

**Procedimientos para la definición de: Volumen Mínimo Técnico, Volumen Máximo Técnico, Volumen de Espera, Curva Guía Mínima, Curva Guía Máxima, Arcos de Generación, Arcos de Descarga, Arcos de Bombeo, Demanda de Acueducto y Riego, Factor de retorno de Acueducto y Riego, Factores de Serie Menor, Volumen Útil, Volumen Muerto**

**Subcomité de Recursos Energéticos Renovables**



<b>Revisión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descripción</b>
0	2024-19-06	Eliminación del procedimiento de definición de la capacidad efectiva neta de las plantas hidráulicas.
1	2024-24-10	Actualización de las definiciones de los volúmenes característicos y de los niveles de los embalses y se referencia en el procedimiento de cálculo de los volúmenes al Acuerdo por el cual se aprueba el procedimiento de realización de las pruebas de batimetría.

## Anexo 1

# VOLUMEN MÍNIMO TÉCNICO

### 1. Definiciones

**Volumen Mínimo Técnico.** Volumen del embalse, en  $Mm^3$ , comprendido entre el Nivel Mínimo Físico y el Nivel Mínimo Técnico.

**Nivel Mínimo Técnico.** Cota, en metros sobre el nivel del mar, hasta la cual puede descender el nivel del embalse, cumpliendo con condiciones de seguridad en las estructuras hidráulicas y en las instalaciones de generación cuando todas las unidades operan a plena carga.

**Nivel Mínimo Físico.** Cota inferior de la estructura de captación o bocatoma, en metros sobre el nivel del mar, por debajo de la cual no es posible captar agua.

### 2. Metodología – Procedimiento de cálculo

Este procedimiento aplica para embalses asociados a plantas hidráulicas con regulación mayor a un día de conformidad con lo definido **en el Acuerdo 22 del CNO del 27 de mayo de 1999 sobre plantas filo de agua.**

El criterio para el cálculo del volumen mínimo técnico se basa en obtener un nivel mínimo en el embalse que permita la operación de las estructuras hidráulicas y de las instalaciones de generación bajo condiciones de seguridad. Esto se logra manteniendo una altura mínima sobre el nivel superior de la bocatoma que se conoce como altura de sumergencia, mediante la cual se evita la formación de vórtices con el consiguiente atrapamiento de aire. (ver figuras 1 y 2)

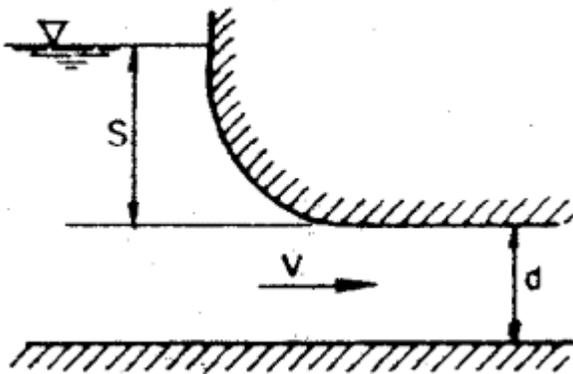


Figura 1. Esquema de captación horizontal.

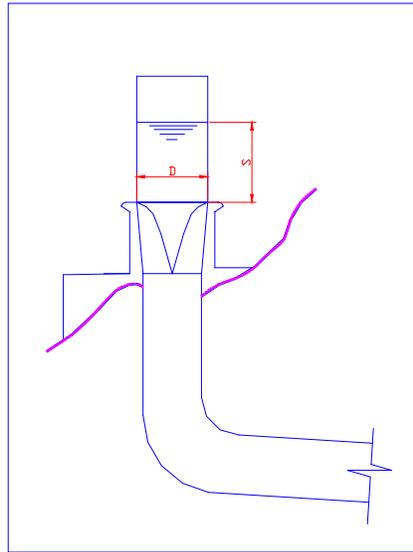


Figura 2. Esquema de captación vertical.

