

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPTO. DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

REDES HIDROMETEOROLOGICAS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Caracas, mayo de 1.974

REDES HIDROMETEOROLOGICAS

1. Principios generales para la planificación de redes

1.1 Generalidades:

Se están haciendo interesantes progresos en la expansión por todo el mundo de las redes hidrometeorológicas, pese a lo cual aún persisten grandes deficiencias, sobre todo en los países donde son mayores las necesidades y las posibilidades de desarrollo hidráulico.

Los datos hidrometeorológicos sirven, sobre todo, para proporcionar informaciones destinadas al desarrollo y ordenación de los recursos hidráulicos de un país. Se utilizan también para la explotación: predicción del caudal o nivel de las crecidas, caudales de estiaje, aportaciones mensuales o, en ciertos casos, anuales, explotación de embalses e instalaciones hidroeléctricas, etc. Por último sirven también para la investigación. Sin embargo en esta Guía se consideran ante todo las redes hidrometeorológicas de finalidad general.

Es importante que las distintas redes se establezcan en forma integrada, especialmente las redes pluviométricas y las hidrométricas. En algunos casos, el mismo servicio se encarga de la explotación de ambas redes pero, con frecuencia, cada una de ellas depende de diferentes organismos; en estos casos, la explotación y desarrollo de ambas redes exige una estrecha cooperación entre los organismos correspondientes.

Se comprenderá fácilmente la imposibilidad de hallar un procedimiento universalmente satisfactorio para la planificación de las redes hidrometeorológicas, si se tiene en cuenta la diversidad de los terrenos y sus diferentes problemas. En primer lugar puede haber países que deseen obtener datos con fines aún desconocidos. En segundo lugar, la densidad de observación y la extensión de los registros necesarios depende de la variabilidad en el espacio y en el tiempo de los fenómenos, datos que solo se pueden determinar después del adecuado muestreo. No obstante la experiencia indica cierto número de recomendaciones de carácter más o menos general que conviene tener en cuenta cuando se realiza un programa de obtención de datos hidrometeorológicos.

El objetivo final es el establecimiento de una red óptima y completa, pero, en los países que han iniciado recientemente los estudios hidrometeorológicos, lo más urgente es que se

le oriente para la planificación de redes que tengan la densidad mínima aceptable. La red de densidad mínima es la que basta para evitar errores importantes en el desarrollo y ordenación de los recursos hidráulicos en la escala correspondiente al desarrollo económico general del país.

Al planificar las redes hidrometeorológicas es esencial tener en cuenta en todo momento su finalidad básica. Esta es la de dilucidar la hidrología de las cuencas hidrográficas, o unidades hidrológicas, que se consideren.

Por esta razón la planificación de las redes hidrometeorológicas deben estar íntimamente relacionadas con aquellos factores que afecten más significativamente a la hidrología, es decir, la topografía, morfología, precipitación, geología, utilización del suelo y tipos de terreno.

1.2 Red óptima:

Los países desarrollados que ya poseen una red hidrometeorológica relativamente densa, con registros extensos, es necesario que establezcan una red óptima. Así pues antes de esbozar los principios generales para el establecimiento de una red mínima, se formularán algunas sugerencias esenciales para la red óptima.

La finalidad de una red óptima es la ejecución satisfactoria de un programa, definido por una condición bien sencilla: la de que por la interpolación de los valores obtenidos en las diferentes estaciones, se puedan determinar, con exactitud suficiente para la práctica, las características de los elementos hidrometeorológicos fundamentales en cualquier punto del país. Por características se entienden todos los datos cuantitativos, promedios y valores extremos que determinan la distribución estadística del elemento hidrometeorológico estudiado.

Es importante hacer una selección idónea, evitando la multiplicación innecesaria de estaciones que van a estar en funcionamiento durante un tiempo indefinido.

Las estaciones hidrométricas de observación se pueden dividir en tres categorías:

- Estaciones principales
- Estaciones secundarias
- Estaciones especiales.

Las estaciones principales llamadas también estaciones básicas o permanentes constituyen las bases de los estudios estadísticos, y por lo tanto deberán estar en funcionamiento continuamente y por un tiempo indefinido.

Las estaciones secundarias sólo estarán en funcionamiento un número limitado de años; el tiempo necesario para establecer una correlación firme entre ellas y las estaciones principales o con las características del terreno. Cuando las estaciones hidrométricas estudian relaciones entre caudales habrá que tener en cuenta si la estación subordinada está emplazada en el mismo río que la principal o en una corriente vecina; en este último caso las correlaciones pueden ser menos significativas. Desplazando las estaciones secundarias después de establecida la correlación, se puede cubrir todo el país con una densa red fundada en las estaciones principales que están continuamente en funcionamiento.

Las estaciones especiales son las que se establecen con un propósito particular. En general, no están en condiciones de proporcionar los registros necesarios para todos los análisis estadísticos precisos para los estudios de corrientes y, por esta razón, es raro que se las tenga en cuenta en una red mínima.

Esta división en tres categorías es útil para las redes hidrométricas, y debe aplicarse también al desarrollo de las redes climatológicas.

1.3 Red mínima:

La realización de una red óptima racional como la estudiada en el párrafo anterior requiere mucho tiempo y experiencia. La red óptima no debe ser un objetivo inicial, sino que conviene comenzar por establecer el mínimo número de estaciones que la experiencia haya demostrado suficiente para el desarrollo económico de los recursos hidráulicos en el país.

Es importante establecer la red mínima lo antes posible, pero una vez conseguida ésta habrá que tratar de alcanzar la red óptima. Con este objetivo se podría, por ejemplo, establecer una estación hidrométrica provisional que no exija mucha atención. Si es posible se relacionaran los registros de nivel de agua con una referencia permanente y, más adelante la estación provisional se sustituirá por una definitiva. Sin embargo no debe permitirse que la rapidez de la instalación vaya en detrimento de la organización de las observaciones. Habrá que conseguir el mejor equilibrio entre ambos factores.

