

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.2.7
7 de noviembre de 1960

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLES

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos

Mexico, 31 de julio a 12 agosto 1961

MÉTODOS DE EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO
por la División de Energía de la
Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas

I N D I C E

	<u>Páginas</u>
<u>Introducción</u>	1
1. Objetivos del método global.....	2
2. Métodos de evaluación.....	7
a) Potencial Hidroeléctrico Bruto y la Relación que existe entre éste y los Recursos Explotables.....	8
b) Irregularidades de los recursos hidráulicos.....	12
c) Comparación de los cambios a corto plazo de las condi- ciones hidráulicas.....	14
<u>Bibliografía</u>	16

Introducción

Hasta comienzos del decenio pasado, en Europa y otras partes del mundo, la estimación de los recursos hidroeléctricos totales tendía en general a ser incompleta, era a menudo de carácter subjetivo y con frecuencia carecía de actualidad. En la postguerra se ha mantenido una elevada tasa de aumento de la demanda de energía eléctrica, al estímulo de la cual ha progresado considerablemente el diseño de los sistemas hidroeléctricos y las técnicas de construcción en aquellas regiones en que los recursos están en pleno proceso de desarrollo. Al mismo tiempo, se ha hecho todo lo posible por aumentar el tamaño económico de los proyectos y el equipo. El rápido aprovechamiento de los recursos ha promovido la realización de estudios mucho más completos de las cuencas fluviales tanto cercanas como remotas y ha llevado al mejoramiento de los registros hidrológicos tanto en calidad como en cabalidad. Estas tendencias han puesto de manifiesto la necesidad de hacer una evaluación global del potencial hidráulico en los países en que los recursos hidráulicos ofrecen la posibilidad de constituir una importante fuente de energía primaria. Un enfoque global de esa naturaleza debe basarse en dos hipótesis: por una parte, que el potencial natural o teórico de la cuenca fluvial es más fácil de evaluar que las posibilidades siempre cambiantes de aprovechamiento económico de la energía; por la otra, que el potencial teórico, por ser invariable, sirve de parámetro para medir las modificaciones del potencial económico. Sobre estos y otros conceptos asociados, de validez duradera, se ha llegado a establecer el estudio global de los recursos hidroeléctricos.

En los últimos diez años se ha desarrollado en Europa una metodología de esta naturaleza. Este trabajo ha sido una de las actividades principales del Grupo de Expertos para el Estudio de los Recursos Hidroeléctricos del Comité sobre Energía Eléctrica de la Comisión Económica para Europa. Los resultados obtenidos con el empleo de este método han sido de igual interés - aunque por distintas razones - para los países electrificados en alto grado, y para los países menos electrificados. El mismo método básico de análisis ha sido adoptada ultimamente por los países que integran la Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente (CEALO), para ser empleado en las condiciones algo distintas que existen en esa región.

/El presente

El presente estudio se divide en dos partes. La primera consiste en un análisis general de algunas de las condiciones económicas y técnicas que influyen en la función desempeñada por los recursos hidráulicos en diferentes países, que por ello plantean problemas de evaluación; en la segunda se analizan algunos de los métodos más importantes aplicables al estudio global de los recursos dentro de un país o zona, o a la comparación de sus características en distintas regiones.

1. Objetivos del método global

Hasta hace poco tiempo el método normal de explotación de los recursos hidráulicos para la generación de energía era empírico y fragmentario. Los sitios tendían a aprovecharse en general siguiendo el orden de sus ventajas económicas más evidentes, comenzando por los proyectos más accesibles, cuyo costo por kW era inferior en el momento del estudio. Por lo tanto, la estimación de las posibilidades totales tendía a basarse exclusivamente en los proyectos estudiados y estas estimaciones se iban revisando a medida que aumentaban los proyectos de desarrollo.

A grandes rasgos, este fue el procedimiento aplicado en la mayoría de los países europeos que poseen un gran potencial hidroeléctrico, durante las primeras etapas de sus programas de electrificación. Se explica en parte por falta de conocimiento de las características de las diferentes cuencas fluviales y sobre todo de las condiciones hidrológicas.

En la postguerra, para el desarrollo hidroeléctrico y aprovechamiento de las aguas con objetivos múltiples, se requiere una información más detallada y exacta. El perfeccionamiento de los métodos de exploración ha hecho posible el estudio más completo de las cuencas fluviales, y de sus condiciones geológicas y de emplazamiento. Ha aumentado el número de estaciones que miden las precipitaciones y el aforo, por unidad de superficie, y se han acumulado series más largas de registros. En parte por estas causas, durante los últimos años se han ampliado considerablemente las estimaciones del potencial hidroeléctrico total en muchos países europeos. Por ejemplo, los recursos hidroeléctricos explotables en Suecia (donde el consumo de energía eléctrica en 1959 era de 4 220 kWh por persona) se fijaron en 1923 en 32 000 millones de kWh. En 1938 el total había aumentado a 40 000 millones de kWh y en 1955 esta cifra había aumentado al doble.

