos establecidos por la OMM.

Considerando lo dicho FOPAE, siendo una entidad administradora de información ambiental, solicita mediante el convenio actual con el IDEAM la “Homologación de los procedimientos de procesamiento de información hidrológica para la red de estaciones hidrológicas con que cuenta en la actualidad”.

Por tal razón, el Ideam con el apoyo de la subdirección de Hidrología elabora el presente informe, donde se describen las normas, metodologías y procedimientos necesarios para el procesamiento de la información hidrológica básica o primaria. Las cuales residen en su mayoría en el documento “Guía de Prácticas hidrológicas, adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones” elaborado por la OMM.

2. OBJETIVO

Describir los procedimientos estándar para el territorio colombiano en lo referente al procesamiento de la información hidrológica básica o primaria de las estaciones que hacen parte del convenio IDEAM – FOPAE.

3. GENERALIDADES

El procesamiento de datos es en sí la transformación de la materia prima (dato en bruto) en un producto confiable y versátil, tanto en su uso como en su manipulación, para los usuarios finales. Para tal fin, los datos en bruto deberán ser reformateados y sujetos a diversas revisiones de calidad que a su vez deberán conducir a un objetivo primordial, este es, el de mantener un estándar de operaciones que no degrade la calidad de los datos.

El sistema de procesamiento comúnmente inicia con la entrada del dato al sistema mediante el registro de manuscritos, por conversión mecánica de registros analógicos o en forma digital. A esta etapa le siguen: la validación, procesamientos primarios, actualización de la base de datos, procesamientos secundarios, extracción de datos y salida de datos (ver Figura 1). Estos componentes se detallan más adelante.

Procesamiento de datos

Preparación de datos	*Introducción de datos*	*Validación*	*Procesamiento primario*	*Actualización de la base de datos*	*Procesamiento secundario*	*Extracción de datos*	*Salida de datos*
Preparación de documentos para la digitalización: 1 Transcripción del contenido del cuaderno de terreno. Formato de datos no estándard 2 Codificación, reducción/ normalización de datos de entrada	1. Documentos numéricos a. Introducción directa por UPV b. Introducción mediante medios informáticos: tarjetas perforadas; cintas magnéticas; discos magnéticos 2. Diagramas y cartas. Entrada directa de datos por una tableta digitalizadora 3. Medios informáticos compatibles: a. Cintas magnéticas o cassettes b. Diskette c. Memoria integrada d. Líneas de comunicación (datos teletransmitidos) e. Lectura gráfica/ Lectores ópticos	1. Control de máximos y mínimos 2. Control por totalización 3. Control de homogeneidad entre estaciones	1. Normalización de las unidades 2. Cálculo de los parámetros derivados 3. Nueva codificación de los datos de entrada para reducir las necesidades de memoria 4. Adaptar los datos al formato de base de datos	1. Añadir series de nuevos datos a la base existente 2. Señalar cualquier error	1. Programas para el informe de rutina 2. Resúmenes estadísticos 3. Introducir los valores de datos faltantes 4. Interpolación o introducción de datos	1. Selección de los datos: a. Tipo de parámetro b. Valor de parámetro c. Posición d. Período de registro e. Periodicidad del registro	1. Impresoras 2. Trazadores 3. UPV (unidad de presentación visual) 4. Medios de almacenamiento informático 5. Microfilms 6. Teletransmisión

Corrección de errores

Figura 1. Componentes del proceso de datos (Fuente: Guía de prácticas hidrológicas, OMM N°168)

El sistema de procesamiento debe tener las siguientes características:

- Permitir revisiones periódicas del algoritmo que la ejecuta tanto a nivel general como por etapas o actividades.
- Fácilmente corregible y actualizable.
- Eficiente y efectivo, acorde con los nuevos sistemas, tecnologías y requerimientos de usuarios.
- Las actividades que componen el sistema de procesamientos deben estar interrelacionadas asegurando una coordinación efectiva, de tal modo que se minimicen las actividades duplicadas o innecesarias.
- Permitir consultas rápidas y fáciles de los datos tratados.
- Identificar fácilmente los datos erróneos o dudosos.

- Estar protegido por un sistema de alto nivel de seguridad, de modo que cualquier alteración de la base de datos sea legítima y autorizada. Además de impedir cualquier pérdida de información.
- Permite controlar el origen de cualquier grupo de datos mediante la conservación de las versiones originales y corregidas.
- Facilitar el rastreo de períodos de procesamiento incorrectos mediante el registro de la fecha y documentación de cualquier mejora del programa informático (software).

4. CONTROL DE CALIDAD Y ERRORES

El control de calidad tiene como fin asegurar la mayor estandarización posible de los datos primarios antes de ser puestos a disposición de los usuarios. El control de calidad y errores incluye: la inspección y mantenimiento de la estación, control preliminar de datos, detección de errores y los resultados de control de calidad, que se detallan a continuación.

a. Inspección de las estaciones

El funcionamiento correcto de los instrumentos de medición y la calidad de las observaciones dependen en buena parte de inspecciones periódicas, que pueden ser realizadas cada año y en algunos casos son independientes de las de mantenimiento y rutina. Dichas inspecciones buscan llevar a cabo algunas actividades y hacer un seguimiento de los siguientes aspectos:

- Las variaciones en el nivel del cero de la escala de las estaciones hidrométricas o del sensor que registra los niveles, de cuyo adecuado seguimiento se establece la concordancia entre la escala limnimétrica y los puntos de referencia de nivel permanente (BM) y por ende, la vigencia de la curva de caudales.
- Cambios en la sección fluvial y de los equipos hidrométricos (escalas liminimétricas y sensores) debido a eventos de inundación, sequía o deslizamientos. Cuya visita se hará por un inspector bien calificado inmediatamente después de la ocurrencia de un evento de esta magnitud. Se recomienda tener un registro fotográfico y hacer un croquis.
- Mejorar y restaurar el sitio de observación.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los instrumentos de medición de variables hidrológicas y hacer las reparaciones y ajustes necesarios.
- Examinar el libro de registro del observador con el fin de identificar los errores del observador de modo que tenga un seguimiento de dichos errores y su recurrencia.
- Capacitar al observador en la toma de datos exactos y completos, y la rutina de mantenimiento de los instrumentos.
- Informar al observador sobre cualquier observación especial que pueda requerirse (por ejemplo, lecturas más frecuentes durante los períodos de crecida y tormentas).

El resto de actividades y aspectos tienen que ver con una visita de rutina o mantenimiento.

b. Control preliminar de los datos

El control preliminar se refiere a los procedimientos efectuados antes de la transferencia de los datos a una máquina que permita un proceso informático, cuando los datos son recogidos manualmente y luego transferidos a una forma legible por la computadora (diskette, cinta magnética u hojas legibles por el lector óptico). Las actividades realizadas para el control preliminar de datos en este caso son:

- Registrar la fecha de recepción del informe.

- Verificar que la información es completa y exacta, por ejemplo, fecha, nombre y número de identificación de la estación si se requiere en el proceso mecánico posterior.
- Controlar que la estación ha dado los datos completos.
- Verificar la operación aritmética realizada por el observador.
- Comparar el informe del observador con los datos registrados, para ello es necesario que las correcciones se introduzcan de manera legible y en una tinta de color diferente al que se usa para rellenar el formulario original, asegurándose de que la información original no resulte tachada o ilegible.

