

NACIONES UNIDAS

CONSEJO  
ECONOMICO  
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.2.10  
15 de diciembre 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

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

CATALOGO

EVALUACION DE UN PROYECTO HIDROELECTRICO POTENCIAL COMO  
AGREGADO A UN SISTEMA EXISTENTE DE ENERGIA

por

Léo A. Penna

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.

INDICE

	<u>Página</u>
Introducción .....	1
1. La energía hidráulica contra la energía térmica .....	1
2. Coordinación de la energía hidráulica y térmica .....	4
3. Evaluación de los proyectos hidroeléctricos .....	6
4. Capacidad de carga del proyecto .....	8
5. Economía del proyecto .....	11
6. Observaciones finales .....	15

## Introducción

En el presente estudio sobre evaluación de proyectos hidroeléctricos como fuentes de potencia para un sistema de abastecimiento de energía, hay que considerar la energía hidráulica, derivada del aprovechamiento de los ríos, y la térmica, proveniente de la planta convencional a vapor que emplea combustibles fósiles. Las conclusiones pueden aplicarse a otras fuentes alternativas de energía, siempre que se mantenga la misma continuidad de producción que la de la planta a vapor y se asignen valores apropiados a sus gastos de capital y de explotación.

Por consiguiente, la evaluación de un proyecto hidroeléctrico consistirá en determinar si su construcción es más recomendable que la de otro proyecto hidroeléctrico o de una planta a vapor equivalente.

Los métodos determinativos de la capacidad de un proyecto hidroeléctrico y las funciones y ventajas relativas de la energía hidro y termoeléctrica como fuentes de suministro en servicios de utilidad pública, han sido extensamente debatidos por las autoridades en la materia en un sinnúmero de publicaciones. Nuestra contribución original, por esto mismo, no será muy apreciable. Además, como los proyectos hidroeléctricos presentan características muy particulares, el tema sólo puede analizarse concluyentemente a la luz de casos concretos. Sin embargo, se pasará revista a algunos aspectos del problema que, según nuestro criterio, merecen atención especial cuando se trata del planeamiento del desarrollo económico de la capacidad productiva de un sistema.

### 1. La energía hidráulica contra la energía térmica

La energía hidráulica la aprovecha el hombre en su estado natural, en determinada ubicación, en la forma de caudal de pasada. Su almacenamiento se efectúa sólo en pequeña escala en comparación con la cantidad total que fluye durante años. La mayor parte se desperdiciará a menos que se aproveche en el momento mismo de presentarse. Dondequiera que se encuentre y no obstante sus fluctuaciones, puede considerarse como prácticamente inagotable, pues durará lo bastante como para recompensar adecuadamente al hombre por su explotación, siempre que ésta se haga en forma económica y racional. Sólo se agotará si median radicales transformaciones del clima, fenómeno que se produce sólo en las edades geológicas.

/Estas son

Estas son las características distintivas del potencial hidroeléctrico, al revés de la energía térmica cuyo combustible fósil se encuentra almacenado por la naturaleza y está disponible, sin deterioro apreciable, para uso del hombre. Los combustibles fósiles son agotables y su consumo innecesario equivale a derroche.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la conservación de los recursos naturales, aparece como evidente la prioridad del desarrollo de la energía hidráulica sobre el uso de los combustibles fósiles. Pero el concepto de la conservación supone el de la economía, pues la explotación antieconómica de la energía hidráulica, aunque propenda a conservar los combustibles fósiles, significa un derroche de recursos naturales en otra parte, bajo una forma distinta de pérdida de riqueza. Podemos concluir, en consecuencia, que no se desarrollaría ninguna energía térmica si en su lugar se explotara una energía hidráulica equivalente al mismo costo o a un precio inferior para el consumidor. Las referencias al costo de la energía hidráulica o térmica que se hacen en este trabajo, comprenden el costo de la transmisión respectiva.

Un concepto demasiado limitado de la "conservación de los recursos naturales" se ha utilizado frecuentemente como argumento político para el desarrollo irrestricto de la energía hidráulica, con prescindencia de su costo. Este hecho y la atribución de múltiples objetivos a los proyectos de regulación fluvial, sumados a la legítima repugnancia de las compañías privadas para aprovechar la energía hidráulica antieconómica, han sido los principales motivos que ha tenido el Estado por apropiarse de las fuentes energéticas de abastecimiento público. Además, la opinión pública tiende a favorecer naturalmente y a priori cualquier proyecto hidráulico, actitud ésta que podrá explicarse por la forma objetiva y evidente con que se presenta la energía hidráulica en su estado natural, por ejemplo, en una gran caída de agua o en cualquier río torrencioso, y por las características monumentales de muchos proyectos hidroeléctricos.