Cuando se ha establecido una red mínima, se puede determinar en cualquier lugar las características generales de precipitación y escorrentía, por interpolación entre las estaciones o por extrapolación. Sin embargo, la interpolación o la extrapolación pueden ser imprecisas para los estudios más detallado y, en ese caso, habrá que establecer estaciones secundarias en los puntos críticos, durante el tiempo que se crea necesario, para averiguar los datos precisos o para hacer posible la extrapolación, mediante correlación de los registros

obtenidos con los de la estación principal más próxima. De esta manera se inicia la transformación de una red mínima en una red óptima.

A causa de la escasa densidad de la red mínima, es muy importante que los registros de todas las estaciones sean de buena calidad; aun suponiendo que las estaciones estén bien instaladas, pueden ser de escaso valor si no se utilizan correctamente; su explotación continua puede ser difícil, sobre todo cuando hay que hacerlos funcionar durante mucho tiempo (20 años o más). Evidentemente, una red mínima en la cual la mitad de las estaciones estén abandonadas o se utilicen en forma irregular, tiene una densidad real reducida en un 50 por ciento y ya no es ni siquiera una red mínima. Por ello habrá que cuidar no sólo el establecimiento de la estación, sino también su explotación ininterrumpida y el control de los datos que registre.

1.4 Utilización óptima de las estaciones existentes para organizar una red mínima:

No es raro que existan estaciones en funcionamiento incluso antes de que se haya organizado una red mínima. Es importante que tales estaciones pasen a formar parte de la red, pero si se desea un mejor emplazamiento, antes de clausurarlas convendrá relacionarlas con una nueva, ya que sólo estas antiguas estaciones pueden proporcionar el largo número de años de registro necesario para los estudios estadísticos. Pero estas estaciones sólo se clausurarán si no son representativas en absoluto, es decir, si los resultados de sus observaciones están influidos por condiciones locales que no son las prevalientes en la zona o por una regulación artificial del régimen hidrológico.

Si ya se clausuró alguna estación establecida mucho tiempo antes, convendrá abrirla de nuevo, de forma que se pueda utilizar una serie de observaciones fidedignas para establecer la necesaria correlación con algunas estaciones nueva y mejor situada. Es preciso establecer una relación entre la escala de registro hidrológico y algún punto de referencia de carácter permanente. Es muy importante completar la calibración (relación altura-caudal) de la estación de aforo.

Por último, se considerarán con todo cuidado los antiguos registros y, lo antes posible, se determinará y comprobará la exactitud de sus valores extremos.

Sólo después de cierto número de años se podrán sustituir las estaciones antiguas que no resulten adecuadas para la red.

1.5 Desarrollo de una red mínima:

La red mínima, que se ha de considerar sólo como un primer paso, se hará rápidamente insuficiente con el desarrollo del país. El establecimiento de una red óptima constituye una empresa de mucha mayor envergadura; las lagunas que queden después de la instalación de la red mínima puede ser lo bastante importante como para que ésta, con cambios escasos y relativamente secundarios, pueda pasar a formar parte de la red óptima. Casi todas las estaciones de la primera red se transformarán en estaciones principales o básicas de la red definitiva.

1.6 Datos hidrometeorológicos que hay que tener en cuenta para determinar la densidad de una red:

Antes de decidir la densidad que conviene a una red mínima habrá que considerar los datos que hay que tener en cuenta. En esta Guía se van a considerar los datos que requieren observación prolongada, que son los únicos importantes para decidir sobre un proyecto hidrometeorológico. Se trata de un problema fundamental para el desarrollo mundial de los recursos hidráulicos, ya que los registros hidrológicos deben iniciarse muchos años antes de que se plantee la necesidad. La falta de esta información será causa de que se retrase un proyecto de abastecimiento de agua o que se cometa algún error en el proyecto de alguna obra de ingeniería hidráulica o de ordenación hidrológica.

Los datos hidrometeorológicos son de muy diversas clases; en esta Guía se estudiarán los siguientes:

- 1) Precipitación y reserva de nieve
- 2) Nivel y caudal de los ríos y niveles de los lagos
- 3) Evaporación y evapotranspiración
- 4) Transporte y depósito de sedimentos.
- 5) Calidad química del agua superficial
- 6) Temperatura del agua
- 7) Capa de hielo en los ríos, lagos y embalses
- 8) Densidad de desarrollo de plantas acuáticas en lecho del río.

Se concederá especial importancia a los registros de precipitación y caudal de los ríos, pues la observación de estos dos elementos constituye, por lo general, la función primordial de las redes hidrometeorológicas nacionales.

1.6.1 Precipitación y reserva de nieve:

Las observaciones sobre lluvias, nevadas y reserva de nieve son muy frecuentes en hidrología. Durante la pre

paración de proyectos estos datos sirven para completar registros hidrométricos defectuosos, y durante la explotación se utilizan para predecir las alturas, caudales y disponibilidades de agua.

En esta Guía se estudia el número mínimo de pluviómetros necesarios para las observaciones hidrológicas; existen otros procedimientos de observación, el radar entre ellos, pero no incluyen en este estudio por considerarse que no están aún suficientemente avanzados.

1.6.2 Nivel y caudal de los ríos y nivel de los lagos:

Los datos relativos a los niveles y caudales de los ríos son fundamentales para la solución de la mayor parte de los problemas que plantea el proyecto y la explotación de los servicios hidrológicos. Los datos de caudal se deducen del registro continuo del nivel y de las mediciones ocasionales del caudal, por lo que ambos datos son inseparables y deben ser compilados y publicados por el mismo organismo. De igual manera, el nivel de un lago o de un embalse se utiliza para el cálculo de las variaciones en las reservas de agua factor decisivo para calcular el balance de agua en una cuenca.