Cuando los datos son recogidos directamente en forma digital, el control preliminar se limita a la identificación exacta de: la estación, las fechas del inicio y finalización de esta secuencia de datos y la identificación apropiada del tipo de datos de que se trate.

Por otra parte, los datos provenientes de indicadores de registro continuo requieren del siguiente control preliminar:

- Verificar las horas registradas al principio y al final del gráfico y en periodos intermedios para determinar si es necesario aplicar correcciones de tiempo o para determinar la magnitud de la corrección.
- Identificar la causa de la corrección de tiempo (ej. interrupción del reloj). Al igual que para los registros en manuscrito el control de las observaciones de instrumentos de registro deberían hacerse sobre el gráfico, para facilitar las correcciones de los datos registrados, si fuera necesario.

En ocasiones, cuando los informes de los observadores son incompletos o presentan vacíos, es posible estimar las observaciones faltantes por interpolación, siempre y cuando las condiciones hidroclimáticas sea lo suficientemente homogéneas para asumir un valor calculado de esta forma. En tal caso el dato debe estar claramente identificado y diferenciado del registro original.

c. Detección del error

La detección y corrección de un error aparente debe hacerse con cautela y debe estar respaldada por un estudio del informe, un control de las observaciones de la estación (con respecto a la calidad de su registro), y una evaluación de los factores que produjeron el suceso (para asegurarse que los datos en cuestión no pueden ser una anomalía natural), de tal modo que sea posible examinar las condiciones en las que se obtuvieron estas observaciones. La alteración debería ser codificada para indicar que se ha hecho un cambio a los datos originales y se conservarán los detalles de las modificaciones efectuadas.

Los datos de flujo fluvial varían de manera continua en el tiempo y en el espacio, haciendo posible verificar la fiabilidad de la observación por métodos de interpolación o por métodos estadísticos.

La consistencia de los caudales observados en una estación puede vigilarse mediante las siguientes consideraciones:

- La evaluación cualitativa de la correspondencia entre caudales medidos en estaciones adyacentes;
- La evaluación cualitativa de la correspondencia entre caudales medidos y su valor durante la medición anterior;
- El control aproximado del valor del caudal, observando que cae dentro de la gama de valores previos para la fase dada en el régimen del río;
- La evaluación aproximada de la correspondencia entre el valor medido y las variaciones normales durante el período anterior.

Otro método que puede aplicase para comprobar que las fluctuaciones relativas de la variable hidrológica observada en un período determinado son coherentes, consiste en estimar relaciones matemáticas (regresiones) que permitan deducir el rango de variación admisible o más probable de la variable hidrológica. De tal modo, que sirva como lineamiento cuantitativo para identificar los datos errados o dudosos.

5. PROCEDIMIENTOS DE VALIDACIÓN

a. Sistemas de validación automática

Las técnicas de validación se desarrollan en gran parte mediante herramientas informáticas, dando mayor objetividad y uniformidad a los análisis. De tal manera que los datos de las diferentes fuentes pueden ser sometidos al mismo algoritmo de validación sin importar su complejidad, permitiendo obtener resultados de manera eficiente y rápida, condición que es difícil de lograr en las técnicas manuales.

Sin embargo, la efectividad de las herramientas informáticas está limitada por la facilidad de traducir los rangos o condiciones de validez de las variables a algoritmos que puedan ser ejecutados por el computador. De tal manera que el computador debe ser usado para aceptar e indagar datos sospechosos, mientras que los datos que son rezados deben ir respaldados por el previo análisis de una persona competente.

Los informes de validación deberían considerar que los datos deben estar bien referenciados (mediante códigos o indicadores) permitiendo encontrar los valores dudosos y las razones de esta incertidumbre. Además, en la aplicación de un procedimiento de validación complejo a cualquier variable dada, se debe tener en cuenta el error de la tecnología de medición y la capacidad del sistema para corregir los errores detectados.

Por otra parte, a fin de examinar la amplia gama de técnicas disponibles para los sistemas de validación automático de datos es útil distinguir los errores absolutos, los errores relativos y los errores físico-estadísticos.

i. Controles absolutos

Compila las condiciones que son claramente definidas dentro de un rango de validez y tiene que ver con características del dato irrefutables, así:

- Las coordenadas geográficas de una estación deben estar ubicadas dentro de los límites del país
- La fecha debe estar entre el 1 y el 31
- En un sistema numérico de códigos, un valor no puede ser alfanumérico.

Los datos que no correspondan a estas condiciones deben ser incorrectos, y en general es una tarea fácil la identificación y la corrección del error.

ii. Controles relativos

Los controles relativos incluyen:

A. Una gama prevista de variables;
B. El cambio máximo esperado en una variable entre observaciones sucesivas;
C. La diferencia máxima esperada en las variables entre estaciones cercanas.

La definición del ámbito de variaciones aceptables requiere tomar ciertas precauciones para que el volumen de búsqueda no sea muy importante. Durante las primeras etapas del desarrollo de la base de datos, es aconsejable asignar límites de tolerancia bastantes amplios. Estos límites pueden ser acotados

posteriormente, cuando se obtengan mejores datos estadísticos sobre las variaciones del parámetro analizado.

Si bien se requiere un análisis exhaustivo de las series históricas, las gamas esperadas para controles relativos (método *A*) deberían ser calculadas para distintos intervalos de tiempo, incluido el intervalo en que los datos fueron observados. Esto es necesario porque la varianza de datos disminuye con el incremento de tiempo.

Los niveles fluviales diarios primero se compararían con una gama esperada de valores diarios para un período de tiempo determinado, por ejemplo, el mes en curso. Ahora bien, como es posible que cada valor diario pueda caer en la gama esperada, pero que el conjunto entero de datos sea sistemáticamente falso, demasiado alto o bajo, los controles posteriores se realizarán en 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.

El método de comparar cada dato con la observación precedente, (método *B*), se refiere sobre todo a las variables que muestran correlación serial importante, por ejemplo, la mayoría de tipos de datos del nivel de agua. Un ejemplo de la aplicación de esta técnica para presentar datos se expone más adelante. Cuando la correlación es muy fuerte se podrían efectuar períodos múltiples de comparación como se describe en el método anterior *A*.

El método C es una variación del método B, pero usa criterios de cambios aceptables en el espacio más bien que en el tiempo. Este tipo de control es particularmente efectivo para valores de niveles y caudales de ríos de la misma cuenca, aunque en cuencas más grandes algunos datos rezagados serán necesarios antes de hacer las comparaciones entre las estaciones.

iii. *Controles geoestadísticos*

Incluyen el uso de la regresión entre variables relativas para predecir valores esperados. Ejemplos de este tipo de control son la comparación de niveles de agua con precipitación total. Estos controles son particularmente importantes para observaciones a partir de una red poco densa, donde la única forma de control es la comparación con valores de variables interrelacionadas procedentes de redes de observación más densas.