/Por lo

Por lo tanto, las compañías privadas de servicio público deberán someter a un análisis completo y desprejuiciado las posibilidades de explotación de la energía hidráulica, para asegurar su participación en el desarrollo de estas fuentes. De otra parte, es asimismo indispensable que el gobierno adopte una política sana que estimule la iniciativa privada y le ofrezca buenas expectativas de desarrollar la energía hidráulica.

Consideramos pertinentes estas observaciones, porque las compañías privadas, al hacer frente a dificultades financieras que se presentan por una mala política pública y por la inflación, tienden a recurrir a la energía térmica sin hacer antes un análisis exhaustivo de las posibilidades de la energía hidráulica. A esta situación contribuyen las siguientes causas, perfectamente conocidas:

- a) Las plantas térmicas requieren generalmente una inversión menor de capital inicial y demoran menos tiempo en construirse que los proyectos hidroeléctricos.
- b) Cuando hay disponibilidad de combustibles baratos y de calidad adecuada (lo que ocurre en la mayoría de las zonas desarrolladas del mundo), las plantas térmicas bien diseñadas están en condiciones de proporcionar energía a un costo razonable y no se necesitan grandes estudios para determinar si se justifican financieramente.
- c) Por lo común, se requieren investigaciones extensas y costosas, a menudo complejas y demorosas, para evaluar convenientemente un proyecto hidroeléctrico.
- d) La demanda de instalaciones y equipo térmicos, sobre todo para las centrales a vapor, que apareció en las regiones de gran desarrollo tecnológico, promovió notables mejoramientos en el diseño y en la eficiencia de las centrales, resultando más conveniente la producción de energía térmica.
- e) Los organismos reguladores de la mayoría de los países acordaron adoptar la cláusula de la tarifa de "ajuste por combustible", mediante la cual el aumento en el costo se transfiere automáticamente al consumidor a través de un recargo del precio. Por otra parte, los reglamentos injustos, que fijan las tarifas en el

/"costo original"

"costo original", impiden con frecuencia que las compañías privadas obtengan una compensación adecuada por los efectos de la inflación sobre las mayores inversiones que exige el desarrollo de la energía hidráulica. Aunque esta compensación sea prevista por los reglamentos, casi siempre se aplica demasiado tarde, después de un dilatado proceso de revisión de tarifas.

- f) El rápido crecimiento de la carga del sistema y la expansión tardía del mismo por razones financieras o de otra índole, conceden a las compañías privadas poco tiempo y disposición para adentrarse en las complejidades y costo de la investigación y evaluación de un proyecto hidroeléctrico.

Entre las razones mencionadas, la que se refiere a la complejidad de evaluar los proyectos hidroeléctricos incumbe de preferencia al ingeniero hidráulico, quien tiene una gran parte de la responsabilidad por el descuido de las compañías de servicio público en el aprovechamiento oportuno de la energía. En realidad, estas compañías pueden no optar por la solución hidroeléctrica si en el momento de ampliar los sistemas, lo que generalmente se debe llevar a cabo con rapidez, el ingeniero no tiene preparado un proyecto hidroeléctrico conveniente desde el punto de vista económico.

## 2. Coordinación de la energía hidráulica y térmica

Una característica importante de la energía hidráulica en su forma de corriente o de caudal de pasada es su variación estacional o a lo largo de varios años por efecto de factores hidrometeorológicos. Tales fluctuaciones, por las limitaciones que imponen a la construcción de embalses la topografía, la habilitación del terreno y los costos, sólo pueden compensarse en parte y en pequeña escala en la casi generalidad de los casos.

Si un sistema eléctrico emplea exclusivamente las fuentes hidráulicas, su capacidad efectiva de producción debe necesariamente basarse en el caudal mínimo de pasada durante el intervalo de la punta de carga, aumentado por cualquier regulación disponible desde el almacenamiento de /reserva estacional.

reserva estacional. En todo caso, la cantidad total de energía del sistema representará tan sólo una fracción muy pequeña de la disponibilidad total del caudal de pasada del río. Como los proyectos hidroeléctricos comprenden obras tales como el mejoramiento del terreno, represas, embalses, viviendas, caminos, etc. cuyo alto costo no guarda relación con la magnitud de la capacidad instalada, el costo unitario de la capacidad energética segura resulta elevado. Por tales motivos, sólo en zonas con emplazamientos hidroeléctricos excepcionalmente favorables con suficiente caudal en época de escases y a una distancia de transmisión razonable, puede un sistema eléctrico depender en forma exclusiva del potencial hidráulico para obtener un abastecimiento económico de energía.