/No hace

No hace mucho, después de hacer una nueva evaluación del potencial hidráulico bruto o natural de acuerdo con métodos que se discutirán posteriormente en este documento, se fijaron los recursos utilizables en Suecia en la actualidad en 85×10^9 kWh, lo que equivale a 11 400 kWh por habitante. Se han observado tendencias similares en Suiza (el consumo era 3 110 kWh por habitante en 1959). Los recursos conocidos de energía hidroeléctrica, que constituyen aquí virtualmente la única fuente interna de energía, se calcularon en 14 000 millones kWh en 1914 y 27 000 millones kWh en 1946. En la actualidad se calcula que ascienden a 33×10^9 kWh (6 300 kWh por habitante). Se han observado análogas tendencias en otros países.

Otro grupo de factores que ha contribuido al aumento de las posibilidades aprovechables han sido el progreso técnico y las transformaciones en la economía. Los efectos que ejercen las tasas de interés más elevadas y la inflación de precios sobre el costo por kW hidráulico se han visto en gran parte anuladas últimamente por una serie de adelantos técnicos en los métodos de construcción de las plantas; por las posibilidades mucho más amplias del diseño y por la mayor economía de escala derivada de la institución de sistemas y componentes más grandes, instalación de unidades generadoras de mayor tamaño y posibilidad de utilizar altura de caída muy bajas. Ha resultado así viable instalar enormes plantas que aprovechan el caudal de pasada del curso inferior de importantes ríos, como se ha hecho en Europa con el Rhin, el Rodano inferior y Danubio medio. La concentración de alturas de caídas y de caudales realizadas a través de la unión de distintas cuencas hidrográficas han hecho que algunos de los grandes embalses estacionales resulten más económicos. El mejoramiento de los aspectos económicos del bombeo y de los sistemas de almacenamiento por bombeo han permitido ampliar el campo de aplicación del potencial hidráulico natural. Finalmente se han incorporado a la economía los recursos de zonas remotas, que son generalmente los más concentrados. El perfeccionamiento de sistemas de transmisión a voltajes muy altos ha permitido incorporar al potencial explotable grandes cantidades de energía hidráulica de lugares apartados cuando las cargas son lo suficientemente elevadas como para justificar transmisiones en bloque a los centros de /consumo. Nuevos

consumo. Nuevos dispositivos automáticos de control han permitido la integración del funcionamiento de plantas pequeñas ubicadas en lugares distantes.

Estas tendencias, militando conjuntamente contra las influencias que hicieron subir los costos en la postguerra, han bastado para incorporar una mayor proporción del potencial hidroeléctrico natural de Europa, dentro de lo económicamente aprovechable. El aumento de la demanda de energía, que crece exponencialmente a una tasa que fluctúa entre 7 y 8 por ciento anual ya ha conducido al aprovechamiento de gran parte de este potencial en algunos países que carecen de otros recursos importantes, y en otros países el ritmo de explotación continúa aumentando. A medida que se desarrolla el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y se utilizan los emplazamientos más favorables (particularmente para embalses), se observa una tendencia al alza en el costo medio de construcción por kW, proceso que en algunos países se encuentra bastante avanzado. Existe por lo tanto en cualquier momento un porcentaje óptimo de energía hidráulica dentro de un determinado sistema de abastecimiento. En general este porcentaje tiende a subir hasta alcanzar un máximo durante las primeras etapas de la electrificación, y luego declina algo hasta completar el aprovechamiento de los recursos hidráulicos. Las distintas etapas de este proceso se aprecian ahora entre los países europeos.

Actualmente la tasa de explotación de la energía hidráulica en Europa se rige por dos objetivos generales. En primer lugar, se trata de sacar el mejor partido posible de las reservas no utilizadas, haciendo efectivo su máximo potencial de producción de energía de alto valor en el diagrama de carga. Por otra parte, se pretende dar adecuada protección a los sistemas de suministro contra la escasez de energía y la reducción de la capacidad durante períodos de sequía. Un medio para alcanzar el segundo objetivo cuando se trata de países limítrofes que emplean distintos sistemas hidráulicos, térmicos o mixtos de producción de energía, es el desarrollo de un sistema inteligente - de conveniencia recíproca - para el intercambio y transferencia de energía eléctrica a través de las fronteras, ya sea contractual, ocasional o de emergencia. Es posible en estos casos

/reducir las

reducir las necesidades globales de planta o combustible cuando el abastecimiento normal presenta características estacionales distintas u opuestas. Podrán igualmente aprovecharse las diferencias de caudal que ocurren en forma imprevisible en regiones adyacentes.