Las Figuras 1 y 2 describen los términos que deben analizarse para definir el Nivel Mínimo Técnico, tanto para una bocatoma vertical como para una horizontal. Las variables se definen como:

S: Sumergencia mínima o crítica.

d: Diámetro del pozo de captación (tomas verticales) o altura de la bocatoma medido en el sitio de la compuerta o rejas coladeras (tomas horizontales).

V: Velocidad de flujo en la entrada al conducto, calculada en el sitio de la compuerta para tomas horizontales o en la entrada del pozo de captación para las tomas verticales.

Para el cálculo de la sumergencia crítica que define el nivel mínimo en el embalse, se aplica un criterio hidráulico basado en las ecuaciones matemáticas que representan el fenómeno físico de la descarga de caudales desde el embalse hasta la central de generación.

**Criterio hidráulico:** Cada agente deberá definir y sustentar ante el CNO el parámetro de la sumergencia crítica (S) que mejor se adapte a la configuración de la bocatoma mediante la aplicación de fórmulas hidráulicas apropiadas para cada caso particular.

El caudal para el cálculo de la sumergencia se tomará de acuerdo con cualquiera de las siguientes opciones:

- Caudal de diseño de la estructura de captación.

- Caudal correspondiente al caudal nominal leído en la placa de la turbina. Para el caso de plantas con varias unidades, la suma de los caudales nominales de las diferentes unidades.

Obtenida la sumergencia mínima, se procede a calcular el nivel mínimo técnico, sumándole este valor al nivel superior de la bocatoma, tal como se puede ver en las Figuras 1 y 2. El agente podrá considerar un valor mayor para la sumergencia por consideraciones particulares de funcionamiento de la central.

Con base en este nivel se calcula el volumen mínimo técnico utilizando el procedimiento establecido en el numeral 5: Cálculo de los Volúmenes característicos del embalse, del Acuerdo CNO 1884 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan.

Para el caso de plantas nuevas, los valores iniciales serán los obtenidos de las memorias de diseño y serán informados cuando se declaren los parámetros.

### **3. Frecuencia de actualización**

Cada vez que se efectúe una nueva batimetría y se reporte una nueva curva de volumen en función de la cota para el embalse, se debe calcular este parámetro. Sin embargo, el agente deberá actualizar el valor del volumen mínimo técnico del embalse cuando considere que nuevas condiciones así lo ameriten, para lo cual deberá seguir el procedimiento que defina el CNO.

## Anexo 2

# VOLUMEN MÁXIMO TÉCNICO

### 1. Definiciones

**Nivel Máximo Físico.** Cota, en metros sobre el nivel del mar, de la cresta del vertedero o del nivel superior de compuertas.

En el caso de vertederos con compuertas sumergidas, en los cuales el nivel del embalse puede subir por encima de la cota superior de compuertas, el Nivel Máximo Físico será definido por la cota de la estructura donde empieza el vertimiento o debajo de ésta si existe alguna restricción.

En cualquier caso, el agente deberá tener en cuenta las condiciones de seguridad de las estructuras hidráulicas.

**PARÁGRAFO:** El Nivel Máximo Físico podrá estar por debajo de la cresta del vertedero o del nivel superior de compuertas, si existe alguna restricción que afecte la operación del embalse.

**Nivel Mínimo Físico.** Cota inferior de la estructura de captación o bocatoma, en metros sobre el nivel del mar, por debajo de la cual no es posible captar agua.

**Volumen Máximo Técnico:** Volumen del embalse, en  $Mm^3$ , comprendido entre el Nivel Mínimo Físico y el Nivel Máximo Físico, y equivale a la suma del Volumen Mínimo Técnico y el Volumen Útil del embalse.

### 2. Metodología – Procedimiento de cálculo

Los niveles máximo físico y mínimo físico son valores que se determinan directamente en los planos disponibles de la captación y de las estructuras de vertimiento de los embalses. Para el caso del nivel máximo físico también puede ser definido por restricciones, de acuerdo con lo establecido en la definición del parámetro. Con base en estos niveles se calculan los volúmenes asociados a ellos utilizando el procedimiento establecido en el numeral 5: Cálculo de los Volúmenes característicos del embalse, del Acuerdo CNO 1884 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan.