Los informes sinópticos sobre las alturas y caudales son necesarios para la elaboración de las predicciones de los ríos. A veces se encarga del pronóstico un organismo distinto del que maneja las redes de precipitación o las hidrométricas; en estos casos es necesaria una estrecha coordinación para evitar innecesarias y costosas duplicidades de instalaciones y personal.

1.6.3 Evaporación y evapotranspiración:

El cálculo de la evaporación en una superficie descubierta de agua forma parte de la elaboración del proyecto de un embalse, sobre todo en regiones áridas o semiáridas. La evapotranspiración (o uso consuntivo), considerada en relación con la precipitación, mide las necesidades de agua de los proyectos de irrigación.

1.6.4 Transporte y depósito de sedimentos:

Se hacen observaciones sobre los materiales en suspensión y el arrastre de fondo de las corrientes de agua, y se calcula periódicamente el volumen de sedimentos depositados en los lagos y embalses. Estos datos son especialmente útiles para los proyectos de embalses, canales y otros muchos tipos de obras de canalización.

1.6.5 Calidad del agua:

. El agua destinada a usos domésticos, agrícolas o industriales ha de satisfacer determinadas normas de calidad. No sólo es necesario asegurarse de que el agua reúna las condiciones requeridas, sino también seguir haciendo observaciones continuamente con fines operativos.

1.6.6 Temperatura del agua:

La temperatura de las aguas de superficie y subterráneas es un factor importante para su explotación industrial o agrícola; además, la temperatura del agua de superficie es un dato de utilidad respecto a su origen.

1.6.7 Hielo en los ríos y lagos:

Las predicciones sobre congelación y deshielo de los ríos, clases de hielo y espesor de éste son de gran valor en regiones templadas y frías, donde la capa de hielo de los ríos, lagos y embalses afectan a importantes sectores de la economía de los países en cuestión. Es el hielo el que determina las posibilidades y métodos de utilización de los distintos tipos de embarcaciones (fechas límite de la estación navegable, duración de la misma, navíos idóneos, características de construcción de éstos). El hielo es, además causa de dificultades en el abastecimiento de agua para usos domésticos o industriales, para la explotación de las instalaciones hidroeléctricas, etc. En consecuencia, habrá que hacer observaciones sistemáticas en todas las regiones afectadas por el hielo.

1.6.8 Densidad de la vegetación:

La vegetación del lecho de los ríos retiene las corrientes e influencia la relación nivel-caudal. Los datos referentes a la densidad y ciclo de desarrollo de la vegetación de los lechos de los ríos son útiles para interpretación de la variabilidad puesta de manifiesto por los trazados estacionales de la curva nivel-caudal. La densidad de la vegetación debe observarse visualmente, distinguiendo tres niveles de desarrollo: i) escaso desarrollo de la vegetación; ii) Desarrollo considerable; iii) Cobertura casi completa. Se deben distinguir tres grupos de plantas: a) que no alcanzan la superficie del agua; b) que se extienden sobre la superficie del agua; c) que atraviesan, superándola, la superficie del agua.

También se requieren notas sobre el ciclo de desarrollo, por ejemplo, el momento en que se inicia el crecimiento, el período de floración (usualmente coincidente con el de máximo crecimiento), el período de marchitamiento

to (en el que se inicia la disminución del efecto de retención de la corriente por la vegetación) y, finalmente, la atrofia completa de cada especie determinada de vegetación. Deben hacerse observaciones en algunos tramos del río próximos a las estaciones de aforo.

1.6.9 Humedad del suelo y aguas subterráneas:

Las observaciones sobre la humedad del suelo y las provenientes de estaciones de estudio de las aguas subterráneas suministran importantes datos hidrometeorológicos, de utilidad para los estudios de balances hídricos y para el análisis de datos hidrológicos. No discutiremos la densidad deseable de estaciones de observación, pues depende de una gran variedad de factores.

2. Densidad de las estaciones de observación para una red mínima.

2.1 Factores que influyen sobre la densidad:

Cada uno de los tipos de observaciones descritos en las secciones precedentes ha de ser utilizado de forma que represente una zona; por ejemplo, una medición pluviométrica sólo es útil en la medida en que sea representativa de la precipitación real de la zona circundante.

La medida del caudal de un río no sólo representa el caudal procedente de su propia zona colectora, sino también, dentro de ciertos límites, el de zonas de las corrientes vecinas. No obstante, esta capacidad de representar una zona tiene un límite, y cuanto mayor sea el número de estaciones en una región determinada, más precisas serán las observaciones suministradas por la red.

Nadie ignora, ni deja de comprender, estas generalidades; el problema se plantea cuando se trata de precisar cuál es la densidad conveniente.

Es imposible definir una densidad uniforme para todos los países. Los detenidos estudios realizados en distintas regiones han puesto de manifiesto que, entre los factores que determinan la densidad idónea, los más importantes son las circunstancias fisiográficas e hidrológicas, especialmente la variabilidad local de la precipitación y del régimen hidrológico, y la naturaleza de la hidrografía (es decir si existen muchas pequeñas corrientes o un escaso número de ríos caudalosos); intervienen asimismo otros factores, como la necesidad de datos hidrometeorológicos - para las instalaciones en creación o en funcionamiento, - densidad de población, actividades económicas, etc.

Estos estudios han demostrado la imposibilidad de tener en cuenta todos los factores. Esta Guía, por su carácter internacional, precisa soluciones sencillas para la definición de criterios de densidad.