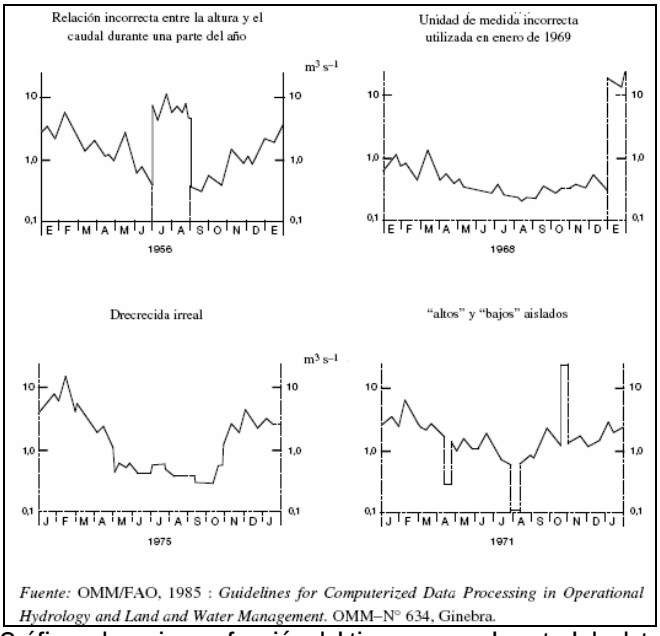
La mayoría de los controles relativos y geoestadísticos descritos antes están basados en el uso de series cronológicas, de correlación, de regresión múltiple y de técnicas de superposición de superficies.

b. *Procedimientos específicos de validación*

En la mayoría de los ejemplos, los procedimientos generales descritos antes son medios suficientes para detectar datos sospechosos. Sin embargo, algunos de estos procedimientos han sido adoptados y extendidos en una manera más específica para equiparar las características de algunos tipos de datos.

i. *Datos de niveles de agua*

La superposición de registros de niveles de agua, procedentes de estaciones vecinas, es en general una técnica útil para la detección de errores, sobre todo si las estaciones están situadas sobre el mismo sistema fluvial. La Figura 2 contiene gráficos muy interesantes y, aunque describen el caudal, también se pueden aplicar a los niveles de agua. El diagrama cubre un período de 13 meses y permite observar cualquier discontinuidad que pueda aparecer entre las actualizaciones anuales sucesivas de la base de datos principal.



Fuente: OMM/FAO, 1985 : *Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management*. OMM–N° 634, Ginebra.

Figura 2. Gráficos de series en función del tiempo para el control de datos de flujo

Cuando el intervalo de muestreo es relativamente corto, por ejemplo 15 minutos para la mayoría de registros digitales, se deben usar técnicas más complejas de reconocimiento de forma. Estas técnicas desarrolladas para datos de niveles por el Instituto de Hidrología del Reino Unido, reconocen que hay modelos que son considerados aceptables y otros que son considerados como sospechosos (Figura 3). El control de forma se aplica sucesivamente a todos los valores de 15 minutos, para cada medidor, en secuencias de cuatro. El código de forma en cuestión y las cuatro lecturas sospechosas se imprimen fuera en una fila de interrogantes cada vez que una forma sospechosa es detectada por el sistema. Para evitar que formas sospechosas sean impresas innecesariamente (por ejemplo, cuando el registrador digital busca una variación pequeña en el nivel del agua), una lista de errores mínimos debe ser incluida en la rutina del programa. Si la diferencia entre lecturas de etapas sucesivas es menor que ese mínimo, el valor sospechoso no es registrado.

ii. Datos de aforos de río

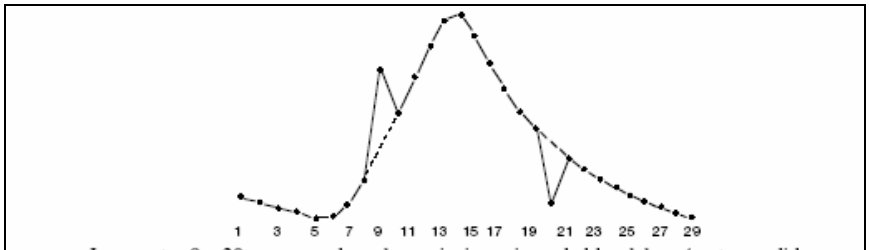
Un procedimiento útil de control para los aforos de río es diagramar el nivel de agua promedio mientras se mide, y las profundidades verticales en el corte transversal. Estos datos deben estar disponibles a partir del archivo de descripción de la estación o de uno de los archivos asociados.

Las diferencias del perfil pueden ser causadas por el observador o por un error en la entrada de datos, o pueden deberse a variaciones reales en el nivel del lecho, pero cualquiera que sea la causa debería ser investigada.

Los procesos restantes de validación dependen del nivel de agregación de datos, introducidos, por ejemplo datos básicos de terreno o velocidades calculadas manualmente.

El usuario debe decidir si los procedimientos de control son simplemente para establecer la exactitud de la operación de entrada de datos, o si se está desarrollando un sistema para el cálculo de la corriente. En el último caso, los cálculos de la corriente se realizan normalmente para controlar los valores manuales obtenidos sobre el terreno para el uso inmediato. Si las medidas son hechas para establecer o verificar una curva de calibración, la corriente calculada puede ser diagramada (manual o automáticamente) sobre la

curva existente de calibración para identificar los valores sospechosos o las variaciones según los intervalos de confianza de las medidas.



Los puntos 9 y 20 corresponden a las variaciones improbables del parámetro medido. Estas variaciones deberían sospecharse cuando se realiza un control de calidad.

Medida tomada en el árbol de decisión

CASO	CALIFICACIÓN
1	aceptado
A	sospechoso S(I)
B	sospechoso S(I-1)
C	aceptado
D	sospechoso
E	aceptado (se convierte en caso 20, 21, 22)
F	aceptado
G	aceptado
H	aceptado (se convierte en caso 2, 3, 4)
I	sospechoso S(I-1)
J	aceptado
K	aceptado
L	sospechoso S(I)
M	sospechoso S(I-1)
N	aceptado (se convierte en caso 20, 21, 22)
O	aceptado
P	aceptado
Q	aceptado (se convierte en caso 2, 3, 4)
R	sospechoso S(I-1)
S	aceptado
T	sospechoso S(I-1)
U	sospechoso
V	aceptado

S (I - 2) S (I -1) S (I) S (I +1)

NOTA: Las configuraciones sospechosas deben ser seleccionadas sobre la base del comportamiento conocido o esperado, en una estación o grupo de estaciones.

Fuente: OMM/FAO, 1985 : *Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management.* OMM–N° 634, Ginebra.