Para el caso de plantas nuevas, los valores iniciales serán los obtenidos de las memorias de diseño y serán informados cuando se declaren los parámetros.

### **3. Frecuencia de actualización**

Cada vez que se efectúe una nueva batimetría y se reporte una nueva curva de volumen en función de la cota para el embalse, se debe calcular este parámetro. Sin embargo, el agente deberá actualizar el valor del volumen máximo técnico del embalse cuando se tengan restricciones que afecten la operación del embalse, asociadas con el Nivel Máximo Físico, para lo cual deberá seguir el procedimiento que defina el CNO.

## Anexo 3

### VOLUMEN DE ESPERA

#### 1. **Objetivo**

Determinar el procedimiento para obtener los volúmenes mensuales de espera en aquellos embalses que tengan como restricción el control de crecientes.

#### 2. **Definiciones**

**Nivel de Espera.** Es la elevación de la superficie del agua en el embalse definida para la regulación de creciente.

**Nivel Máximo Físico.** Cota, en metros sobre el nivel del mar, de la cresta del vertedero o del nivel superior de compuertas.

En el caso de vertederos con compuertas sumergidas, en los cuales el nivel del embalse puede subir por encima de la cota superior de compuertas, el Nivel Máximo Físico será definido por la cota de la estructura donde empieza el vertimiento o debajo de ésta si existe alguna restricción.

En cualquier caso, el agente deberá tener en cuenta las condiciones de seguridad de las estructuras hidráulicas.

**PARÁGRAFO:** El Nivel Máximo Físico podrá estar por debajo de la cresta del vertedero o del nivel superior de compuertas, si existe alguna restricción que afecte la operación del embalse.

**Volumen de Espera.** Es el volumen definido entre el Nivel Máximo Físico y el Nivel de Espera.

#### 3. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

El agente está en la obligación de declarar valores mensuales de volumen de espera cuando el embalse haya sido concebido para objetivo multipropósito con capacidad de regulación de crecientes o si la autoridad ambiental lo contempló dentro de la licencia ambiental o por medio de una resolución motivada.

Para definir los valores a declarar, el agente se basará en los resultados de los estudios efectuados en la etapa de diseño o construcción o en su defecto en los resultados de los estudios aprobados por la autoridad ambiental.

#### 4. **Frecuencia de actualización**

Cada vez que se disponga de un nuevo estudio aprobado por la autoridad ambiental.

## Anexo 4

# CURVA GUÍA MÍNIMA

### **1. Objetivo**

Determinar el procedimiento para obtener los volúmenes mensuales que determinan la curva guía mínima de un embalse cuyo objeto es mantener una reserva de agua para propósitos diferentes a los de generación de energía eléctrica.

### **2. Definición**

**Curva Guía Mínima.** Es la curva que define los niveles que sirven para calcular los volúmenes mínimos mensuales que se deben mantener en el embalse teniendo en cuenta las restricciones originadas en el uso del agua para propósitos diferentes al de generación de energía eléctrica.

### **3. Metodología – Procedimiento de cálculo**

El agente está en la obligación de declarar valores para curva guía mínima cuando el embalse haya sido concebido para objetivo multipropósito, como almacenamiento de agua para otros usos o si la autoridad ambiental lo contempló dentro de la licencia ambiental o por medio de una resolución motivada. Cada agente deberá informar al CNO si su embalse fue concebido con este propósito. Adicionalmente, en caso de que posea más de un embalse, deberá informar esta circunstancia respecto de aquel o aquellos embalses que estén comprendidos bajo este supuesto.

Para definir los valores a declarar, el agente se basará en los resultados de los estudios efectuados en la etapa de diseño o construcción o en su defecto en los resultados de los estudios aprobados por la autoridad competente.