En las condiciones señaladas, debe desperdiciarse todo el caudal que sobrepase el gasto seguro, a menos que se justifique el aprovechamiento de una parte como fuente energética secundaria para atender otros servicios públicos o a consumidores industriales que puedan utilizarse en períodos de abundante caudal. Tales situaciones constituyen la excepción más bien que la regla, sobre todo en regiones en que la interconexión de sistemas no ha alcanzado su pleno desarrollo.

Cuando el sistema hidroeléctrico se complementa con una capacidad de producción térmica, mejora la economía del sistema en dos formas. Primero, en el supuesto de que haya un almacenamiento adecuado para la regulación del caudal diario, puede aumentarse la capacidad máxima del sistema hidroeléctrico en épocas de bajo caudal, transportando la carga base al sistema térmico y asignando el hidráulico a una parte de la curva respectiva con un menor factor de carga. Segundo, este aumento de la capacidad hidroeléctrica instalada, así justificada, se traducirá en un mayor aprovechamiento del caudal en períodos de corriente abundante y en un aumento del total de energía aprovechable en las plantas. Se podrá, de esta manera, reducir el costo de la potencia hidráulica por unidad, tanto de capacidad máxima segura como de producción de energía. Podría llegarse a una conclusión aparentemente contradictoria: al agregar potencia térmica a un sistema hidroeléctrico, se obtiene un aprovechamiento más completo de los recursos naturales de este último.

/En cambio

En cambio, si un sistema se basa exclusiva o predominantemente en fuentes térmicas, se justificaría la adición de potencia hidroeléctrica, en ciertos casos sólo para lograr una economía de combustible. En esta última situación, la energía hidroeléctrica agregada puede provenir de un proyecto nuevo de bajo costo, aunque no se justifique necesariamente como capacidad adicional para absorber las puntas de carga del sistema o de un aumento de la capacidad instalada en un aprovechamiento hidráulico con bajo costo adicional.

Por las razones anteriores, entre otras que influyen en la explotación, las ventajas de combinar la energía térmica con la hidráulica son, hoy por hoy, irrefutables. Es un principio reconocido en ingeniería eléctrica que el costo general más bajo de la producción de energía se logra, por lo común a través de una coordinación inteligente de las centrales hidráulicas y térmicas. En cualquier sistema determinado, la proporción más económica entre centrales hidráulicas y térmicas dependerá evidentemente de la disponibilidad y costo de combustibles en su lugar de origen y de la existencia de emplazamientos hidroeléctricos apropiados a una distancia de transmisión razonable.

Por lo tanto, la evaluación de un proyecto hidroeléctrico agregado a un sistema de energía debe hacerse a base de la combinación económica de la energía hidráulica y térmica, ya que no se trata de un problema de competencia entre ambas como fuentes exclusivas de abastecimiento del sistema, según podría desprenderse por la consideración sólo de los costos de la energía térmica como punto de comparación.

### 3. Evaluación de los proyectos hidroeléctricos

Supongamos que toda la carga de un sistema eléctrico proviene de varias fuentes de abastecimiento, con inclusión de las propias instalaciones hidráulicas y térmicas del sistema y las posibles fuentes de energía comprada.

Para simplificar nuestro estudio se adoptarán las siguientes definiciones:

Demanda máxima del sistema: Carga horaria máxima del sistema, en kilovatios-hora por hora (expresada simplemente en kilovatios), en un año dado.

/Carga máxima



Carga máxima del sistema: Carga representada por la curva correspondiente del sistema; incluye la demanda máxima y comprende un período de 24 horas, una semana, un mes, una estación o todo el año. Por lo tanto, la carga se caracteriza por la demanda máxima del sistema - en función de la cual se expresa -, por el factor carga y por la tendencia de la curva concerniente al período considerado.

Capacidad de carga del sistema: Es la mayor punta de carga que puede ser servida por la combinación de las fuentes de abastecimiento existentes, bajo condiciones de caudal mínimo en las centrales hidroeléctricas y con disponibilidad mínima de energía comprada durante el período considerado.

Capacidad de carga de una central o proyecto: Es la carga de una central en servicio o de un proyecto propuesto, como componente de la capacidad de carga de un sistema. Aunque se expresa en función del elemento kilovatio de la demanda de punta de carga, incluye el elemento energía de la capacidad de carga, con el factor carga y la tendencia de esa sección de la curva de carga del sistema asignada a la central o proyecto.