2.2 Densidad mínima límite de las redes climatológicas.

La red climatológica estudiada en esta Guía comprende los siguientes tipos de datos:

- 1) Precipitación
- 2) Medida de la nieve
- 3) Evaporación

2.2.1 Estaciones Pluviométricas:

2.2.1.1 Estaciones pluviométricas - Densidad de una red mínima:

El número mínimo de pluviómetros se ha definido por el método que a continuación se describe. Es imposible definir un número idóneo de zonas suficientemente descriptivas de las distintas condiciones naturales. Resulta necesario definir, más o menos vagamente, un número limitado de categorías amplias que comprenden casos tan numerosos como diversos.

El criterio más sencillo y preciso de clasificaciones locales de precipitación. Cada país presentará un buen mapa de precipitaciones anuales basado en observaciones que comprenden cierto número de años, y a partir de dicho mapa se organizará una red mínima. Pero este plan no sirve para los países más necesitados de la red, pues estos apenas cuentan con registros previos, por lo que no están en condiciones de elaborar dicho mapa. Así pues no es aconsejable fundar la clasificación en esta característica de las variaciones locales. Sin embargo, habremos de considerar como una categoría especial, aquellos países que presentan una distribución muy irregular de precipitaciones.

También cuando la densidad de población es muy espesa, este hecho influye en los criterios que hay que adoptar con respecto a la red. Es imposible instalar y explotar con continuidad cierto número de buenas estaciones, independientemente de lo necesarias que éstas sean, cuando hay que hacerlo en zonas de población dispersa. Por ejemplo, es casi imposible instalar más de dos pluviómetros en una cuenca colectora de 1.000 Km cuadrado, que cuente sólo con 100 habitantes, y la dificultad es aún mayor si esta población no es fija. Además, en zonas poco pobladas es difícil encontrar observadores, y los medios de comunicaciones suelen ser escasos. En general, las zonas poco pobladas sufren condiciones climatológicas extremas: regiones áridas, polares o selvas ecuatoriales; en estos casos es recomendable el uso de pluviómetros totalizadores, que apenas

exigen mantenimiento y sólo un número escaso de visitas.

Partiendo de estas consideraciones, se han adoptado ciertas normas generales para la definición de criterios de densidad. Se han definido tres categorías de regiones.

- 1) Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales.
- 2) Regiones montañosas de estas mismas zonas.
- 3) Zonas áridas y polares.

Para las dos primeras categorías de regiones es necesario agrupar juntas las zonas donde, en un futuro próximo, no parezca posible conseguir una densidad satisfactoria de estaciones a causa de la escasa densidad de habitantes, de las malas comunicaciones o de otras razones de carácter económico.

Pueden recomendarse, como normas mínimas de densidad para las estaciones pluviométricas, las cifras que después se citan y que se han resumido en el Cuadro .1 (en el número total de pluviómetros van comprendidos los ordinarios, los pluviógrafos y los pluviómetros totalizadores).

Descripción del cuadro:

I. Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales:

11-17 estaciones por 10.000 km. cuadrado, 1 estación por 600-900 km. cuadrado.

Pero en los países donde no se considere posible conseguir, en un futuro próximo, el número requerido a causa de la escasa densidad de su población, de sus malas comunicaciones o de otras razones de carácter económico, se reducirá la red pluviométrica a:

1 estación por 900-3.000 km. cuadrado.

II. Regiones montañosas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales:

En regiones montañosas, es de gran interés que haya estaciones a distintas altitudes, sin que en ningún caso queden más de 500 metros de diferencia de altitud sin ninguna estación; la densidad mínima será de:

40-100 estaciones por 10.000 km², 1 estación por 100-250 km².

Pero en las regiones donde no se considere posible conseguir en un futuro próximo, el número requerido por las razones que se mencionaron al hablar de las regiones de la categoría I, debe por lo menos llegarse a una densidad de:

1 estación por 250-2.000 km².

Por otra parte, en pequeñas islas de menos de 20.000 km², con regiones muy irregulares y redes fluviales muy densas, la densidad mínima será de: 400 estaciones por 10.000 km², 1 estación por 25 km².

III. Zonas áridas y polares:

1-7 estaciones por 10.000 km², 1 estación por 1.500-10.000 km² según las posibilidades.

Estas normas no son aplicables a los grandes desiertos sin redes hidrográficas organizadas (Sahara, Gobi, Arábigo, etc.) ni a los grandes campos de hielo (Antártico, Groenlandia, islas del Artico). En estas regiones la precipitación no se estudia mediante redes pluviométricas de tipo normal, sino sirviéndose de estaciones y métodos de observación especiales.

Algunas regiones se adaptarán a las categorías descritas, pero otras no; puede darse el caso, por ejemplo, de que determinada zona precise una densidad intermedia entre la indicada para las regiones de la categoría I y la que se señala para las de la categoría II.

En todos los casos en que el mínimo se haya fijado en menos de 1 estación por 1.000 km² para las regiones de las categorías I y II, habrá que dotar algunas pequeñas zonas seleccionadas del orden de 3.000 km² con la máxima densidad de estaciones acordada para la categoría correspondiente, de forma que se pueda disponer de datos fidedignos sobre la variabilidad de la precipitación.

(Continúa en la página siguiente Gráfico)

Cuadro 1
Densidad mínima de las redes de estaciones pluviométricas

Categoría de regiones	Límites de las normas para una red mínima Superficie en km ² por estación	Límites de las normas admisibles en circunscripciones especiales <u>di</u> fáciles ¹ . Superficie en Km ² por estación.
I. Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales.	600-900	900-3.000
II. Regiones montañosas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales. Pequeñas islas montañosas con precipitación muy irregular y red hidrográfica muy densa.	100-250 25	250-2.000
III. Zonas áridas y polares ²	1.500-10.000 ³	

1. El límite máximo sólo es admisible en circunstancias excepcionales difíciles.
2. Sin incluir los grandes desiertos.
3. Según las posibilidades.