En caso de no existir estudios o soportes aprobados por la autoridad competente, el agente podrá apoyarse en el comportamiento histórico de los niveles del embalse cuando las decisiones de la operación sean compartidas con la autoridad competente.

### **4. Frecuencia de actualización**

Cada vez que se disponga de un nuevo estudio aprobado por la autoridad competente.

## Anexo 5

# CURVA GUÍA MÁXIMA

### 1. **Objetivo**

Determinar el procedimiento para obtener los volúmenes máximos mensuales que determinan la curva guía máxima de aquellos embalses que tengan restricciones originadas en el uso del embalse para propósitos diferentes al de Generación de Energía Eléctrica.

### 2. **Definición**

**Curva Guía Máxima.** Curva que define los niveles máximos mensuales que hay que mantener en el embalse teniendo en cuenta las restricciones originadas en el uso del embalse para propósitos diferentes al de generación de energía eléctrica.

### 3. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

El agente está en la obligación de declarar valores para curva guía máxima cuando el embalse haya sido concebido para objetivo multipropósito, con capacidad de regulación de crecientes o si la autoridad ambiental lo contempló dentro de la licencia ambiental o por medio de una resolución motivada. Cada agente deberá informar al CNO si su embalse fue concebido con este propósito. Adicionalmente, en caso de que posea más de un embalse, deberá informar esta circunstancia respecto de aquel o aquellos embalses que estén comprendidos bajo este supuesto.

Para definir los valores a declarar, el agente se basará en los resultados de los estudios efectuados en la etapa de diseño o construcción o en su defecto en los resultados de los estudios aprobados por la autoridad competente.

En caso de no existir estudios o soportes aprobados por la autoridad competente, el agente podrá apoyarse en el comportamiento histórico de los niveles del embalse cuando las decisiones de la operación sean compartidas con la autoridad competente.

### 4. **Frecuencia de actualización**

Cada vez que se disponga de un nuevo estudio aprobado por la autoridad competente.

## Anexo 6

# ARCOS DE GENERACIÓN

### 1. *Definición*

**Arco de Generación.** Es la suma de las capacidades máximas de flujo de todos los conductos de carga de los grupos de turbinas.

### 2. *Metodología – Procedimiento de cálculo*

El arco de generación a declarar será el valor de flujo máximo permisible de la conducción dado por el diseñador o calculado con base en un estudio hidráulico. En su defecto como arco de generación se asumirá el caudal correspondiente a la capacidad de generación máxima de la planta. Dicho caudal se obtiene como el cociente entre la capacidad efectiva neta de la planta y el factor de conversión medio correspondiente al percentil 50% y de conformidad con los Acuerdos del Consejo Nacional de Operación).

### 3. *Frecuencia de actualización*

Este valor solo se actualizará en caso de que se modifiquen algunas de las características físicas de la estructura de carga.

## Anexo 7

### ARCOS DE DESCARGA

#### 1. **Objetivo**

Definir el procedimiento para determinar el valor a declarar de la capacidad máxima en  $m^3/s$  de cualquier conducto utilizado para trasladar agua, asociado a una central hidroeléctrica.

#### 2. **Definición**

**Arco de descarga.** Es la capacidad hidráulica máxima permisible en  $m^3/s$  de una conducción utilizada para trasladar agua, asociado a una central hidroeléctrica.

#### 3. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

El arco de descarga a declarar será el valor de flujo máximo permisible de la conducción dado por el diseñador o calculado con base en un estudio hidráulico.

#### 4. **Frecuencia de actualización**

Este valor solo se actualizará en caso de que se modifique la estructura o las condiciones de flujo del conducto.

## Anexo 8

### ARCOS DE BOMBEO

#### 1. **Objetivo**

Definir el procedimiento para determinar el valor a declarar de la capacidad máxima  $\text{m}^3/\text{s}$  de un sistema de bombeo asociado a una central hidroeléctrica.

#### 2. **Definición**

**Arco de Bombeo.** Es el flujo máximo en  $\text{m}^3/\text{s}$  que se puede aportar a un embalse o planta mediante bombeo desde otra fuente.