Si la carga del citado sistema está sirviendo en forma eficaz y económica, cada fuente de abastecimiento se destina a una sección diferente de la curva de la carga con el objeto de obtener la capacidad necesaria y el menor costo total de funcionamiento. En estas condiciones, durante la estación seca, las instalaciones térmicas y las centrales hidroeléctricas que aprovechan el paro del caudal se asignan a la base de la curva de carga, en tanto que las centrales hidroeléctricas con almacenamientos de regulación y reserva sirven la parte superior, donde el factor carga es más bajo. En la época lluviosa, la carga base es servida, en general, por todas las centrales hidroeléctricas, mientras que las centrales térmicas se destinan a la carga máxima. En todo tiempo, la carga de las centrales térmicas se distribuirá entre ellas de modo que las unidades productoras más eficaces funcionen con los elementos de carga más elevados dentro de la sección de la curva asignada a las centrales térmicas. La distribución de la energía comprada dependerá del factor carga y del precio de venta en ese momento.

El problema de la evaluación de un proyecto hidroeléctrico como un agregado a ese sistema, se plantea cuando hay que resolver sobre la elección de otra fuente de abastecimiento para cubrir en el futuro una carga máxima, determinada mediante algún método apropiado de pronóstico. Por lo tanto, para que el nuevo proyecto pueda considerarse factible, tiene que proporcionarle al sistema la necesaria capacidad de carga adicional en un momento dado y constituir la mejor solución económica. Estas dos condiciones se examinarán por separado.

#### 4. Capacidad de carga del proyecto

Si la curva de carga del sistema se proyecta hasta la futura carga máxima del sistema en estudio, y todas las fuentes de abastecimiento de energía, térmica, hidráulica y comprada, se concentran en ella y se disponen de manera que cuando el caudal esté en su mínimo se pueda aprovechar al máximo su capacidad instalada y de energía, obteniéndose así el menor costo total de explotación, entonces quedará libre una parte de la curva de carga que pasará a ser ocupada por el nuevo proyecto hidroeléctrico en evaluación. Se considerará suficiente la capacidad de carga del proyecto si el caudal en período de descenso está en condiciones de proporcionar la carga que se le ha fijado tanto en kilovatios como en kilovatios-hora.

Este criterio se basa en el principio del aprovechamiento máximo de las posibilidades de todos los recursos existentes antes de hacer un agregado al sistema, procedimiento que evita la duplicación de las inversiones. Lo anterior no tiene validez si se estudia la posibilidad de contar con una capacidad de reserva o de proporcionar una nueva fuente de abastecimiento en reemplazo de otra menos eficiente. Se trata, en una palabra, de reducir el costo de explotación. La justificación de la capacidad de reserva constituye un problema aparte que no se discutirá en esta ocasión. Por el contrario, el aprovechamiento de una nueva fuente en reemplazo de una en servicio, se engloba en el problema económico que se discute a continuación.

/La capacidad

La capacidad de carga de cualquier proyecto hidroeléctrico que cuente con almacenamiento de reserva o de regulación dependerá de la sección de la curva de carga del sistema que se le asigne. Esta se obtiene como resultado de los diferentes factores de carga con los cuales funcionará el proyecto, como lo muestran las curvas del gráfico I, que también señalan la capacidad de almacenamiento para regulación que debe tener una central para servir cargas en cualquiera sección de la curva.

En cambio, si el proyecto hidroeléctrico aprovecha el caudal de pasada de un río, sin embalse ni almacenamiento, su capacidad de carga será la misma cualquiera que sea su posición en la curva de carga y siempre será igual al equivalente en kilovatios de su caudal mínimo durante la demanda máxima del sistema.

Con el agregado de un nuevo proyecto hidroeléctrico al sistema es posible obtener una capacidad de carga total que exceda a la del mismo proyecto. Esto ocurrirá cuando una mayor proporción de su capacidad instalada se tome aprovechable como componente de la demanda máxima del sistema, gracias a la adición del nuevo proyecto que permitió reordenar las centrales existentes en la curva de carga. De este modo, la evaluación de un nuevo proyecto no se basa exclusivamente en su capacidad individual, sino en la capacidad total de carga adicional que puede proporcionar.

En vista de lo anterior, la posible contribución de un proyecto existente o de un emplazamiento potencial a la capacidad de carga del sistema, varía con el aumento de la carga. A medida que ésta aumenta, la capacidad de carga correspondiente a una cantidad fija de energía utilizada en la sección superior de la curva tiende a crecer; por tanto el valor de un emplazamiento hidroeléctrico como fuente de una capacidad de carga adicional en el sistema, también se eleva.