¿Cuál es entonces la función que debe desempeñar un estudio global de los recursos hidráulicos? No hay duda de que un conocimiento bastante completo de las posibilidades últimas de explotación en la etapa más temprana posible es útil para el planeamiento oportuno de las perspectivas de abastecimiento de energía a largo plazo y para decidir el equilibrio general entre las plantas hidráulicas y térmicas. A los países que recién se desarrollan, en particular, les interesa conocer la distribución de sus recursos hidráulicos con miras a determinar la ubicación de sus industrias. Lo mismo se aplica a las posibles necesidades de transmisión de alto voltaje.

En este sentido, las reservas de energía hidráulica son más fáciles de cuantificar que las de combustibles, sobre todo porque la distribución geográfica del potencial natural o hidráulico suele corresponder en forma bastante aproximada a la de la porción aprovechable. Esta relación, que depende de la interacción de un conjunto de factores fisiográficos, es una de las causas que hacen posible el estudio global. En la práctica sucede por lo tanto que hay bastante correlación entre el nivel teórico y el nivel explotable de recursos. Además no sólo la distribución media de la energía en las diferentes cuencas, sino también la de sus fluctuaciones en el tiempo, que afectan su explotación, son en principio casi igualmente susceptibles de un estudio comparativo.

Si bien es cierto que el potencial de energía hidráulica natural puede medirse uniformemente (como también los niveles máximos de energía considerados explotables desde el punto de vista técnico), no lo es menos que - según lo dicho anteriormente - no existe un "potencial económico" que pueda definirse universalmente y con rigor. La energía explotable puede ser evaluada de acuerdo con postulados válidos para una época en particular y para las condiciones de un país determinado. Es cierto, también, que gracias al progreso técnico se ha visto que aumenta regularmente
/la proporción

la proporción de recursos naturales de energía que pueden aprovecharse. Tomando en consideración las diferentes condiciones geológicas e hidrológicas de los sitios, las relaciones generales entre la energía físicamente disponible y la aprovechable tienden a ser sorprendentemente constantes en todos los países, al menos en las condiciones que se presentan en toda Europa.

Una de las conclusiones principales que se deducen de un estudio de evaluación de recursos y desarrollo de la explotación de energía eléctrica en países europeos de distintas características económicas, es que el nuevo método global, que consiste en la evaluación común del potencial de energía hidráulica de todo un país o grupo de países, es especialmente fructífero al permitir que los resultados obtenidos en regiones en que existen informaciones hidrológicas adecuadas, otros datos necesarios y poseen una larga experiencia de construcción de plantas hidroeléctricas pueden aplicarse, por analogía, a un estudio rápido de los recursos de energía en países con menor experiencia, que carecen de la información necesaria para realizar una investigación completa y minuciosa.

Mediante los estudios globales de los recursos de energía hidráulica se trata de establecer en primer término el potencial físico teórico o bruto de un año o época normal y emplearlo como parámetro para comparar grados sucesivamente inferiores de producibilidad, sobre una base común. Por lo tanto, los estudios realizados sobre el potencial teórico o bruto, que es constante, permiten estimar las posibilidades de producción totales de la superficie de cada una de las zonas fluviales y demostrar las variaciones de densidad que se producen entre un punto y otro. Indican tanto la distribución geográfica de la energía hidráulica, como la cantidad disponible y por lo tanto ofrecen la posibilidad de estudiar sobre una base amplia la ubicación óptima de las plantas y las líneas de transmisión y - en los países en proceso de desarrollo - el posible emplazamiento de las nuevas industrias. Las experiencias habidas últimamente en Europa han demostrado que estas evaluaciones o reevaluaciones también arrojan nuevas luces con respecto a los recursos hidroeléctricos de los países altamente electrificados.

/La duración

La duración de los recursos hidroeléctricos es otro de los aspectos que merecen un estudio completo. Este comprendería tanto la determinación del grado de disponibilidad de energía hidráulica en un año normal, como la secuencia de las condiciones relativas de producción de un año a otro y la comparación de su presentación simultánea en diferentes cuencas de una extensa superficie - es decir las variaciones entre una región y otra en cuanto a la secuencia de la desviación con respecto a la mediana a largo plazo.

2. Métodos de evaluación

Los métodos de investigación de los recursos hidroeléctricos que a continuación se analizan son en general, aquellos cuya aplicación se recomendó dentro del programa de trabajo del Comité de Energía Eléctrica de la Comisión Económica para Europa. Por lo tanto, son métodos que se han considerado apropiados para evaluar y comparar los recursos hidroeléctricos principales de los diferentes países y zonas sobre una base común. Los diferentes países también emplean otros métodos de análisis - para analizar los problemas de explotación que presenta el empleo de los recursos hidráulicos para satisfacer las necesidades de los sistemas internos de abastecimiento de energía; para estudiar el aprovechamiento integrado de una sucesión de emplazamientos ubicados en un mismo curso de agua, o las características de un determinado proyecto; y para otros aspectos. En este documento no se discuten los problemas mencionados en último término. No hace mucho tiempo el Sub-Comité de Energía Eléctrica de la Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente ha adoptado métodos de investigación similares a los que se describen a continuación para la evaluación de los recursos de esa región. Cuando ha sido necesario se citan diversas fuentes de información sobre las materias tratadas.