2.2.1.2 Reseña de algunas instrucciones generales para la instalación y empleo de las estaciones pluviométricas:

Conformándose a ciertos principios de instalación y empleo, el pequeño número de estaciones de una red mínima puede satisfacer las necesidades más urgentes.

En regiones montañosas se tendrán en cuenta las distintas altitudes y se utilizarán pluviómetros totalizados para medir la precipitación en los puntos más elevados. Las prospecciones de nieve pueden servir para completar las observaciones de la red pero no han de contarse como parte de ésta.

En general, los pluviómetros deben estar repartidos con la mayor uniformidad compatible con las necesidades prácticas de datos y con la situación de los observadores voluntarios.

En la red mínima se emplearán tres tipos de pluviómetros:

Pluviómetros Normales: En estos pluviómetros se hacen lecturas diarias. Además de la precipitación, en cada estación pluviométrica se harán observaciones diarias sobre nevadas, espesor de la nieve sobre el suelo, y estado del tiempo.

Pluviógrafos: Habrá que tratar que un 10 por ciento, por lo menos, de las estaciones en clima cálido y un 5 por ciento de las estaciones en clima fríos estén equipadas de pluviógrafos.

Pluviómetros totalizadores: En regiones poco habitadas o mal comunicadas, desiertos y terrenos abruptados, puede recurrirse a los pluviómetros totalizadores, que se leen mensualmente, estacionalmente o cuando es posible inspeccionar las estaciones.

Localización de los pluviómetros en relación con la red de aforo:

Si se desea que los pluviómetros sirvan después para completar los registros hidrométricos, para predicciones o para el estudio del balance hídrico, no habrá que dejar al azar la coordinación de éstos con la red hidrométrica; habrá que establecer dos pluviómetros, por lo menos, por cada estación de aforo. Pueden seguirse las siguientes normas:

- 1) Instalar un pluviómetro normal para cada estación de aforo.
- 2) Instalar un segundo pluviómetro en la cabecera de la cuenca donde está instalada la estación hidrométrica de aforo.

Es muy conveniente completar la red pluviométrica mediante observaciones de precipitación recogida en recipientes descubiertos después de un aguacero intenso; pero estas medidas no se pueden considerar como parte de la red mínima.

2.2.2. Prospecciones nivométricas:

En todas las estaciones pluviométricas normales deben hacerse observaciones sobre el espesor de la nieve.

La prospección nivométrica es complemento de las mediciones de las nevadas y el espesor de la nieve en las estaciones pluviométricas. El cálculo del equivalente en agua en el momento máxima acumulación estacional, indica aproximadamente la precipitación total estacional en las zonas en las que la fusión invernal es escasa, que es donde más útil es la prospección nivométrica. Así pues los datos de los sondeos nivométricos pueden informar sobre la precipitación estacional o anual en los lugares donde no se pueden hacer observaciones habitualmente; las prospecciones nivométricas periódicas sirven también para la predicción de ríos y los estudios de crecidas.

De las prospecciones nivométricas se encargan equipos especiales. En las montañas el número de rutas nivométricas, su situación y longitud dependen de la topografía de las cuencas vertientes y habrá que estudiar cada caso por separado.

2.2.3. Regiones de evaporación en una red mínima:

Los datos de evaporación se necesitan para calcular el índice de pérdidas de aguas en un embalse y para los estudios sobre el balance hídrico de una cuenca vertiente.

La importancia de los datos de evaporación aumenta con el grado de aridez de la zona; en regiones áridas se recomienda como mínimo el establecimiento de una estación de evaporación por cada 30.000 km².

En regiones húmedas y templadas basta con una estación por cada 50.000 km². En regiones frías se recomienda una estación por cada 100.000 km². para las redes mínimas. Una estación evaporimétrica consiste en un tanque de forma y dimensiones comunes a todo el país, en el cual se efectúan lecturas diarias de la evaporación; además se harán observaciones diarias sobre precipitación, temperaturas máxima y mínima del agua y del aire, recorrido del viento, recorrido del aire y la humedad relativa o punto de rocío.

Conviene que la red cuente con algún tanque de evaporación de tipo internacional como el de la clase A y el ruso GGI-3.000, con lo cual se podrán establecer comparaciones entre los datos recogidos por la red y los obtenidos en otros países.

2.3. Red hidrométrica de densidad mínima

La red hidrométrica consta de estaciones para las siguientes clases de observaciones:

- 1) Caudal
- 2) Niveles de los ríos, lagos y embalses.
- 3) Transporte y depósito de sedimentos
- 4) Medidas de la calidad química
- 5) Temperatura del agua
- 6) Característica de la capa de hielo en los ríos y lagos

Antes de fijar los límites convenientes a una red mínima, será útil exponer algunas definiciones y principios generales.

2.3.1. Caudal

2.3.1.1. Consideraciones generales sobre las redes de estaciones de aforo y la red mínima

El objetivo principal de la red hidrométrica es conseguir un muestreo adecuado de las variaciones del carácter hidrológico de la región y mantener un registro correcto de las variaciones, en el tiempo, del caudal de los ríos, incluidas las inundaciones y sequías.

El estudio del registro hidrológico es un asunto de gran complejidad, pero en esta guía no se considerarán más que tres categorías de regiones, como se hizo a propósito de la red pluviométrica.

Estas tres categorías definidas en el párrafo 2.2.1.1, son:

- 1) Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales
- 2) Regiones montañosas de estas mismas zonas.
- 3) Zonas áridas y polares.