De esta suerte, para determinar la capacidad de carga de un nuevo proyecto hidroeléctrico se debe calcular la potencia y energía componentes de su capacidad, para ver si encajan en la parte de la curva de carga del sistema asignada al proyecto. Existen varias técnicas para este fin, que no trataremos en esta ocasión por lo dilatado del asunto. El procedimiento implícito puede tornarse muy complicado y laborioso cuando se

/incluyen muchas

incluyen muchas fuentes de abastecimiento y deben considerarse varias alternativas. A esta complicación se agrega la variación de la altura de caída del agua a causa de la disminución del nivel del almacenamiento ubicado en las instalaciones productoras o a la fluctuación del nivel del canal de descarga.

Entre los diversos medios que se utilizan para ese fin, podemos destacar el gráfico fluviométrico, el diagrama de gasto hidráulico, las curvas de duración del caudal y de la carga y la curva de potencia-energía (denominada también "curva porcentual máxima" o "curva de carga integrada"). Esta última, que muestra la relación existente entre la potencia y la energía de cualquier segmento horizontal de la curva de carga, es de particular utilidad para comparar las diversas disposiciones de las fuentes de abastecimiento en la curva de carga del sistema.

Se dijo en un párrafo anterior que la determinación de la capacidad de carga del proyecto y de la capacidad de carga complementaria del sistema que resulta de la adición del proyecto, debe basarse en la presencia del caudal mínimo en el momento de registrarse la carga máxima en el sistema. Esto puede interpretarse en el sentido de que un proyecto hidroeléctrico no debe ir más allá de la capacidad de su caudal mínimo. Pero, en realidad, lo que se quiere significar es que esta capacidad resultante del caudal mínimo debe cubrir siempre la capacidad de carga que el proyecto exige. Como se analiza en el punto siguiente de este trabajo, una capacidad instalada mayor que la que corresponde al caudal mínimo puede justificarse económicamente desde el punto de vista de la producción de energía del proyecto por un período de varios años, en orden a economizar combustible o para reemplazar la energía comprada cuando ésta es más cara.

También puede argüirse que el criterio de basar la capacidad de carga del proyecto en el caudal mínimo, peca de excesiva prudencia, puesto que su construcción se ha considerado para hacer frente a la carga del sistema en un año futuro y es difícil que el caudal mínimo se produzca en ese mismo año. En nuestra opinión, este argumento no viene del todo al caso, porque el proyecto debe estar en condiciones de mantener su capacidad de carga futura por cualquier año posterior al considerado como meta.

## 5. Economía del proyecto

El nuevo proyecto hidroeléctrico que se está evaluando se considerará como la fuente más económica de capacidad adicional si, al agregarse al sistema, permite proporcionar energía a los consumidores durante varios años a un costo más bajo que el de cualquiera otra fuente complementaria de abastecimiento.

Como resultado del aumento de la carga del sistema, la disposición económica de las diversas fuentes de suministro en la curva de carga y, por consiguiente, su producción anual utilizable, puede variar de un año a otro.

Además, durante el período que abarca el análisis económico, es posible hacer otros agregados a la capacidad del sistema, mediante nuevas fuentes o ampliaciones del proyecto en estudio o de algunas de las instalaciones en servicio, razón por la cual estos nuevos elementos de costo tendrán que incluirse en el cálculo del valor total de la energía suministrada.

Por estos motivos, la economía del proyecto propuesto no puede determinarse en forma correcta con ningún método directo que lo considere como el único agregado al sistema; por el contrario, ella se obtiene mediante un laborioso análisis realizado año por año en el que el costo total de producción del sistema (capital y explotación) se compute anualmente y se sume al final del período. Esto debe hacerse con varias alternativas de proyectos de desarrollo, cada una de los cuales debe contemplar otras fuentes de abastecimiento agregadas al sistema, con el objeto de proporcionarle la capacidad de carga que necesite. Entre estos proyectos figurarán uno en el que toda la capacidad adicional requerida en el período provenga exclusivamente de centrales térmicas. Todos estos proyectos alternativos deben considerar distintas capacidades instaladas en el mismo proyecto, que excedan de la necesaria para la capacidad de carga del sistema, a fin de determinar si el superdesarrollo de estos proyectos se justifica económicamente en función de la producción de energía aprovechable durante los períodos de alta del caudal. El proyecto que se apruebe en definitiva será aquél que ofrezca, al final del período, el costo total de producción más bajo.