Figura 3. Técnica de reconocimiento de forma para el control de niveles de agua

Para todas las mediciones, el programa de validación debe controlar: el número de identificación de la estación de aforo, el tipo de molinete y de hélice, los códigos de métodos de análisis y, cuando sea posible, las combinaciones válidas de éstos. Es también útil para cualquier diagrama o copia impresa que contenga la información y cualquier coeficiente de calibración pertinente.

iii. *Datos de sedimentos*

La validación se puede realizar mediante un balance de masas, o si existe una curva de calibración de sedimentos para la sección muestreada, la diferencia entre el valor muestreado y la curva puede ser analizada desde el punto de vista de la estadística y/o por examen visual.

iv. *Datos faltantes*

Cuanto más completos son los datos, más útiles en la elaboración de estudios y análisis, por tal razón en lo posible hay que completar las series históricas. Sin embargo esta tarea puede resultar tediosa y larga, por tal razón se debe analizar hasta que punto se justifica, y de ser conveniente se debe decidir si la persona que recopila los datos completa las series o las sintetiza de manera más eficaz durante el proceso terciario.

c. *Codificación de datos*

El objetivo principal del uso de códigos es hacer los archivos más compactos y más claros, orienten durante el procesamiento y al usuario cuando reciba la información, los comentarios deberían incluirse en esta fase. Las etapas siguientes permiten definir y utilizar los códigos:

a) Definir los datos que deben ser codificados. Son normalmente de la categoría de datos descriptivos que se usan frecuentemente (por ejemplo, el nombre de ubicaciones, las variables medidas, los métodos de análisis, las unidades de medición y los indicadores de calidad de datos).
b) Decidir cuándo la codificación debe ser realizada. Si el objetivo es que el registro y los documentos de entrada de datos sean compatibles, la codificación debe realizarse en el momento de adquisición de datos por el observador hidrólogo. Aunque mucho menos deseable, los datos también pueden codificarse al introducirlos en la computadora. Esto detiene el proceso de entrada de datos y requiere la intervención de un operador más capacitado y con más experiencia.
c) Estudiar la posibilidad de utilizar sistemas de codificación existentes (nacional o internacional) para algunos datos. Los inventarios de códigos para variables, métodos de análisis de laboratorio, y unidades de medición codificadas han sido desarrollados por varios países. La adopción de dichos sistemas de códigos permiten el intercambio de datos y reducen la necesidad de dedicar recursos en hacer nuevas listas de códigos.
d) Obtener o preparar listas de códigos, incorporar los códigos en el informe y la forma de entrada de datos y en los sistemas informáticos, incluso instrucciones para la codificación (y listas de códigos pertinentes) en las hojas de instrucciones técnicas.
e) Capacitar observadores en el uso de códigos y para controlar la manera de rellenar los formularios desde el inicio del sistema de códigos. Este control debería ser hecho por varios meses para permitir que el técnico se familiarice con los códigos.

La mayoría de los códigos usados en hidrología son numéricos. Sin embargo, se utilizan también combinaciones diferentes de códigos alfabéticos o alfanuméricos para ámbitos que utilizan datos más descriptivos.

i. *Códigos de ubicación*

Los códigos normalmente existen para la cuenca o subcuenca y es muy útil incorporarlos en archivos de datos de descripción de estación. Esto permite la identificación rápida de todas las estaciones (o de las estaciones que miden variables seleccionadas) en una sola cuenca o grupo de cuencas.

ii. *Códigos para las variables (parámetros)*

Se refiere al grupo más grande de códigos. La proporción de variables hidrológicas y conexas que se necesitan incluir en una base de datos puede ser considerable.

Afortunadamente, varios institutos hidrológicos han publicado una lista de códigos de variables. La lista de códigos normalmente comprende para la variable, cuatro o cinco dígitos de código, la definición del texto de variable y posiblemente algunas abreviaciones o sinónimos. Un carácter distintivo de esas variaciones entre las listas es la inclusión de las unidades de medición y/o técnicas de análisis (particularmente para datos derivados de laboratorio) en la definición o en sus mismos códigos.

Los objetivos y usos de esas listas de códigos figuran en los diccionarios de datos. La Tabla 3 contiene un extracto del diccionario de códigos hidrológicos donde se usan dos códigos, uno para la variable, el otro para la unidad. Además, debido a lo complejo y dispendioso que resulta la preparación de dichos diccionarios es recomendable utilizar la lista de códigos existentes.

iii. Códigos de calificación de datos

Es usual y altamente recomendado, tener una serie de códigos disponible para que el observador hidrológico pueda emplear en la calificación de datos anormales o inciertos, lo que permitirá en el futuro una utilización más segura de estos datos. Hay básicamente dos grupos de calificaciones, la primera puede ser considerada como la situación real (fiabilidad) de los valores de datos y la segunda indica algunas condiciones exteriores que pueden dar un estado anormal de los datos. Para ambos grupos, el código usado es normalmente de carácter alfabético único, conocido también como una bandera. Las banderas para la fiabilidad de los datos se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Códigos de Clasificación de datos – Banderas para la fiabilidad

Bandera	Descripción
E	Valor estimado, considerando que la estimación es relativamente buena
S	Valor sospechoso, se supone que es incorrecto, pero no hay medios para verificarlo
G	Valores inferior al límite de calibración o de medición
L	Valor inferior al límite de detección (valor situado en el límite)
V	Valor fuera de la gama de variaciones normalmente aceptables, pero que ha sido controlado y verificado

Banderas para las condiciones exteriores se listan en la Tabla 2:

Tabla 2. Códigos de Clasificación de datos – Banderas para las condiciones exteriores

Bandera	Descripción
D	Estación sumergida (durante una crecida)
N	Resultados procedentes de un laboratorio no normalizado (calidad controlada)
P	Resultados procedentes de un laboratorio parcialmente controlado desde el punto de vista de la calidad.

Las banderas deben ser introducidas, si procede, y se guardarán con los datos que se relacionan. Los procedimientos de validación de datos realizados por computadora pueden generar más banderas; en ese caso se pueden usar los mismos códigos.

Tabla 3. Extracto de un diccionario de código hidrológico

Códigos		*Denominación principal y sinónimos*	*Unidad*
DET	UNIDAD		
2000	110	CAUDAL	$m^3 s^{-1}$
2001	110	CAUDAL MEDIO HORARIO	$m^3 s^{-1}$
2002	110	CAUDAL MEDIO DIARIO	$m^3 s^{-1}$
2003	110	CAUDAL MEDIO DIARIO (0000-2400)	$m^3 s^{-1}$
2004	110	CAUDAL MEDIO MENSUAL	$m^3 s^{-1}$
2005	110	CAUDAL MEDIO ANUAL	$m^3 s^{-1}$
2006	110	CAUDAL MEDIO ANUAL (Oct.-Sept.)	$m^3 s^{-1}$
2008	110	CAUDAL MÁXIMO DIARIO	$m^3 s^{-1}$
2009	110	CAUDAL MÁXIMO MENSUAL	$m^3 s^{-1}$
2010	110	CAUDAL MEDIO DIARIO MÁXIMA MENSUAL	$m^3 s^{-1}$
2011	110	CAUDAL MÁXIMO ANUAL	$m^3 s^{-1}$
2012	110	CAUDAL MEDIO DIARIO MÍNIMO MENSUAL	$m^3 s^{-1}$
2013	21	ESCORRENTÍA TOTAL DIARIA	mm
2014	21	ESCORRENTÍA TOTAL MENSUAL	mm
2015	18	NIVEL DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2016	18	NIVEL MEDIO DIARIO DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2017	18	NIVEL MEDIO MENSUAL DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2018	18	NIVEL MEDIO ANUAL DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2019	18	NIVEL MÁXIMO DIARIO DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2020	18	NIVEL MÁXIMO MENSUAL DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2021	18	NIVEL MÍNIMO DIARIO DE AGUA SEGÚN EL RSc	m
2024	21	PRECIPITACIÓN HORARIA TOTAL	mm

NOTA: RSc es la Referencia del Servicio cartográfico, que corresponde a la altitud nacional cero.

iv. *Códigos de datos faltantes*

Es muy importante diferenciar entre datos faltantes y datos registrados con valor cero. Si el sitio de un valor numérico faltante es dejado en blanco, la mayoría de las computadoras lo interpretarán como un cero que agregan automáticamente, lo cual se presta a confusión. Como no se puede utilizar un carácter alfabético en un sistema de datos numéricos, el problema de los datos faltantes no puede resolverse al agregar una "M" (faltante). Una posibilidad es poner el código M como bandera de dato separada; pero en los sistemas donde no se usan banderas, se deberá introducir un valor físicamente imposible, por ejemplo -999, para indicar al sistema de procesamiento de datos la presencia de un valor que falta. Si es necesario, ese valor puede ser transformado en un espacio blanco o "-" en el fichero de salida.