Independientemente de estas tres grandes categorías, las estaciones pueden clasificarse según la extensión de su cuenca colectora. La red hidrológica puede clasificarse de dos maneras:

Estaciones de aforo de la red de cursos de aguas principales, situadas en los ríos cuyas cuencas vertientes tienen una extensión superior a la unidad A de tamaño, cuyo valor se define en el párrafo 2.3.1.2.

- Estaciones de aforo de la red de cursos de agua pequeños o locales, situadas en los ríos cuya cuenca colectora tiene una extensión inferior a la unidad A.

Para garantizar un muestreo adecuado, debe haber, al menos tantas estaciones de aforo sobre los pequeños cursos de agua como sobre los principales.

2.3.1.2. Red mínima:

La densidad mínima de las estaciones hidrométricas de caudal es consecuencia de las categorías definidas en el párrafo 2.2.1. y se resumen en el cuadro 1.

I. Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales:

4-10 estaciones por 10.000 km², 1 estación por 1000-2.500 km².

Pero en los países donde no se considere posible conseguir, en un futuro próximo, el mínimo requerido debido a la escasa densidad de población, a sus malas comunicaciones o a otras razones de orden económico, se reducirá a la red de aforo a:

1 estación por 3.000-10.000 km².

II. Regiones montañosas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales:

En regiones montañosas, es de gran interés que haya estaciones a distintas altitudes, sin que en ningún caso queden más de 500 metros aproximadamente de diferencia de altitud sin ninguna estación; la densidad mínima será de:

10-30 estaciones por 10.000 km², 1 estación por 300-1.000 km².

Pero en los países donde no se considere posible conseguir, en un futuro próximo, el número requerido a causa de las razones que se mencionaron en I, debe llegarse, por lo menos, a una densidad de:

1 estación por 1.000-10.000 km².

Por otra parte, en pequeñas islas montañosas de menos de 20.000 km², con régimen muy irregular y redes de cursos de agua muy densas, la densidad mínima será de:

1 estación por 140-300 km².

III. Zonas áridas y polares:

0,5-2 estaciones por 10.000 km². 1 estación por 5.000-20.000 km² según las posibilidades.

Estas normas no son aplicables a los grandes desiertos sin redes de corrientes definidas (como los desiertos del Sahara, Gobi, Arábigo y Karakum) ni a los grandes campos de hielo (Antártico, Groenlandia e islas del Artico).

Siempre que para regiones de las categorías I o II se haya fijado una densidad de menos de una estación por 4.000 km², habrá que dotar una zona de unos 3.000 km², con arreglo a las normas más exigentes de su categoría, para obtener así informes sobre la variabilidad de la escorrentía; esta zona coincidirá con la de 3.000 km² que se mencionó en el párrafo 2.2.1. "Estaciones pluviométricas".

DENSIDAD MINIMA DE LAS REDES DE AFORO

Categorías de regiones	Límites de las normas para una red mínima Superficie en km ² por estación	Límite de las normas admisibles en circunstancias especialmente difíciles ₁ Superficie en km ² por estación
I. Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales	1.000-2.500	3.000-10.000
II. Regiones montañosas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales Pequeñas islas montañosas con precipitación muy irregular y red hidrográfica muy densa	300-1.000 140-300	1.000-10.000
III. Zonas áridas y polares ₂	5.000-20.000 ³	

Las estaciones mencionadas en los párrafos anteriores se dividirán asimismo en dos categorías: estaciones de ríos principales y estaciones de pequeñas corrientes, a no ser que en el país no exista esta última clase de ríos.

El valor de la unidad A de la cuenca vertiente que señala el límite entre ríos principales y secundarios, se define de la siguiente manera:

- Para las regiones de la categoría I: $A = 3.000$ a 5.000 km^2
- Para las regiones de la categoría II: $A = 1.000 \text{ km}^2$
- Para las regiones de la categoría III: $A = 10.000 \text{ km}^2$.

Habrá que establecer estaciones en todas las corrientes cuya cuenca vertiente tenga una superficie igual o mayor que A. En realidad la red mínima permite una cobertura casi completa de todos los ríos principales según la definición expuesta, a menos que en la región exista un régimen de corrientes extraordinariamente irregular. No obstante, es preciso resistirse a la tendencia frecuente de situar un número excesivo de estaciones en los ríos principales.

Al aplicar estas normas es preciso tener en cuenta que, igual que sucede con la red pluviométrica, para que una red hidrométrica satisfaga las necesidades urgentes es preciso que se respeten ciertos principios en su instalación y empleo.

2.3.1.3. Reseñas de algunas directrices generales para la instalación y empleo de las estaciones de aforo

Algunas estaciones hidrométricas se sitúan en la parte inferior de los ríos principales del país, inmediatamente antes de su desembocadura pero fuera de la influencia de las mareas, o en los cruces de fronteras. Se instalan también estaciones en el nacimiento de los ríos y aguas arriba de los puntos de toma de agua para los riego. Las demás estaciones hidrométricas están situadas en los lugares donde el caudal experimenta grandes variaciones, aguas abajo de la desembocadura de un afluente importante o en las salidas de los lagos.

En los grandes ríos que nacen en las montañas y sólo reciben agua de la parte superior de la cuenca, fluyendo después por valles aluviales sin nuevos aportes de agua, se sitúan las estaciones a lo largo del río con objeto de medir las pérdidas de agua por evaporación y filtración o porque

se utilice en regadíos o cualquier otra finalidad económica.

La red local o de pequeñas corrientes está establecida junto a los ríos cuya cuenca colectora tiene una extensión inferior a la unidad A. Para las pequeñas corrientes, se hace necesario el uso de un procedimiento de muestreo, al no ser factible establecer estaciones de aforo en todas ellas.