/En el

En el análisis precedente, los componentes del costo de producción anual comprenden los gastos de capital (gastos fijos anuales) de cada adición al sistema, incluyendo los de las transmisiones y las subestaciones para bajar voltajes, y los costos de explotación de todas las fuentes activas de abastecimiento de ese año, con inclusión de las existentes con anterioridad al período del análisis. Los gastos de capital de estas últimas, aunque son un componente del costo total de la energía, no es necesario incluirlos en el análisis, porque se mantendrán constantes en todos los proyectos que se comparen. Los gastos de explotación de las instalaciones hidroeléctricas también pueden a menudo, dejarse de lado en vista de su insignificancia en relación con el costo total de producción.

El número de años que debe incluirse en el análisis está limitado por las dificultades que se presentan para pronosticar la carga del sistema con demasiada anticipación y por lo imprevisible de las tendencias inflacionistas y otros factores económicos, cuyos efectos, en un grado u otro, repercuten en los costos de la energía hidráulica y térmica. Como regla general, se adopta un período que abarca de cinco a diez años, aunque en ciertos análisis provisionales pueden considerarse períodos hasta de veinte años.

Un estudio de ese tipo supone los siguientes pasos:

- a) Preparación del pronóstico de la carga del sistema por el período de estudio, incluyendo las cargas máximas anuales (hora máxima), energía anual consumida por el sistema y el factor carga anual.
- b) Construcción de la curva de la carga anual del sistema con ordenadas porcentuales. Habrá necesidad de usar más de una curva si el pronóstico de la carga muestra un cambio apreciable del factor carga anual durante el período considerado.
- c) Selección de los proyectos que se agregarán al sistema durante el período que dure el estudio y determinación de los años en que deben estar en explotación por lo cual se calcula su capacidad de carga y la capacidad de carga del sistema que se obtenga, haciendo coincidir esta última con los puntos máximos anuales del sistema, previstos en el pronóstico.

/d) Preparación de

- d) Preparación de las estimaciones del costo de construcción de cada agregado del sistema.
- e) Construcción de las curvas de duración del caudal en todo el período, para cada central hidroeléctrica existente o nuevo proyecto agregado al sistema, consistiendo las ordenadas de su caudal - mediante las respectivas alturas de caída del proyecto - a kilovatios de potencia primaria. Estas curvas cubren el período completo en que se ha registrado el caudal (de 10 a 30 años de registro efectivo o estimado) y se supone que representan un verdadero año promedio, o sea, con inclusión de todas las variaciones experimentadas por el caudal desde el nivel mínimo al máximo.
- f) Determinación de toda la energía potencial disponible anualmente en cada central o proyecto hidroeléctrico, trazando líneas horizontales sobre las curvas de duración en las ordenadas correspondientes a las respectivas capacidades instaladas. En seguida se miden las áreas que quedan debajo de estas líneas. Sumando a continuación las energías potenciales obtenidas para cada fuente, se tendrá el total de la energía hidráulica potencial del sistema.
- g) Aplicando el total de la energía hidráulica potencial a la curva de la carga anual del sistema (con ayuda de su característica "potencial - energía") se determinará la energía hidráulica total utilizable en el año. Se obtiene, después, la producción neta de energía térmica que se necesita al año, restando la energía hidráulica utilizable total a la energía total consumida por el sistema previsto en el pronóstico, con debida consideración a la diferencia resultante de las pérdidas en la transmisión.

Después de determinar, en la forma indicada, las adiciones que habrán de hacerse al sistema en los distintos años y la producción anual requerida de las centrales hidroeléctricas y térmicas, pueden calcularse los gastos de capital y de explotación de cada año.

/Al calcular

Al calcular los gastos de explotación de las instalaciones térmicas, debe tenerse en cuenta la eficacia relativa de sus diversas unidades productoras, lo que permitirá distribuir la carga térmica entre estas unidades en la forma más económica posible. Este cálculo, no siempre fácil, requiere generalmente la cooperación del ingeniero mecánico.

Un importante elemento de costo en nuestro análisis lo constituyen los cargos fijos anuales sobre el capital invertido en las centrales hidroeléctricas en los medios de transmisión y en las centrales térmicas. Quizá no se preste la atención debida al cálculo apropiado y realista de estas cargas en el momento de hacer los estudios comparativos de evaluación de un proyecto propuesto. Parece predominar la tendencia a usar las cifras establecidas por la tradición o la costumbre, en lugar de hacer un cálculo minucioso en cada caso concreto de los coeficientes que es preciso utilizar en la determinación del valor real de la moneda y de las tasas de depreciación y de desgaste por el uso de las instalaciones.

Otro elemento de primera importancia en estos estudios económicos es, desde luego, el costo de combustible. En aquellos países cuya producción, refinación y distribución del petróleo están siendo nacionalizadas, resulta difícil estimar los precios para años futuros, dato indispensable para el análisis comparativo de la economía del proyecto de energía.