6. ENTRADA DE DATOS

a. *Uso del teclado*

El procedimiento ha seguir cuando la información se entra al sistema manualmente (uso de teclado) por parte del centro de entrada de datos serán:

a) Teclear los formularios de datos completados localmente, de preferencia bajo el control de una computadora.

b) Revisar y corregir los datos ingresados. Esto puede ser hecho por inspección visual de hojas impresas y/o el uso de programas básicos de validación de datos (ver numeral 5) preparados en la oficina central.
c) Copiar los datos corregidos en un disco u otro soporte informático y enviarlo o transmitirlo, vía módem u otra conexión, a la oficina central.
d) Recibir y responder preguntas de la oficina central después de que en el EDP (proceso electrónico de datos) se hayan utilizado varios programas complejos de validación. Si fuera necesario, los grupos de datos originales se podrían editar y hacer un nuevo envío.

La entrada de datos es una tarea que debe ir de manera mancomunada del grupo de operativo de entrada de datos y el de hidrología, esto con el fin de hacer más eficiente la etapa de validación de la información.

Cualquiera que sea el sistema de entrada de datos usado, es esencial que se proporcione una guía clara, preferentemente en el mismo formulario de datos, sobre la forma en que se deben entrar los datos. No debe existir ambigüedad acerca de qué se debe o no se debe entrar, ni acerca del formato de datos.

i. *Estaciones manuales que utilizan la telemetría*

En algunas estaciones los datos son recolectados manualmente, pero son transferidos por telemetría de modo que requieren la participación del ser humano en ambos extremos de la conexión de telemetría. Dicha recolección de datos semiautomática es usada con frecuencia en sistemas de proceso en tiempo real y cada vez más para la recolección de datos hidrológicos.

Los sistemas más sencillos de teletransmisión son el teléfono, el télex y las conexiones radiales. Estos sistemas requieren 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. Asimismo, el programa de ingreso de datos, debe ser preparado de forma que permita que conjuntos aleatorios de datos, observados en distintos lugares, sean ingresados y si el programa usa estos valores para actualizar los respectivos ficheros de series de tiempo. Los procesos de entrada de datos y de actualización deberán incluir un grado elemental de validación de datos, por ejemplo el control de los intervalos de variación (ver numeral 5).

Si los datos telemétricos son usados para llevar inventarios, se recomienda que el observador envíe la planilla usual de entrada de datos al final de cada período de observación. Aunque los datos no necesiten ser reingresados, la planilla puede ser usada para revisar los registros digitales.

ii. *Estaciones automatizadas*

Esta sección se refiere a las estaciones equipadas con sensores automáticos desde donde se pueden grabar datos en medios compatibles con la computadora y/o trasmitirlos por telemetría a un centro de recolección de datos.

El estado del desarrollo de los diversos sensores automáticos puede ser resumido como sigue:

a) Operacional para los niveles del agua.
b) Operacional para el caudal de superficies abiertas.
c) Fiabilidad variable para la carga de sedimentos suspendidos y de fondo.

Los sensores se dividen en dos grupos: los que proveen señales analógicas y los que producen salidas digitales. Donde los sensores del primero grupo generalmente deben ser convertidos en formatos digitales mediante cualquier operación posterior, mientras que los del segundo grupo son digitalizados enteramente por medios electrónicos.

Muchos sensores producen señales que necesitan una conversión de datos a unidades estándar para su análisis. Las conversiones pueden ser completas o referirse a relaciones de calibración adaptadas a cada sensor.

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 estaciones de medición del nivel del agua las dos bases de tiempo son idénticas.

Los observadores hidrológicos visitan las estaciones a intervalos de uno a tres meses para recolectar los datos y renovar los medios de grabación para el próximo período para luego ser llevados al centro de procesamiento. O bien, los datos pueden también ser trasmitidos al centro de procesamiento por radio, teléfono o vía satélite (telemetría).

Dentro de los tipos de estaciones automáticas encontramos las de memoria de estado sólido, cuyo uso ha ido en aumento para todo tipo de grabación de datos in situ. Además, hacen posible almacenar los datos resultantes en módulos de memoria intercambiable, con una capacidad de almacenamiento típica (RAM) de 8 000 datos, lo que equivale a cerca de 11 meses de datos registrados horariamente o casi tres meses de datos registrados cada 15 minutos. Dicha capacidad va aumentando conforme se hacen nuevos desarrollos tecnológicos.

El procedimiento a seguir para la recolección de datos es el siguiente:

a) Un módulo de grabación en blanco se inserta en el dispositivo de campo al comienzo de cada período de registros.
b) El módulo que se retira es llevado al centro de procesamiento en donde es conectado a un lector de dicho módulo. El lector, que cuenta con su propio microprocesador, puede procesar y formatear los datos contenidos en el módulo y la salida puede ser impresa y/o transmitida a la computadora central mediante interfaces estándar (RS-232).
c) Después de transferir los datos, se eliminan del módulo, el cual puede volverse a utilizar. También se puede utilizar una memoria de sólo lectura programable borrable (EPROM) para transferir los datos directamente a una computadora de terreno sin retirar el EPROM.

Estos sistemas poseen ventajas tales como el no requerimiento de partes mecánicas móviles en el sistema de grabación de terreno, el bajo consumo de energía y una unidad de grabación mucho más compacta. Sin embargo, el grado extremadamente alto de automatización de estos sistemas no permite al observador de terreno revisar visualmente el funcionamiento de los instrumentos. Este tipo de recolección de datos in situ desempeña un papel cada vez más importante en los sistemas de recolección y proceso de datos.

7. Procedimientos de proceso

a. Procedimientos generales del proceso primario

Para este capítulo se ha hecho una diferencia algo artificial entre los procesos de validación de datos y el proceso primario de datos. Los procedimientos de validación de datos sobre todo hacen comparaciones entre los datos ingresados y los valores de prueba. El proceso primario es considerado como el que está compuesto de procedimientos necesarios para transformar los datos de entrada a fin de almacenarlos, imprimirlos o visualizarlos en pantalla.

Desde un punto de vista operativo, tanto la validación como el procesamiento primario son parte de los procesos de actualización de la base maestra de datos, que se llevan a cabo en la mayoría de los sistemas hidrológicos con una frecuencia mensual. Sin embargo, cabe señalar que tanto la actualización como algunas etapas del proceso primario están condicionadas a una validación de los datos.