A continuación se analizan tres tipos principales de investigaciones:

- estudio del límite superior de la energía hidroeléctrica representado por el potencial bruto de superficie y el potencial hidroeléctrico fluvial; y de las relaciones que existen entre dichos límites y la energía susceptible de ser aprovechada;

/- análisis de

- análisis de las características regionales especiales de esos recursos debidas a diferencias en la sucesión y amplitud de las fluctuaciones del caudal de año en año.
- anotación de las modificaciones de las condiciones hidráulicas a corto plazo.

a) Potencial Hidroeléctrico Bruto y la Relación que existe entre éste y los Recursos Explotables.

Se pueden distinguir dos tipos fundamentales de evaluaciones globales de los recursos hidroeléctricos: i) los potenciales teóricos, que definen objetivamente los recursos de potencia natural y de energía de la cuenca de un río sin hacer referencia a su uso práctico; y ii) los potenciales explotables, que definen una producibilidad acumulada para todas las plantas, e incluyen aquellas en servicio y las susceptibles de ser aprovechadas en una fecha determinada de acuerdo con las técnicas de uso corriente y determinados costos de construcción por kW.

Los potenciales teóricos incluyen los potenciales brutos de superficie, y proporcionan datos expresados en kWh para cada una de las zonas de captación y valores específicos expresados en kWh/km²; y los potenciales brutos fluviales, que indican los valores de la potencia y la energía (reales y específicos) para el curso de cada uno de los ríos: A veces se subdividen los potenciales explotables en potenciales técnicos y económicos.

Se excluyen en los potenciales hidráulicos brutos las deducciones que correspondan a pérdidas de altura de caída, caudal y potencia imposibles de reducir. Se puede emplear un coeficiente medio de multiplicación cuyo valor esté entre 0.75 y 0.80, para tomar en cuenta las pérdidas que reducen la eficiencia generatriz a un valor inferior al 100 por ciento, como sucede en la práctica. También los potenciales brutos suponen una utilización del 100 por ciento de la capacidad a través del año, aún cuando en la práctica es posible que ésta sólo llegue a un valor que fluctúa entre el 40 y el 60 por ciento.

Es útil, cuando se desea hacer una evaluación rápida del potencial hidroeléctrico interno y su distribución, comenzar por determinar y representar gráficamente el potencial bruto de superficie que corresponde

/al año

al año medio, y siempre que sea posible, hacer lo mismo para los períodos de invierno y verano que corresponden al año hidrológico que comienza el 1 de octubre. Esto implica dividir la superficie total en cuestión en el mayor número posible de pequeñas captaciones para las cuales se disponga o se puedan calcular los valores medios correspondientes al agua escurrida, y para los cuales se pueda determinar la mediana de la altura sobre el nivel del mar a partir de mapas en relieve. El cálculo más simple del potencial bruto de superficie para cada unidad de superficie se expresa en millones de kWh mediante la fórmula: $\frac{FH}{367}$ en que F = el caudal medio que se origina en la captación expresado en 10^6 m^3 ; y H = la mediana de la altura (m por sobre el nivel medio del mar).

Para representar la distribución de los recursos brutos disponibles es sólo necesario entonces trazar cada uno de los valores obtenidos (expresados en 10^6 kWh/km^2) al centro la unidad de superficie que le corresponde e interpolar curvas que unan puntas de igual valor a intervalos convenientes (véase el Gráfico I). El detalle de la representación gráfica dependerá por lo tanto del número de unidades de captaciones empleadas. Es necesario hacer notar que aunque un mapa de este tipo da una imagen completa del potencial teórico hidráulico máximo, no indica necesariamente si en la práctica puede aprovecharse dicho potencial.

Este es el método uniforme adoptado por la ECE para determinar el potencial hidroeléctrico bruto de superficie. Sobre la base de los resultados obtenidos en los diferentes países de Europa se está preparando un mapa del potencial hidroeléctrico bruto de superficie a una escala de 1:2 500 000.