En Brasil, por ejemplo, los combustibles que merecen confianza para la producción de energía en las centrales eléctricas, son los petróleos residuales y diesel, debido a que los yacimientos carboníferos son insuficientes y se encuentran lejos de los emplazamientos eléctricos más importantes. La explotación de las reservas petrolíferas, prácticamente toda la refinación e importación de productos crudos y refinados, constituye el monopolio de Petrobras, compañía mixta cuyo control y dirección absolutos están en manos del Gobierno Federal. La producción petrolera de las reservas locales es aún insuficiente para satisfacer el consumo nacional. Por lo tanto, se importa la mayor parte de este producto. Los precios del petróleo, que dependen del saldo de divisas en el país; las fluctuaciones de las tasas cambiarias especiales asignadas a las importaciones petroleras; otras presiones inflacionarias y los gastos /de explotación



de explotación de Petrobras, experimentan cambios periódicos y frecuentes según lo establecen las directivas federales para las diferentes regiones del país. De esta suerte, resulta difícil predecir sus variaciones.

Las curvas presentadas en el gráfico II muestran, con fines de comparación la variación experimentada desde 1940 hasta la fecha por los índices de costo de la construcción de edificios y el fuel oil respectivamente, en la ciudad de Río de Janeiro. Señalan que aunque los dos índices han crecido a una tasa media acumulativa de 11 a 12 por ciento al año, el costo del combustible ha experimentado enormes oscilaciones en plazos breves. (Ver gráfico II.)

Aunque la economía de un proyecto hidroeléctrico se determina mediante el minucioso cálculo ya descrito, las curvas del gráfico III se presentan con el propósito de mostrar, en forma burda y preliminar, la escala de "factores de capacidad" dentro de la cual un proyecto hidroeléctrico está en condiciones de competir con la energía térmica. El "factor capacidad" se define como la relación existente entre la producción media de un período de años y la capacidad instalada nominal de la central. A fin de representar gráficamente estas curvas en la forma más simple posible, se estimó conveniente mostrarlas en función de la diferencia entre los gastos de capital, por unidad de capacidad instalada, de las centrales hidroeléctricas (incluida la transmisión) y térmica, respectivamente. Pueden usarse con cualquiera unidad monetaria siempre que se adopte la misma unidad para los valores de "D" (diferencia en los gastos de capital) y "c" (gastos totales de explotación de la central térmica). (Ver gráfico III)

#### 6. Observaciones finales

Con excepción de las pocas localizaciones indiscutiblemente apropiadas para las centrales hidroeléctricas, la concepción de proyectos análogos que resulten económicos exige del ingeniero iniciativa, paciencia y capacidad creadora, además de la competencia técnica indispensable. El ingeniero no debe esperar que la administración le ordene el estudio de un proyecto hidroeléctrico cuando éste se necesita con urgencia por la ampliación del sistema. Si así lo hace, nunca tendrá bastante tiempo para

/evaluar con

evaluar con propiedad un proyecto y recomendarlo en forma convincente para su realización. Por el contrario, su obligación y su deber es la investigación permanente de las posibilidades hidráulicas, sin que esto signifique recomendar favorablemente la construcción de un determinado proyecto.

Como consecuencia de la evolución de la carga del sistema, así como de los costos del combustible y de la construcción, un proyecto hidroeléctrico que sea antieconómico hoy día puede no serlo en el futuro. Por consiguiente, y como regla general, el estudio de una localización no debe abandonarse definitivamente, sino que debe someterse a revisión continua para una posible reconsideración futura. Sólo cabría una excepción a la regla cuando la investigación pertinente demuestra la inutilidad de la localización o cuando el permiso se ha otorgado a otra persona. Sin embargo, aún en esta última eventualidad, la investigación puede proseguir por efecto de la incapacidad financiera de la persona para desarrollar el sistema, o por otros motivos. El permiso tendrá entonces que expirar.

Un proyecto hidroeléctrico, aunque de insignificante capacidad de carga en relación con la punta de carga del sistema, puede justificarse desde el punto de vista de la economía de combustible, proporcionando incidentalmente al servicio la oportunidad de contribuir al desarrollo de los recursos hidráulicos de la región. Siendo esto así, pueden presentarse oportunidades de desarrollar estos recursos, aunque en escala relativamente pequeña, incluso en áreas consideradas desprovistas de energía hidráulica por falta de localizaciones sobresalientes. En realidad, sólo en las regiones áridas no existe energía hidráulica.