Los principales componentes del procesamiento primario son:

i. *Ajuste de datos por errores conocidos*

Estos son errores indicados por los técnicos de terreno o por los encargados de efectuar manualmente el control de calidad de los conjuntos de datos que se reciben. Los ajustes que más se requieren son compensaciones por errores de cero y por diferencias entre la hora y la fecha en que fueron registrados con las anotadas por el técnico de terreno. Se ha de tener en cuenta que la corrección de estos errores se debe hacer antes de someter los datos a la validación.

ii. *Agregación e interpolación de datos*

Muchas variables, dada su naturaleza dinámica, deben ser medidas en períodos relativamente cortos, pero sólo se utilizan como promedios de períodos más largos (agregación). Por lo tanto, para muchas aplicaciones hidrológicas, las variables pueden ser requeridas sólo en valores diarios, aunque deben ser medidas con una frecuencia mayor para obtener valores estimados diarios fiables. Si bien la agregación es directa para una serie cronológica de intervalo constante, una doble etapa de interpolación/agregación es necesaria para variables medidas en períodos irregulares.

Es importante observar que los niveles de agregación de datos son en general diferentes para el almacenamiento y para el egreso de los datos. Los datos en un nivel alto de agregación, por ejemplo promedios mensuales o anuales, pueden ser luego mantenidos en línea para su consulta general.

La interpolación y la agregación son necesarias tanto en el espacio como en el tiempo. La correlación cruzada de datos de estaciones para estimar datos faltantes es una interpolación espacial que se utiliza con frecuencia y la estimación de valores superficiales a partir de puntos de observación es una forma común de agregación.

iii. *Evaluación de variables derivadas*

Una de las variables hidrológicas derivadas más frecuente es la escorrentía, sin embargo, la gama de variables derivadas es muy amplia. De manera que es importante saber si las variables derivadas tienen que ser almacenadas después de haber sido calculadas e informadas. Para lo cual es importante plantearse las siguientes preguntas:

- ¿Cuán seguido se deben recuperar las variables derivadas?
- ¿Cuán complejos son los cálculos requeridos, tanto en términos de algoritmos como de cantidad de datos básicos necesarios?
- ¿El objetivo de la base de datos es almacenar los datos básicos para que los usuarios los procesen ellos mismos o compilar un inventario de todas las variables importantes (básicas y derivadas)?

Se puede aplicar la fase de validación a las variables derivadas, sobre todo las derivadas de dos o más series cronológicas básicas. De esta manera, aunque los valores de nivel de agua en ríos y las curvas de calibración puedan ser validados individualmente, su combinación para producir estimaciones de caudal puede revelar algunas inconsistencias que deben ser analizadas.

iv. *Salidas de resúmenes estadísticos*

Son salidas de rutina, con frecuencia mensual o anual, de los datos procesados durante el ciclo de actualización de la base de datos. Estas salidas pueden ser consideradas como datos procedentes de la extracción de los datos básicos. Cabe recordar que, muchos elementos del procesamiento primario y del programa de recuperación de datos deben ser comunes. La atención que se preste a este punto reducirá en gran medida el esfuerzo de desarrollo de programas informáticos.

v. *Conversión a formato de almacenamiento de bases de datos*

La complejidad de esta operación depende de la diferencia entre el formato en el que los datos ingresados se suministran y el formato de los ficheros de la base de datos principal. Los datos en general se mantienen en el formato de ingreso mientras aguardan la validación y el procesamiento primario. Luego de este procesamiento, los datos procesados, con su calidad ya controlada, son transferidos para "actualizar" los archivos de la base de datos principal. Cabe destacar que no es necesario ni recomendado usar formatos comunes.

Los formatos de ingreso de datos deben ser diseñados para adaptarse a las características de los sistemas de recolección e ingreso de datos. Los formatos de almacenamiento de datos deben ser diseñados para adaptarse al medio de almacenamiento y a los requerimientos de acceso a los datos.

Además de proceder al reagrupamiento de los datos, pueden introducirse niveles adicionales de codificación, así como efectuar la conversión de las unidades medidas a las normas usadas en la base de datos. La conversión de una serie cronológica irregular a otra regular es otra de las operaciones necesarias en numerosos casos.

Existen muchas opciones para la forma en que los datos pueden ser comprimidos para un almacenamiento eficiente, como por ejemplo:

- Usar números enteros para el almacenamiento, que luego se envían a la escala correcta para la salida de valores. La memoria necesaria se reduce así a la mitad. Un entero normal utiliza dos bytes de almacenamiento comparado con los cuatro bytes necesarios para guardar un número real (decimal).
- Uso de archivos de datos sin formato (binarios) en lugar de archivos normales ASCII.
- Uso de un contador para valores constantes que se repiten. Así, un período de 10 días sin precipitación no necesita ser almacenado como una serie de 10 ceros, sino como un factor de repetición de 10 seguido por el valor cero.
- Una versión mejorada del método anterior consiste en eliminar totalmente todos los datos redundantes. Éstos se deben al registro repetido de fenómenos hidrológicos por algunos tipos de instrumentos de terreno, en particular los registradores a intervalos fijos. Por ejemplo, en la secuencia 40, 50, 60 es evidente que el valor central puede ser derivado por interpolación de los valores adyacentes.
- Uso de valores relativos en lugar de valores absolutos. Por ejemplo, el nivel de agua en un pozo puede ser expresado en términos absolutos de elevación o, más fácilmente, en relación a algún plano de referencia local o al nivel de agua medio. Sólo es necesario almacenar la diferencia con el valor anterior registrado.

No todos los datos serán sometidos a cada uno de los pasos de procesamiento antes descritos. El grado de procesamiento necesario depende de cada parámetro hidrológico, de la forma en que fue grabado y/o copiado para su ingreso, del tipo de sistema de procesamiento y del objetivo de la recolección del dato. En sistemas de tiempo real, es posible que los datos de entrada en forma bruta (validados o no validados) basten para desencadenar alguna acción de operación o de gestión.

La importancia del procesamiento también depende del rigor con que se aplicaron los indicadores del estado del dato y de los informes producidos en la etapa de validación del dato. Salvo que el sistema de validación detecte un error indiscutible, por ejemplo durante el control de error absoluto (numeral 5.a.i), es preferible dejar que el procesamiento continúe, quizás hasta la etapa de actualización. Dicha actitud elimina la necesidad de cualquier etapa de procesamiento posterior si luego se comprueba que el dato en cuestión es correcto. El estado de los datos debe ser señalizado en los formatos de trabajo, mientras se espera la confirmación o corrección de los datos.

b. Procedimientos específicos del proceso primario

Los procedimientos generales antes descritos se pueden aplicar a los distintos tipos de datos hidrológicos, pero hay procedimientos específicos para cada variable hidrológica que es de interés para FOPAE, así:

i. Datos de nivel

Para el cálculo y procesamiento de los niveles de agua se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Definir o verificación del cero de limnímetro

Si no se ha definido el cero de la mira es bueno tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El valor cero corresponda a un nivel inferior al más bajo que pueda preverse para evitar las lecturas negativas.
- Mantener el mismo cero o punto de referencia de la escala en todo el período de registro.
- El cero del limnímetro debe verificarse anualmente mediante la nivelación con niveles de referencia locales y en lo posible a un nivel cartográfico nacional o regional.