Quedan por analizar dos cuestiones de método. En muchos países no se dispone de datos adecuados completos sobre el caudal de algunas zonas y es necesario entonces calcular los valores necesarios para llenar cualquier vacío que se produzca. Esto a veces puede hacerse a través de la correlación, mediante el estudio de datos hidrológicos concretos de cuencas adyacentes de carácter similar. En otros casos es necesario determinar las relaciones de precipitaciones a escurrimiento para distintas /captaciones y

captaciones y derivar el valor probable del escurrimiento a partir de las precipitaciones medias y de las pérdidas calculadas de precipitaciones.^{1/}

Otro problema es el que concierne a los países cuyos ríos no terminan en el mar sino que atraviesan una frontera. Si el estudio comprende más de un país, debe emplearse el método de cálculo referido al nivel del mar para fines cartográficos. Se pueden aplicar coeficientes a los cálculos referentes a determinadas cuencas con el fin de determinar el valor real de la parte del potencial que queda comprendido dentro de los límites del país en cuestión. En estos casos, cuando se desee determinar exclusivamente el potencial interno de un país, deben elegirse las cuencas de alimentación, y sus niveles básicos de una manera que permita determinar en la forma más apropiada los recursos que corresponden a cada cuenca. Es posible también distinguir entre el caudal que tiene su origen en una zona de captación y el que fluye a través de él desde un nivel superior. Este procedimiento, aunque más engorroso permitiría tener en cuenta hasta cierto punto tanto la ubicación como la cantidad de recursos disponibles.^{2/}

El potencial hidráulico bruto de superficie (que se puede denominar "S") representa el máximo de energía teórica equivalente al escurrimiento total. Se le puede por tanto comparar con el potencial acumulado explotable económicamente ("R"). Se ha determinado que en aquellos países de Europa altamente electrificados, de características físicas similares, que disponen de información al día respecto del potencial acumulado, la relación R:S se aproxima a un valor general de 20 por ciento. No obstante, esta relación ha acusado una tendencia al alza durante los últimos años, debido a la influencia que han ejercido factores de carácter técnico y económico. Cualquier conclusión de orden general debe tener en cuenta las condiciones fisiográficas, geológicas y económicas de los diferentes países y cuencas,

1/ Véase por ejemplo el método empleado en los estudios respectivos sobre Turquía y Grecia (Documentos E/ECE/EP/131 Add.1 ST/ECE/EP/6) realizados en la Secretaría de las Naciones Unidas, Ginebra, 1956 y 1960.

2/ Los dos métodos descritos proporcionan idénticos resultados totales. No hace mucho en Suecia se hizo una nueva evaluación anual y estacional del potencial bruto de superficie, empleando ambos métodos.

ya que la proporción de emplazamientos aprovechables tienen cierto grado de relación con estos factores, e igualmente con la densidad del potencial de superficie.

Las cifras que aparecen a continuación proporcionan ciertas indicaciones medias para países de Europa con diferentes grados de electrificación y distintas condiciones climáticas y de emplazamiento. Se puede considerar que las condiciones de Suecia son excepcionales desde el punto de vista económico y que dan una relación máxima debido a que la estructura geológica y la topografía relacionada con ella son favorables.

<u>Potencial hidráulico bruto de superficie</u>			
<u>País</u>	<u>Total anual (10⁹ kWh)</u>	<u>Densidad (10⁶ kWh/Km)</u>	<u>Explotable como porcentaje del potencial bruto</u>
Italia	318.0	1.02	19.7
Suecia	196.1	0.44	43.4
Suiza	144.0	3.49	22.9
Turquía	536.5	0.70	19.9

También dentro de la ECE se han adoptado especificaciones para la determinación del potencial bruto fluvial. Los estudios de este tipo evalúan por separado los potenciales unitarios de cada tramo del caudal. Las fórmulas básicas empleadas concuerdan con las recomendaciones formuladas desde hace mucho tiempo por la Conferencia Mundial de Energía. Cuando estos estudios se hacen en forma completa, proporcionan datos que permiten investigar las posibilidades del desarrollo hidroeléctrico de diversas cuencas. El potencial fluvial bruto total para toda una zona estudiado por este método da resultados inferiores a los del potencial bruto de superficie, ya que en general no se abarcan todos los afluentes.

El documento E/ECE/EP/204 contiene las especificaciones concretas para la preparación de estudios y mapas de potencial hidroeléctrico fluvial. Vale la pena hacer notar que la aplicación de un coeficiente para calcular /el potencial

el potencial fluvial neto define el límite superior de los recursos hidráulicos explotables sin hacer referencia a consideraciones de orden económico - es decir el "potencial técnico máximo". En algún punto inferior a ese límite se encuentra el total de los recursos utilizables desde el punto de vista económico en un momento determinado. Este "potencial económico" que desde hace algún tiempo ha acusado una leve tendencia al alza, puede estimarse a partir de la evaluación de todos los proyectos previsible sobre la base de un criterio comparable; o puede determinarse de manera que incluya todos los proyectos cuyo costo unitario esté comprendido dentro de un límite superior aceptable. Este límite puede ser un múltiplo dado del costo específico de provisión de energía de valor equivalente en el diagrama de carga procedente de una fuente abastecedora alterna aceptada.^{3/}