El caudal de los ríos pequeños está muy influenciado por los factores locales. En los países más desarrollados donde hasta las más pequeñas corrientes de agua tienen importancia económica, se hacen perceptibles los defectos de la red incluso en corrientes que reciben el agua de cuencas colectoras de sólo 10.000 km². Se instalarán estaciones para medir la escorrentía en distintos medios geológicos y topográficos, incluidos los lagos y arroyos secos.

Las diferencias de nivel repercuten directamente en la distribución de la escorrentía en las montañas, por lo que las estaciones de la red de aforo deben estar situadas de tal manera que sus observaciones puedan extenderse con cierta uniformidad a todos los lugares de la zona montañosa, desde la falda de las montañas hasta las más elevadas regiones. Habrá que tener en cuenta la exposición de las laderas, dato de gran importancia en terrenos quebrados. Del mismo modo la presencia de numerosos lagos en la región influirá sobre la localización de las estaciones; su influencia sólo se podrá determinar mediante la instalación de nuevas estaciones.

También pueden situarse estaciones en los lugares donde cambian las características hidrológicas, como por ejemplo, donde un río abandona las montañas y entra en un valle aluvial o en una llanura costera.

2.3.2. Niveles de los ríos, lagos y embalses

2.3.2.1. Niveles de los ríos

En todas las estaciones de aforo se observa el nivel de éste con objeto de determinar el caudal. En ciertos lugares, la observación del nivel del agua es necesaria como parte de una red mínima; éste es el caso de:

- i) El nivel de los ríos observados en todas las ciudades importantes, situadas a lo largo de ríos, con objeto de elaborar predicciones.
- ii) En los ríos principales, en los puntos situados entre las estaciones de aforo, las observaciones de nivel pueden servir para la regulación de crecidas y para predicciones.

2.3.2.2. Niveles de los lagos y embalses

En estas estaciones se observarán los niveles, temperatura, oleaje, salinidad, formación de hielo, etc.

Deben instalarse estaciones en los lagos y embalses de superficie superior a 100 km². Al igual que en los ríos, la red debe prever también el muestreo en los lagos y embalses más pequeños.

2.3.3. Transporte y depósito de sedimentos

El transporte de sedimentos por los ríos constituye un problema de importancia capital en las regiones áridas, especialmente en las de suelo friable y en las zonas montañosas, en las que por razones prácticas debe averiguarse la cantidad de sedimento.

Los datos sobre el transporte de sedimentos deben compilarse en las estaciones donde se recogen los datos de aforo. Para una red mínima, se recomienda la evaluación del transporte de sedimentos en la siguiente proporción de estaciones hidrométricas:

- Regiones áridas	30 por ciento
- Regiones mediterráneas	15 por ciento
- Regiones templadas y húmedas	15 por ciento
- Regiones tropicales, no áridas y muy pobladas	15 por ciento
- Regiones tropicales, no áridas y poco pobladas	15 por ciento
- Tundra y taiga	10 por ciento.

Durante los primeros años de la red habrá que seguir poco más o menos, estos porcentajes; después de haber calculado con cierta aproximación el transporte de sedimentos, puede ser conveniente reducir el número de estaciones, especialmente en los lugares donde éste no resulta muy importante.

Los datos sobre sedimentos pueden completarse con evaluaciones de los sedimentos recogidos en los embalses, pero estas observaciones se considerarán suplementarias de la red mínima, y en ningún caso puede sustituir a la medición del transporte en las estaciones fluviales.

2.3.4. Calidad química

La utilidad de un sistema de abastecimiento de agua depende de la calidad química de ésta. Para los objetivos de esta Guía, las observaciones sobre la calidad química se harán, mediante el muestreo periódico, en las estaciones de aforo y el análisis de los aniones y cationes más corrientes.

El número de los lugares de observación dependerá de la variabilidad de la composición química del agua y habrá que aumentarlo en función de la concentración de las sustancias. En las regiones húmedas, donde es escasa la concentración de materias disueltas, es necesario un menor número de observaciones que en los climas secos, en los que se suelen observar concentraciones elevadas de iones críticos, como el sodio.

En una red mínima, convendrá obtener observaciones de la composición química del agua en la siguiente proporción de estaciones hidrométricas:

- | | |
|--|---------------|
| - Regiones áridas | 25 por ciento |
| - Regiones templadas y húmedas selvas tropicales | 5 por ciento |
| - Regiones frías y húmedas | 1 por ciento |

Estas proporciones son insuficientes para las regiones muy industrializadas.

2.3.5. Temperatura del agua

La temperatura del agua corriente debe medirse y registrarse cada vez que se visita una estación de aforo para medir el caudal o para obtener una muestra de agua. Habrá que anotar asimismo la hora en que se hizo la observación. Estos datos cuyo coste de obtención es insignificante, pueden ser muy útiles para el estudio de la vida acuática, la contaminación, la formación de hielo, las posibilidades de agua de refrigeración para la industria, etc.; de esta forma puede asimismo estudiarse la influencia de la temperatura sobre el transporte de sedimentos o sobre la solubilidad de los componentes minerales.

2.3.6. Capa de hielo sobre los ríos y lagos

Las observaciones periódicas sobre la capa de hielo deben incluir:

- a) Observación visual de los distintos procesos de formación y disgregación del hielo, anotando la aparición de los primeros hielos flotantes, fecha de congelación total de la superficie, de fraccionamiento de la capa del hielo y de fusión total de éste. Estas observaciones deben ser diarias.
- b) Mediciones, cada cinco a cada diez días, el espesor del hielo en dos o tres puntos característicos próximos a la estación hidrométrica. Los puntos de observación se determinan mediante estudios cuidadosos de la capa de hielo realizados en el momento de iniciar el período de observaciones en una estación.