De manera contraria, antes de empezar las operaciones de procesamiento, se debe analizar si el cero de la mira no ha variado. En caso de variación, los datos deben ser corregidos.

La variación del cero de la mira puede ser causada por

- La instalación de una nueva mira en otra sección de monitoreo: en cuyo caso será necesario hacer la correlación entre los niveles simultáneamente leídos en las dos miras (nueva y antigua), de tal manera que se pueda completar la serie histórica de la nueva estación a partir de la estación antigua.
- El desplazamiento vertical del cero de la mira, por el asentamiento de la mira existente o al reinstalar una nueva mira en un mismo punto de la antigua. En cuyo caso se determinará la diferencia de altura entre ambas miras o del asentamiento y se harán las correcciones necesarias para referir los niveles medidos con la mira antigua en términos de la nueva mira.

2. Medición de nivel del agua con miras hidrométricas

Las lecturas normales de mira se hacen todos los días (inclusive festivos), a las horas prescritas para observaciones. En Colombia generalmente se realiza a las 6 y 18 horas o a las 6:30 y a las 18:30. Durante avenidas se deben realizar observaciones suplementarias del nivel del agua, preferiblemente cada hora y, además, se debe definir la magnitud del nivel máximo y el momento en el cual se produjo. Después del paso de la creciente del río, se debe leer el nivel máximo indicado por el maxímetro. Pero en caso de que no haya forma de medir el nivel máximo se puede hacer una marca sobre las orillas, de tal modo que se pueda posteriormente reconstruir la creciente y los caudales correspondientes.

Para la lectura de la mira se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Las lecturas de mira se debe hacer con el mayor cuidado necesario, teniendo en cuenta que el observador se sitúe frente a la mira y lo más cerca posible de la superficie del agua.
- La anotación de los niveles se hace en centímetros.
- Se debe procurar que el observador haga observaciones de situaciones anormales como: falta de flujo, sequía total del lecho de la corriente, formación de represamientos y remansos en el sector de la mira, desarrollo de obras en el cauce del río o en cercanías de la estación, daños producidos a los equipos hidrométricos.

3. Verificación preliminar de los niveles

Una vez aclarado el análisis de la variación del plano cero de referencia de la mira, se debe realizar la verificación preliminar de los valores de nivel de agua, lo cual se refiere a los siguientes aspectos:

- Continuidad de las fases hidrológicas. Para ello se analiza cómo varían los valores de nivel al pasar un mes a otro y si hay continuidad normal durante los ascensos y descenso de nivel.
- Marcación de datos dudosos, para tenerlos en cuenta en la verificación de los caudales correspondientes.
- Marcación de valores máximos instantáneos de cada mes para confrontarlos con los caudales instantáneos mensuales.
- Verificar los valores de nivel registrados por la estación automática a partir de los registros del observador

Las lecturas de mira anotadas por el operador cuando realiza las visitas propias de la estación, junto con las lecturas del observador son muy importantes, no sólo para verificar los registros de niveles, sino también para la interpretación en casos tales como: la inversión del sistema de registro de niveles o variaciones en la hora y fecha de la lectura del nivel.

4. Cálculo del nivel

Para ciertos fines, se deben conocer los valores promedios diarios de niveles y los máximos instantáneos. En tal caso, los valores medios diarios se determinan generalmente como el promedio aritmético de las dos lecturas diurnas de mira o de los 24 valores horarios extraídos de la estación automática. En caso de que se produzca una creciente entre las horas de observación de nivel en una estación que sólo cuenta con miras, los valores medios diarios se calcularán como el promedio ponderado de las dos lecturas que normalmente se hacen y las lecturas extraordinarias efectuadas durante la creciente.

La totalidad de los valores característicos de niveles de un año dado son básicamente: los promedios diarios, los máximos instantáneos, los promedios diarios mínimos con resolución mensual y anual. Los cuales se centralizan en una base de datos y posteriormente empleados para el cálculo de caudales.

ii. Datos de caudales líquidos

Hay varias etapas requeridas para obtener datos de caudal, las cuales se detallan a continuación:

1. Mediciones de caudal

Como se describió en el numeral 5.b.ii los cálculos de caudales obtenidos a partir de datos de molinetes se hacen principalmente como una verificación de los valores calculados manualmente en campo. Dado que el volumen de datos es pequeño y los análisis son relativamente sencillos, muchos sistemas no están previstos para el procesamiento informático de ambos conjuntos. Por lo general, se cuenta con calculadoras programables o computadora portátil para ayudar a los técnicos a evaluar sobre el terreno las mediciones de los molinetes.

Como los resultados de los molinetes influyen en la estimación posterior del caudal, se recomienda que los datos de mediciones de caudal sean sometidos a una verificación, que se extienda al análisis de errores y a la asignación de límites de confianza a las mediciones individuales.

Los caudales calculados pueden ser revisados desde el punto de vista de su conformidad estadística con relación a la curva de calibración existente. Cualquier programa desarrollado para datos de mediciones de caudal debe ser capaz de manejar el máximo número de verticales posibles.

Los cálculos de caudal se pueden realizar por métodos gráficos (basados en la curva de velocidad vs la profundidad de agua o en los isolíneas de velocidad) o aritméticos los cuales se describen brevemente en la Tabla 4.

Como se pude apreciar en la Tabla 4, un dato fundamental para el cálculo de caudal es la velocidad media, cuyo valor se determina generalmente por el método de los puntos reducidos. Este método consiste en estimar la velocidad media a partir de la velocidad puntual medida a ciertas profundidades de cada vertical. En la Tabla 5 se describen las expresiones matemáticas de algunas variantes de este método de acuerdo al número de puntos medidos por vertical.

Tabla 4. Breve descripción de las expresiones matemáticas de los métodos de cálculo de caudal[1]

Tipo	Expresiones matemáticas	Descripción de parámetros
Sección Media	$q_i = \left(\frac{\bar{v}_i + \bar{v}_{i+1}}{2}\right)\left(\frac{d_i + d_{i+1}}{2}\right)b_i$ $Q = \sum_0^{n+1} q_i$	v_i – Velocidad media de la vertical *i* v_{i+1} – Velocidad media de la vertical adyacente *i+1* d_i y d_{i+1} – Profundidad total de la vertical *i y i+1* b_i – Distancia horizontal entre las verticales *i y i+1* q_i – Caudal del segmento de sección *i* Q – Caudal medio de la sección transversal n – Número de verticales
Semi-sección	$q_i = \bar{v}_i d_i \left(\frac{b_i + b_{i-1}}{2}\right);\ Q = \sum_0^n q_i$	b_{i-1} – Distancia entre las verticales *i* e *i-1*

Tabla 5. Breve descripción de las expresiones matemáticas de los métodos de cálculo de velocidad