b) Irregularidades de los recursos hidráulicos

Los métodos para comparar las fluctuaciones del potencial hidráulico se basan fundamentalmente en los principios de la curva de duración del caudal.^{4/} Si los valores sucesivos de los regímenes de descarga de determinados caudales expresados en m^3/s y considerados dentro de un intervalo determinado - un año o un periodo de treinta años - se disponen por orden de magnitud como ordenadas, colocando los mayores a la izquierda, la curva que resulta se presta para numerosas comparaciones. En primer lugar se pueden expresar los valores como índices (coeficientes modulares) relativos al valor promedio de 100. Si las abcisas corresponden a subdivisiones de un año y la escala 100 de las ordenadas equivale supongamos, a la distancia de medio año como abcisa, se pueden comparar las diversas características de distintas cuencas con respecto a la duración del potencial de energía cuando sus curvas respectivas se trazan en el mismo diagrama. Esto se aplica a características tales como la relación de descarga media y máxima, la deficiencia del volumen del caudal con respecto al promedio, etc.

^{3/} En la bibliografía aparecen algunos artículos que tratan este problema.

^{4/} Los coeficientes de hidraulicidad, que se calculan en algunos países, expresan el efecto de las desviaciones del caudal medio en términos de la producibilidad relativa del equipo hidroeléctrico existente.

También la curva de duración de caudal puede servir de base para clasificar los años o semestres hidrológicos en húmedos, secos y normales, como lo hace el ECE. Para este objeto se representan los valores de los promedios anuales (o de semestre) de los regímenes de descarga como curva de duración de caudal. Se clasifican como muy húmedos o muy secos los años que contienen respectivamente el quince por ciento más elevado y el quince por ciento más bajo de los valores; los que contienen el 20 por ciento siguiente se consideran húmedos o secos; y los que contienen el valor medio de 30 por ciento como normales (véase el Gráfico II).

Este sistema puede además aplicarse al análisis de las diferencias regionales en la secuencia de los periodos húmedos y secos, es decir su falta de simultaneidad en las diversas regiones. Se ha podido comprobar que esta diversidad merece mayor estudio en Europa y para este objeto el sistema de clasificación ya mencionado se ha estado aplicando a una serie representativa de datos referentes a cuencas fluviales distribuidas ampliamente desde el punto de vista geográfico, siendo la base de comparación un período normal de 30 años (1920/21-1949/50). Cuando se emplea este método es posible hacer diversos tipos de análisis y comparaciones de la secuencia y la diversidad. En especial, su aplicación a un período común de referencia significa que el orden de importancia de todos los valores correspondientes a los caudales, y su clasificación en cuanto constituyen cifras representativas de años húmedos o secos, tiene un significado que es independiente de los límites actuales de desviaciones de las condiciones medias. La importancia de esto surge de la circunstancia de que puedan influir en los coeficientes reales que representan este límite el tamaño de la cuenca y otros factores físicos.

Otro indicador útil de las fluctuaciones de los recursos hidráulicos es el índice de irregularidad del caudal del curso de agua, es decir la relación del volumen del embalse que en teoría se necesitaría para regularizar el caudal anual del río al volumen real de ese caudal anual. Se emplea para calcular el valor medio de ese índice, el promedio de una serie de valores anuales reales. Es posible trazar la distribución de esta característica de irregularidad dentro del año, por medio de curvas

/que unen

que unen puntos de igual valor interpoladas entre los valores del índice trazados en el punto central de cada unidad de captación de una extensa zona.^{5/}

El objeto de cualquier análisis general de la secuencia y diversidad regional de las fluctuaciones de año en año de los recursos hidroeléctricos de una zona que puede comprender varios países, es en primer término permitir aprovechar las posibilidades de desarrollo en la forma más económica posible; y segundo, arrojar luz sobre las condiciones que deben cumplirse para garantizar el máximo de seguridad en el abastecimiento de energía hidráulica. Si bien en algunos países se han estudiado los efectos de las variaciones de caudal sobre el potencial hidroeléctrico, también sería importante hacer el estudio comparativo de esas condiciones dentro de un cuadro regional más amplio y en algunos casos ya ha dado frutos en la práctica.

c) Comparación de los cambios a corto plazo de las condiciones hidráulicas

La carencia de suficientes datos hidrológicos, sobre todo en lo que se refiere a series actualizadas registradas sobre una base común, es uno de los principales obstáculos para la evaluación de los recursos hidroeléctricos. Además, el conocimiento que se tenga sobre las condiciones de las diversidades a corto plazo en las desviaciones de los promedios estacionales en diferentes cuencas es de gran importancia práctica por razones de explotación, en gran parte debido a razones similares a las analizadas anteriormente. También se necesita disponer de esta información para realizar investigaciones que tengan por objeto evaluar las perspectivas de producción a corto plazo. Para dar cumplimiento a los objetivos mencionados en último lugar, se debe disponer de estos datos con el mínimo de demora.