#### 3. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

El arco de bombeo tendrá un valor igual o inferior a la capacidad nominal de la estación de bombeo, obtenida de los informes de diseño o de la información contenida en las placas de las bombas.

#### 4. **Frecuencia de actualización**

Este valor solo se actualizará en caso de que se cambie o modifique la estación de bombeo.

## Anexo 9

### DEMANDA DE ACUEDUCTO Y RIEGO

#### 1. **Objetivo**

Determinar los caudales extraídos bien sea de las fuentes afluentes a los embalses o directamente de los embalses que alimentan centrales hidroeléctricas.

#### 2. **Definición**

**Demanda de Acueducto y Riego.** Son los caudales necesarios expresados en  $m^3/s$ , para atender los usos de acueducto y riego, que son extraídos bien sea de las fuentes afluentes a los embalses o directamente de éstos

#### 3. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

La demanda de acueducto y riego que se utiliza en los modelos de simulación del sector eléctrico colombiano se obtiene a partir de la información suministrada por las personas, naturales o jurídicas que administran la extracción desde las fuentes, tales como, sin limitarse a las empresas de Acueducto y las corporaciones regionales, las cuales son las responsables de la calidad de esta información.

Las empresas generadoras propietarias de las centrales hidroeléctricas que utilizan los ríos asociados a dichas demandas sólo harán la gestión para obtener la información requerida por los modelos.

#### 4. **Frecuencia de actualización**

La actualización de estos valores depende de las proyecciones de demanda vigentes entregadas por las empresas que administran este servicio.

## Anexo 10

### FACTOR DE RETORNO DE ACUEDUCTO Y RIEGO

#### 1. **Objetivo**

Determinar el porcentaje de caudal que retorna a los afluentes o a los embalses directamente, luego que los sectores residenciales y agropecuarios hacen uso de los caudales extraídos para la atención de la demanda de acueducto y riego.

#### 2. **Definición**

**Factor de Retorno de Acueducto y Riego.** Es el porcentaje de caudal que retorna a los afluentes o a los embalses directamente, luego que los sectores involucrados hacen uso de los caudales extraídos para la atención de la demanda de acueducto y riego.

#### 3. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

El factor de retorno de acueducto y riego que se utiliza en los modelos de simulación del sector eléctrico colombiano se obtiene a partir de la información suministrada por las personas, naturales o jurídicas que administren los sistemas de aguas residuales de la zona donde son descargadas las aguas servidas del sistema de acueducto y riego. Estas personas son las responsables de la calidad de esta información.

Las empresas generadoras propietarias de las centrales hidroeléctricas que utilizan los ríos asociados a dichas demandas sólo harán la gestión para obtener la información requerida por los modelos.

#### 4. **Frecuencia de actualización**

La actualización de estos valores depende de la periodicidad en la entrega de las proyecciones por parte de las personas naturales o jurídicas que administran este servicio.