Número de mediciones por vertical	Expresiones matemáticas	Descripción de parámetros
1	$\bar{v}_i = v_{0.6}$	v_i – Velocidad media de la vertical *i* $v_{0.6}$ – Velocidad medida a 0.6 de la profundidad total a partir de la superficie
2	$\bar{v}_i = \left(\frac{v_{0.2} + v_{0.8}}{2}\right)$	$v_{0.2}$ – Velocidad medida a 0.2 de la profundidad total a partir de la superficie $v_{0.8}$ – Velocidad medida a 0.8 de la profundidad total a partir de la superficie
3	$\bar{v}_i = 0.25 \cdot (v_{0.2} + v_{0.6} + v_{0.8})$	
5	$\bar{v}_i = 0.1 \cdot (v_{Superficie} + v_{0.2} + v_{0.6} + v_{0.8} + v_{lecho})$	$v_{Superficie}$ – Velocidad medida muy cerca de la superficie. v_{Lecho} – Velocidad medida muy cerca del lecho
6	$\bar{v}_i = 0.1 \cdot (v_{Superficie} + v_{0.2} + v_{0.4} + v_{0.6} + v_{0.8} + v_{lecho})$	$v_{0.4}$ – Velocidad medida a 0.4 de la profundidad total a partir de la superficie

2. *Curvas de gastos*

Las curvas de gastos definen la relación que existe entre el nivel y el caudal. Esta relación se puede determinar después de realizar muchas mediciones de caudales, que cubran una gran serie de caudales y usando los valores de niveles y caudales para definir una curva continua de gastos. En el caso en que se cuente con estructuras para aforo que cuenten con una curva de gastos teórica, se recomienda calibrar dichas estructuras en campo.

[1] MMO, "Guía de prácticas hidrológicas adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones", OMM-No. 168, Capítulo 11, 1994

La forma funcional de la curva de gastos tiene uno de estos tres orígenes: 1) Una ecuación teórica (o modificada) para una estructura de aforo; 2) una función ajustada mediante regresiones lineales o exponenciales y 3) una función ajustada de los puntos medidos trazada manualmente.

En el caso de ajustar la curva de gasto a partir de regresiones, se podría hacer un análisis más completo, asignando pesos a cada medida de caudales para reflejar la confianza estadística o subjetiva asociada con ella. Sin embargo, se debe tener en cuenta, que independiente del grado de detalle del análisis, las curvas de gasto tienen un nivel de tolerancia que puede variar con el tiempo; por lo que se recomienda conservar las curvas de gastos históricas para poder recalcular los caudales.

Las curvas de gastos pueden ser almacenadas en la computadora de dos maneras: la forma tabulada y la forma funcional. Las formas tabuladas siguen siendo las más usadas y las gráficas son preparadas por extracción manual de los puntos en la curva de gastos. La extracción es hecha de forma que se puedan interpolar los puntos intermedios, lineal o exponencialmente, sin errores importantes en la estimación del caudal.

3. Cálculo de caudal

Para la evaluación de caudales, deben estar disponibles las series históricas de los niveles controlados en cuanto a su calidad, la curvas de gastos correspondientes al período y al rango de las series de niveles y las correcciones de variaciones que se necesite aplicar al registro de niveles. Además, si el régimen es controlado por la presencia de estructuras de control (compuertas) se requiere un registro de la operación diaria de las estructuras para guiar el algoritmo de la curva de gastos.

Cuando se dispone de todos los conjuntos de datos, el cálculo de caudal puede continuar en las siguientes etapas:

a) Aplicar correcciones por variaciones del perfil al registro de niveles.
b) Controlar que la curva de gastos que se está usando sea válida para la fecha en que se midió el nivel procesado.
c) Controlar que los niveles que se están procesando se sitúan dentro del rango válido para la curva de gastos.
d) Aplicar la curva de gastos a un nivel de agua y obtener el valor del caudal correspondiente.
e) Regresar a la etapa a) hasta que todos los niveles de agua hayan sido procesados.
f) Compilar la series cronológicas de caudal para obtener los promedios de caudal en la unidad de tiempo estándar requerida (normalmente un día).

La agregación para producir los intervalos de tiempo estándar debe ser la última etapa en los procedimientos descritos anteriormente, debido a la relación no lineal entre el nivel y el caudal. Como se ha indicado varias veces, los datos de caudal son usualmente agregados como valores promedios diarios.

Si se dispone de las estimaciones especiales de las precipitaciones e información de caudales instantáneos se deben almacenar en un archivo aparte para poder apoyar las consultas futuras de datos más detallados.

4. Tareas de rutina después de realizar los cálculos

En general, se trata de completar los datos faltantes mediante una correlación cruzada entre estaciones de medición cercanas, sobre todo las que se encuentran dentro del mismo sistema fluvial. En ausencia de correlaciones fiables puede recurrirse a modelos de lluvia-escorrentía, incluido el uso de modelos conceptuales de cuencas. Todos los datos estimados deben ser adecuadamente señalados.

Numerosos sistemas fluviales son afectados por las actividades humanas y estos efectos cambian con el tiempo. Para los estudios hidrológicos y de recursos hídricos casi siempre es necesario tratar de aislar estos

efectos artificiales de la respuesta natural de la cuenca, esto es obtener una serie cronológica estacionaria. Este proceso requiere un gran conocimiento de todas las derivaciones, caudales y represas dentro de la cuenca, directas o indirectas. Los efectos del uso del agua pueden ser agregados en una única serie cronológica que represente las modificaciones del caudal del río. Cuando estas correcciones se aplican a los caudales medidos se obtiene una serie natural. Cualquier dato modificado debe ser debidamente señalado.

Una tarea esencial para el proceso de datos, sobre todo para el de sistemas de caudales, es realizar las debidas operaciones de mantenimiento en todos los conjuntos de datos. Estas operaciones requieren medidas que permitan decidir los datos que deben ser mantenidos. Según los principios establecidos en la sección a, convendría tratar de guardar sólo los datos básicos fundamentales (y copias de seguridad) y los datos derivados principales, como, los datos de caudal diario que consumen mucho tiempo para ser calculados. Cabe señalar que los datos siguientes, relativos a caudales, deben ser conservados:

a) Los datos de niveles de agua y las correcciones efectuadas.
b) Los datos de niveles ajustados, esto es las series cronológicas de niveles de agua corregidos por errores temporales, altura del cero de escala y altura del limnímetro. Una copia de trabajo y por lo menos una copia de seguridad se deben conservar (fuera de línea).
c) Las curvas de gastos diarios y sus correcciones asociadas.
d) Los promedios diarios de caudal, algunos de los cuales pueden ser mantenidos en línea (los últimos años, resúmenes mensuales o períodos completos para estaciones importantes de referencia).
e) Datos relativos al uso del agua de la cuenca, utilizados para obtener los caudales naturales.

Todos los demás grupos de datos son transitorios, o pueden ser derivados fácilmente de estos conjuntos de datos básicos.

8. BIBLIOGRAFÍA

STANESCU, S. “Apuntes de clase para el curso de hidrología práctica (Parte I)”. Servicio Colombiana de meteorología e hidrología – SCMH. Bogotá, Colombia. 1974.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, OMM “Guía de practicas hidrológicas adquisición y procesa de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones”. OMM No. 168. 1994.

INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ADECUACIÓN DE TIERRAS – HIMAT. “Apuntes Métodos de medición y procesamiento de la información hidromereorológica”. Bogotá, Colombia. 1982.

STANESCU, S. “Instrucciones de procesamiento y análisis críticos de la calidad de los datos hidrométricos para su publicación en anuarios hidrológicos”. Servicio Colombiana de meteorología e hidrología – SCMH. Bogotá, Colombia. 1970.