Por lo tanto, el registro de los promedios mensuales y semestrales de caudal y sus desviaciones con respecto a los promedios a largo plazo de una serie ampliamente distribuida de cuencas representativas tiene dos

^{5/} Las especificaciones para construir un índice de esta naturaleza han sido establecidas por el Comité de Energía Eléctrica de la ECE y publicadas en el documento E/ECE/EP/205 (Naciones Unidas, Ginebra, 1959).

finalidades. Proporciona una serie continua de registros uniformes que pueden servir de base para investigar algunas de las características principales del potencial hidráulico en una zona lo más extensa posible; y también puede ser de gran valor para arrojar luces sobre los límites de los cambios mensuales de hidraulicidad que deben ser compensados por plantas hidráulicas y otros elementos consumidores de agua.

La Comisión Económica para Europa prepara y publica ahora regularmente un Boletín Semestral sobre las condiciones de hidraulicidad en Europa, de acuerdo con las especificaciones redactadas por el Grupo de Expertos para el Estudio de los Recursos Hidroeléctricos del Comité de Energía Eléctrica,^{6/} para hacer patente las ventajas de la aplicación de un método regional en gran escala a esos datos. El Boletín mencionado contiene información que se basa en aproximadamente sesenta registros aforo representativo de cuencas distribuidas convenientemente en todo el continente europeo. Incluye además de los promedios mensuales, semestrales y anuales de regímenes de descarga expresados en m³/s referidos al año hidrológico que comienza el 1 de Octubre, los coeficientes modulares para esos períodos estando estos relacionados a un período de veinte años considerado como base (1930/31-1939/40 y 1945/46-1954/55).

También se prepara un mapa que acompaña cada edición del Boletín que indica la distribución de las condiciones promedio en cada período semestral. La publicación está destinado a ofrecer una base internacional más amplia para la realización de estudios nacionales.

^{6/} Half Yearly Bulletin on Conditions of Hidraulicity in Europe (Naciones Unidas, Ginebra - Vol. 1, N° 1, 1959; Vol. 1, N° 2, 1960.

Bibliografía

Además de las fuentes de información del ECE sobre problemas concretos que aparecen en las notas al pie de la página en el texto, la bibliografía anotada a continuación abarca varios de los aspectos generales de los temas analizados. Los documentos preparados para el Comité de Energía Eléctrica de la ECE tratan más extensamente que este documento los diversos temas. El informe de la Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente contiene un resumen de los métodos de trabajo adoptados sobre la materia por ese organismo. Además se incluyen otras referencias relativas a las materias discutidas en este documento.

a. Algunos documentos de la Comisión Económica para Europa, publicados por las Naciones Unidas, Ginebra

1. Hydro - electric Potential in Europe and its Gross Technical and Economic Limits (documento E/ECE/EP/131 - 1953)
2. Extension of the General Study to Turkey (documento E/ECE/EP/131, Add.1 - 1955)
3. Regional Characteristics of Europe's Hydro-electric Resources (documento EP/WP.2/ Documento de trabajo N° 8 - 1958)
4. Assessment of Gross Surface Hydro-electric Potential for Greece (documento ST/ECE/EP/6 - 1960)

b. Documento de la Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente (Bangkok, Tailandia)

1. Report of the Working Party on Assessment on Hydro-electric Potentials to the Sub-Committee on Electric Power (Sexta Sesión) (documento E/CN.11/I & NR/Sub.1/2 - 1957)

c. Otros documentos

1. T. Berglund y S.O. Larsson: Gross Mean Hydro-electric Potential in Sweden (Swedish State Power Board, Estocolmo, 1959). En este informe se emplearon los métodos descritos en este documento.
2. Austrian Hydro-power Register: Gross River Potential (Ministry of Trade and Reconstruction, Vienna, 1960). Este estudio constituye un ejemplo de evaluación nacional del potencial fluvial.