3 Integración en la red de las estaciones de referencia y de las cuencas colectoras representativas

Estos dos tipos de observaciones completarán la red y debe estudiarse su establecimiento desde los primeros momentos de la organización de una red mínima.

3.1 Estaciones de referencia

Cada país, y en los países grandes cada región natural debe contar con una estación de referencia que proporcione continuamente observaciones coordinadas sobre los datos climatológicos e hidrométricos. Las estaciones hidrológicas de referencia deben situarse en zonas libres de la influencia de las alteraciones artificiales pasadas o futuras del régimen hidrológico. La cantidad y duración de los registros es una de las cualidades más importante en una estación de referencia, por lo que cuando se va a establecer una de éstas se recurrirá, si es posible, a alguna estación que ya esté en funcionamiento.

3.2 Cuencas representativas

Ciertas cuencas vertientes, o colectoras, representativas se utilizan para obtener simultáneamente datos climáticos o hidrométricos. Se estudian los datos climáticos en toda la superficie de la pequeña cuenca, mientras que en el río se observan los datos hidrométricos. Algunas de las cuencas estarán en servicio durante mucho tiempo, igual que las estaciones principales, mientras que otras no se explotarán más que durante un número escaso de años, como estaciones secundarias.

El programa de observaciones será prácticamente el mismo que el de las estaciones de referencia: precipitación (cantidad e intensidad), nevada y nieve en el suelo, humedad y temperatura del suelo, penetración de la helada y aguas subterráneas; todos estos datos se evaluarán en cierto número de puntos de la cuenca (en lugar de hacerlo solamente en uno), de forma que puedan calcularse los promedios que han de utilizarse en los estudios hidrometeorológicos.

Es conveniente establecer una cuenca representativa en cada región natural; no debe considerarse que tal medida constituye un lujo que sólo han de permitirse los servicios hidrológicos más prósperos. En forma más sencilla, la cuenca representativa permite realizar estudios simultáneos de la precipitación y de la escorrentía, con lo que se compensan, en parte, los defectos inherentes a las observaciones de escasa duración y a la poca densidad de la red mínima.

Es asimismo conveniente establecer cuencas representativas en regiones donde cabe esperar un próximo desarrollo económico o en zonas en las que los problemas hidrológicos son especialmente difíciles.

NOTA:

El presente trabajo ha sido reproducido de la "GUIA DE PRACTICAS HIDROMETEOROLOGICAS" (OMM- N° 168.TP.82), editada -- por la Organización Meteorológica Mundial.

La preparación de esta publicación del Departamento de Meteorología e Hidrología de la Universidad Central de Venezuela, estuvo a cargo del Profesor Alfredo Rivas López, con la va-- liosa ayuda de la Bibliotecaria del Departamento Sra. América Infante de Ventura y la Sra. Lilliam Rivero de Román.

APENDICE:

Se recomienda a los estudiantes la Consulta de la bibliografa que se menciona a continuación, la cual está disponible en la Biblioteca del Departamento de Meteorología e Hidrología:

- WMO (OMM) "Casebook on Hidrological Network Design Practice" (WMO - N° 324), Ginebra, 1972.
- MOSS, Marshall "Diseño de Redes Hidrometeorológicas Basadas en el Concepto de Años Equivalentes de Registros" (Conferencia) Caracas 1973.
- ALVAREZ BERNAL, Fernando "Red de las Estaciones Hidrometeorológicas" (Artículo en: El Hidrometeorólogo Año 1 N° 1 pag. 19) Caracas, 1970.
- ALVAREZ BERNAL, Fernando "Red de Estaciones Hidrometeorológicas" (Artículo en: El Hidrometeorólogo, Año 1 N° 2 pag. 6) Caracas, 1971
- LUCAS C., Victor "Estudio y Evaluación de la Red Pluviométrica Existente" (Tesis 1342) Caracas, 1964.
- HERNANDEZ, Nelson "Estudio de la Red de Estaciones de una Cuenca Hidrográfica" (Tesis) Caracas, 1972.
- PIÑA, Victoriano "Análisis de la Red Nacional de Estaciones Hidrometeorológicas" (Tesis) Caracas, 1973.
- SERVICIO COLOMBIANO DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. "Problemas Actuales de la Organización de la Red Nacional de Estaciones Hidrológicas en Colombia" (Publicación Aperiódica N° 1) Bogotá, 1969.
- "Criterios de la OMM para la Red Mínima de Aforos y su aplicación a Colombia" (Publicación Aperiódica N° 1) Bogotá, 1969.
- "Proyecto Preliminar de Organización de la Red Hidrológica en los Grandes Ríos Navegables de Colombia". (Publicación Aperiódica N° 5) Bogotá, 1969.
- "Proyectos de Redes Hidrometeorológicas en varias Cuencas Hidrográficas". (Publicación Aperiódica N° 7) Bogotá, 1970.
- "Proyecto de Redes Hidrométricas en Varias Cuencas Hidrográficas". (Publicación Aperiódica N° 8) Bogotá, 1970.
- "Proyectos de Redes Hidrométricas en la Cuenca del Medio y Bajo Magdalena" (Publicación Aperiódica N° 11) Bogotá, 1970.

SERVICIO COLOMBIA
NO DE METEOROLO--
GIA E HIDROLOGIA.

"Proyectos de Organización de Redes Hidrométricas en la Cuenca Hidrográfica del Río Cauca". (Publicación Aperiódica N° 14) Bogotá, 1970.

"Proyectos de Organización de Redes Hidrométricas y Meteorológicas en la Cuenca Hidrográfica del Magdalena Superior". (Publicación Aperiódica N ° 18) Bogotá, 1970.