En ciertos casos el gobierno puede intervenir en el desarrollo hidráulico, fiscalizando mediante concesiones, los mejores emplazamientos hidráulicos disponibles en la zona. De acuerdo con esto, las empresas privadas no están inhabilitadas por considerar el desarrollo de proyectos menores, que el gobierno haya desechado, siempre que den prueba de ser económicos, es decir capaces de entregar energía al sistema a un costo menor del que se obtendría de las centrales térmicas. De esta manera sirven como fuente complementaria de energía térmica, aunque en escala relativamente inferior.

/Además de

Además de depender de una topografía favorable, en general el almacenamiento estacional es oneroso, aun cuando se logre encontrar un lugar que sea económico para la empresa, desde el punto de vista de los gastos que representan el valor de la tierra, los derechos y la reubicación de caminos, las estructuras y los servicios. Cabría esperar que en los países menos desarrollados estos costos pudieran disminuirse. Pero resulta que la mayoría de estos países están pasando ahora por un agudo período de inflación y en una economía de este tipo el valor de los bienes raíces es el primero y más afectado que se ve. Por consiguiente, el almacenamiento estacional suele justificarse sólo cuando el agua almacenada se utiliza a través de una altura de caída relativamente grande.

En cambio, el almacenamiento de agua para regulación diaria o semanal puede proporcionarse a un costo razonable, y obtenerse beneficios de consideración de las instalaciones de almacenamiento combinadas con energía térmica u otras fuentes de baja capacidad. Por estas razones, un emplazamiento hidráulico nunca debe descartarse por la poca capacidad del caudal ni por la imposibilidad práctica de construir un almacenamiento estacional económico, sin que antes se haya prestado atención cuidadosa a la posibilidad de construir un embalse y de usar éste en combinación con otras fuentes de abastecimiento del sistema.

El almacenamiento de agua por bombeo constituye un tipo especial de proyecto de embalse; su justificación exige una topografía adecuada aguas abajo del canal de descarga y la disponibilidad de una capacidad sobrante muy barata cuando el sistema está en condiciones de baja demanda.

Dado que este tipo de proyecto, en condiciones favorables, proporciona una capacidad para servir demandas máximas a bajo costo, no puede ser desechado en la evaluación de un emplazamiento hidráulico.

Como la capacidad de carga de un proyecto hidroeléctrico aumenta generalmente al elevarse la carga del sistema, es fundamental que en el diseño de un proyecto se contemplen en forma adecuada las futuras adiciones a la capacidad instalada. Además, como esto se traducirá corrientemente en un aumento del costo inicial del proyecto, y siendo difícil prever con exactitud cuánta capacidad instalada adicional puede justificarse en el futuro, el ingeniero debe resolver con muy buen criterio hasta dónde es posible hacer dicha previsión.

Derivación de las curvas del gráfico III

- T - Cargos de capital de la central térmica y la transmisión conexas, en unidades monetarias por kilovatio instalado.
- $H_0$  - Cargos de capital de la central hidroeléctrica y la transmisión conexas, en unidades monetarias por kilovatio instalado.
- f - Cargos fijos de capital expresados en por ciento. Se supone que son los mismos para las instalaciones hidroeléctrica, de transmisión y térmica.
- i - Gastos de explotación de la central hidroeléctrica, en unidades monetarias por kilovatio por año.
- H -  $H_0 + 100i/f$  = Total cargos de capital de la central hidroeléctrica en unidades monetarias por kilovatio instalado. En los cálculos preliminares  $i = 0$  y, por lo tanto,  $H = H_0$ .
- D -  $H - T$  = Gastos diferenciales de capital de las centrales hidroeléctrica y térmica.
- K - Factor de capacidad en año de caudal medio (período de un año - total) en por ciento.
- c - Costos de explotación de la central térmica (combustible + mano de obra + conservación), en unidades monetarias por kWh neto.
- Ecuación determinante del punto de equilibrio (gastos = ingresos):

$$fT + 8\,760 Kc = fH$$

$$K = \frac{fH - fT}{8\,760c}$$

$$K = \frac{H - T}{8\,760 c/f} = \frac{D}{8\,760 c/f}$$

Suponiendo que (f) = 13 por ciento:

$$K = \frac{D}{673.85c}$$

La ecuación precedente interpretada en el gráfico III, es sólo aproximada y su objeto es únicamente hacer una evaluación rústica y preliminar. No tiene en cuenta los gastos de explotación de la central hidroeléctrica ni la diferencia entre las pérdidas de energía en la transmisión desde fuentes generadoras de hidroelectricidad y energía térmica, y supone que los cargos fijos de capital de las instalaciones hidroeléctricas, de transmisión y térmicas son iguales.