/3. Directives pour

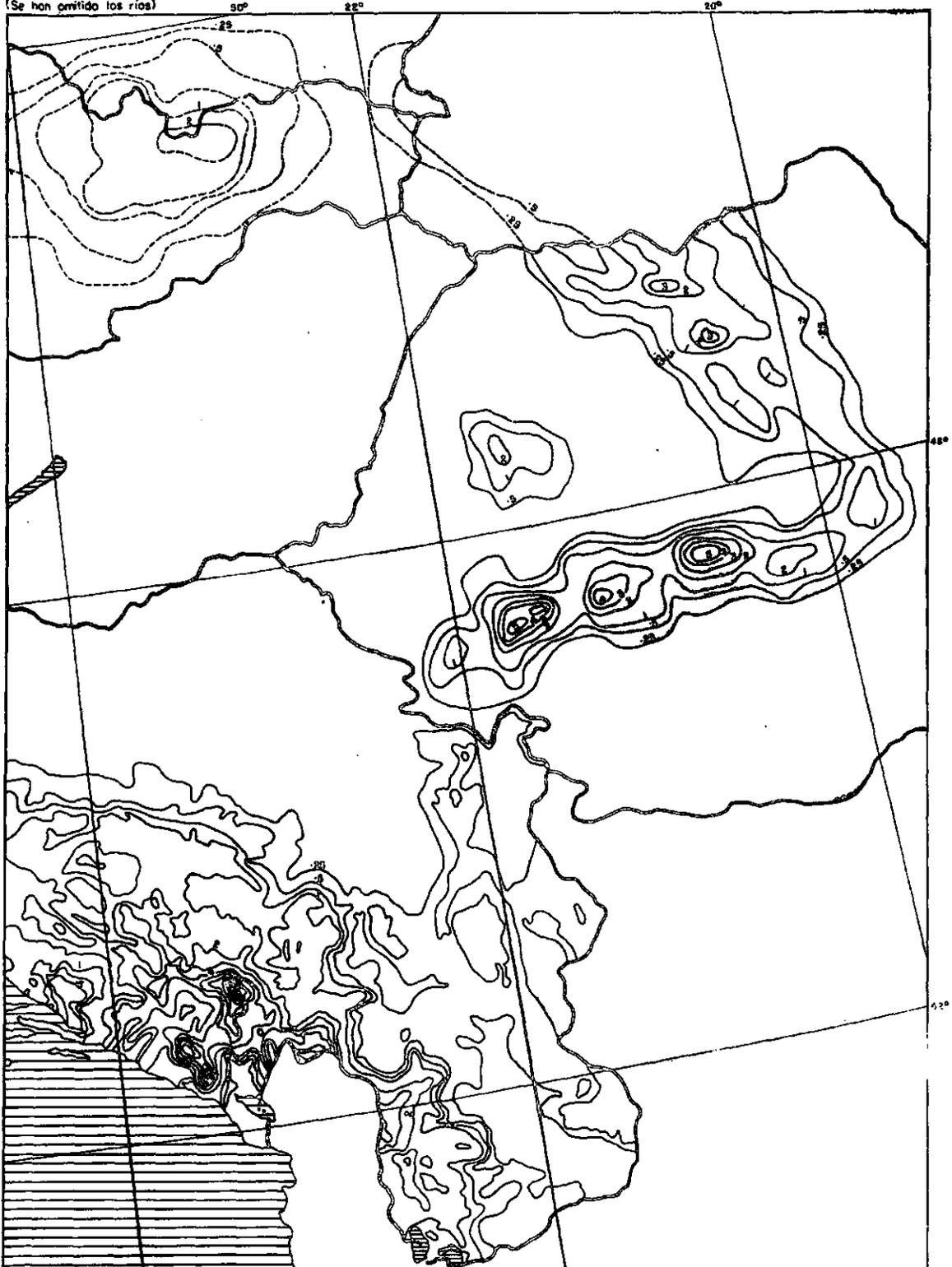
3. Directives pour l'étude comparative de la rentabilité d'avant-projets d'usines Hydrauliques (Association suisse pour l'aménagement des eaux, Berna 1949).
4. M. Rousselier: L'inventaire total des ressources Hydrauliques comme base des plans generaux de développement (Reunión Seccional de la Conferencia Mundial de Energia, Rio de Janeiro, 1954).
5. A.J. Dilloway: Assessment of Hydro-electric Potential in Regions Subject to Rapid Economic Development (Conferencia Mundial de Energia, Viena, 1956).
6. A.J. Dilloway: Comparative Study of Hydro-electric resources as Exemplified by European Experience (Reunión Seccional de la Conferencia Mundial de Energia, Madrid, 1960).

FIGURE 1

EXAMPLE OF MAP SHOWING DISTRIBUTION OF GROSS SURFACE HYDRO-ELECTRIC POTENTIAL IN 10^6 KWH/KM².
(Rivers omitted)

GRÁFICO 1

MAPA QUE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO BRUTO DE SUPERFICIE EXPRESADO EN 10^6 KWH/KM².
(Se han omitido los ríos)



The boundaries shown on this map do not imply endorsement or acceptance by the United Nations.
Prepared by United Nations Economic Commission for Europe.

Los límites que aparecen en este mapa no han sido necesariamente reconocidos o aceptados por las Naciones Unidas.
Preparado por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas.

FIGURE 11

METHOD OF CLASSIFYING FLOW CONDITIONS

GRAFICO 11

METODO PARA CLASIFICAR LAS CONDICIONES DEL CAUDAL