## Anexo 11

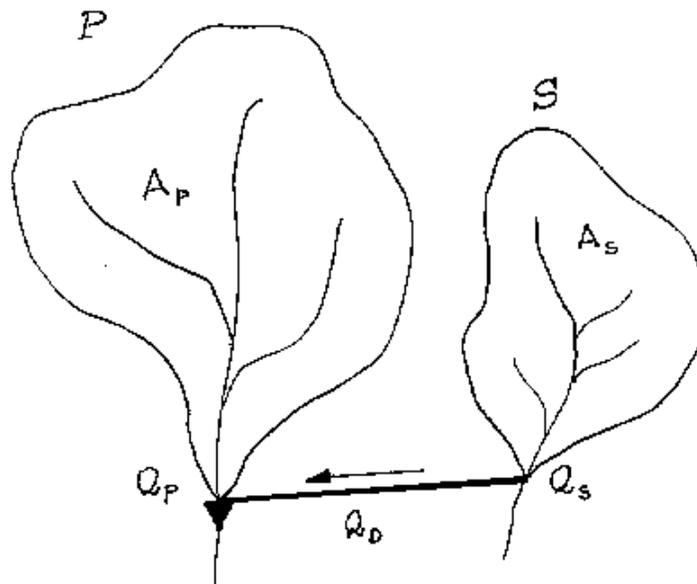
### FACTORES DE SERIE MENOR

#### 1. Objetivo

Desarrollar y establecer un procedimiento para la estimación de los factores lineales utilizados para obtener los caudales medios mensuales de una serie menor o secundaria, a partir de una serie hidrológica principal.

#### 2. Definiciones

Para una mejor ilustración del método a utilizar, considérese la figura 1.



**Figura 1.** Esquema General de las Cuencas Principal y Secundaria.

El esquema presentado en la figura anterior muestra dos cuencas hidrográficas cuyo caudal es utilizado para la generación de energía eléctrica.  $P$  representa la cuenca principal, a la salida de la cual se encuentra un embalse de regulación, y  $S$  la cuenca secundaria (o menor);  $A$  es el área de drenaje,  $Q$  el caudal y los subíndices " $p$ " y " $s$ " indican el tipo de cuenca a la cual se refieren. En esta misma figura se denota por  $Q_D$  la desviación o importación parcial o total del caudal de la cuenca secundaria hacia la cuenca principal.

**Serie Hidrológica Principal ( $Q_p$ ):** Es la secuencia temporal de valores medios mensuales correspondientes al escurrimiento superficial de una cuenca hidrográfica cuya sección de cierre o salida es un embalse de almacenamiento o

una bocatoma. La información correspondiente a estas series es recolectada por un agente y reportada diariamente al Centro nacional de Despacho (CND) dando cumplimiento a lo establecido en el Código de Redes. Esta serie se encuentra naturalizada, es decir se le han retirado las posibles influencias antrópicas.

**Serie Hidrológica Menor o Secundaria ( $Q_s$ ):** Es la información hidrológica asociada con una cuenca hidrográfica, la cual no es medida directamente, (sino inferida a partir de la Serie Hidrológica Principal), o que no es reportada diariamente al CND.

**Factor de Serie Menor ( $fsm_i$ ):** Es un valor numérico mensual ( $i = 1, 2, .. 12$ ), por el cual hay que multiplicar el caudal medio de dicho mes de una serie principal para obtener el caudal medio para el mismo mes en la serie secundaria. Es decir,

$$Q_{s_i} = fsm_i * Q_{p_i} \quad (1)$$

**Precisión:** El factor de serie menor no tendrá más de dos (2) cifras decimales. En el caso de tener más de dos cifras decimales, habrá redondeo a las cifras decimales requeridas.

### **3. Descripción General de la Metodología**

Cada agente que necesite estimar el factor de serie menor para una serie hidrológica escogerá libremente de acuerdo con sus características particulares uno de los siguientes métodos. Dicha escogencia deberá ser informada al CNO.

#### **3.1 Método de Analogía Hidrológica**

Este método se basa en la analogía o similitud hidrológica que se puede establecer entre cuencas que comparten las mismas características fisiográficas, de cobertura y uso de suelos y de elementos formadores del clima.

Se asume como pilar fundamental de este método, que dos cuencas similares desde el punto de vista hidrológico, sometidas a la misma interacción de los procesos desencadenantes de la escorrentía, tiene el mismo coeficiente de escorrentía o rendimiento hídrico ( $y$ ), expresado en  $lts/(seg*km^2)$ , el cual se define como:

$$y = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Para cada una de las cuencas se tiene:

$$y_p = \frac{Q_p}{A_p} \quad y_s = \frac{Q_s}{A_s} \quad (3)$$

Dado que el rendimiento es el mismo para ambas cuencas:

$$y_p = y_s \Rightarrow \frac{Q_p}{A_p} = \frac{Q_s}{A_s} \quad (4)$$

por lo que,

$$Q_s = \frac{Q_p * A_s}{A_p} \quad (5)$$

No es difícil ver la similitud entre (5) y (1), ya que la relación de áreas de drenaje de las dos cuencas es el mismo factor de serie menor, es decir si

$$fsm = \frac{A_s}{A_p} \quad (6)$$

entonces se tiene finalmente para cada mes, que

$$Q_{s_i} = fsm_i * Q_{p_i} \quad (7)$$

De las fórmulas (6) y (7) se puede concluir que, para obtener el valor del caudal mensual de una serie secundaria, se necesita tan sólo multiplicar el valor del caudal para la serie principal, por la relación entre el área de drenaje de la cuenca secundaria y el área de drenaje de la cuenca principal, es decir, por un valor que es constante.

### 3.2 Método de Relación de Promedios

Este método es en cierta forma similar al expuesto en 3.1. Se diferencia del anterior en que se asume que la relación entre el caudal mensual y su respectiva media mensual es igual para ambas cuencas simultáneamente. Es decir,

$$\frac{Q_{s_i}}{Q_{s_i}} = \frac{Q_{p_i}}{Q_{p_i}} \quad (8)$$

Donde:

$Q_{s_i}$  : Caudal para el mes  $i$  en la cuenca secundaria.

$\overline{Q_{s_i}}$  : Caudal medio del mes  $i$  en la cuenca secundaria.

$Q_{p_i}$  : Caudal para el mes  $i$  en la cuenca principal.

$\overline{Q_{p_i}}$  : Caudal medio del mes  $i$  en la cuenca principal.

Despejando (8) se obtiene:

$$Q_{s_i} = \frac{Q_{p_i} * \overline{Q_{s_i}}}{\overline{Q_{p_i}}} \quad (9)$$

Como puede verse, el factor de serie menor para este procedimiento equivale a la relación entre caudales medios mensuales de la cuenca principal y la secundaria.

## Anexo 12

# VOLUMEN ÚTIL

### 1. **Definición**

**Volumen Útil:** Volumen del embalse, en  $Mm^3$ , comprendido entre el Nivel Mínimo Técnico y el Nivel Máximo Físico.

### 2. **Metodología – Procedimiento de cálculo**

Con base en el volumen máximo técnico y el volumen mínimo técnico se determina el volumen útil, utilizando el procedimiento establecido en el numeral 5: Cálculo de los Volúmenes característicos del embalse, del Acuerdo CNO 1884 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan

### 3. **Frecuencia de actualización**

Cada vez que se efectúe una nueva batimetría y se reporte una nueva curva de volumen en función de la cota para el embalse, se debe calcular este parámetro.

## VOLUMEN ÚTIL DIARIO

El volumen útil diario definido como el volumen almacenado por encima del Nivel Mínimo Técnico será el valor que reportará diariamente los agentes propietarios de embalses o usuarios de embalses empleados en el planeamiento del sector eléctrico colombiano.

## Anexo 13

# VOLUMEN MUERTO

### 1. *Definiciones*

**Volumen Muerto del embalse.** Volumen del embalse, en  $Mm^3$ , hasta el Nivel Mínimo Físico.

**Nivel Mínimo Físico.** Cota inferior de la estructura de captación o bocatoma, en metros sobre el nivel del mar, por debajo de la cual no es posible captar agua.

### 2. *Metodología – Procedimiento de cálculo*

El nivel mínimo físico se determina directamente en los planos disponibles de la captación de los embalses. Con base en este nivel se calcula el volumen asociado y se determina el volumen muerto utilizando el procedimiento establecido en el numeral 5: Cálculo de los Volúmenes característicos del embalse, del Acuerdo CNO 1884 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan.

Para el caso de plantas nuevas, los valores iniciales serán los obtenidos de las memorias de diseño y serán informados cuando se declaren los parámetros.

### 3. *Frecuencia de actualización*

Cada vez que se efectúe una nueva batimetría y se reporte una nueva curva de volumen en función de la cota para el embalse, se debe calcular este parámetro.