

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.2.6
21 de noviembre de 1960

ESPAÑOL
ORIGINAL: FRANCES

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

ASPECTOS ECONOMICOS DE LA COMBINACION DE CENTRALES TERMICAS
CON CENTRALES HIDROELECTRICAS

por Marcel Marya

NOTA: Este texto será revisado editorialmente

INDICE

	<u>Página</u>
1. Mecanismo de funcionamiento de las Centrales interconectadas ...	1
2. Determinación de las características óptimas de una instalación hidroeléctrica que opera en conexión con una energía térmica	5
3. Cálculo de la rentabilidad de las variantes estudiadas	12
Conclusión	15

/El presente

El presente informe tiene por objeto analizar el mecanismo de funcionamiento combinado de centrales hidroeléctricas y centrales térmicas y destacar las ventajas importantes que resultan de esta asociación, cuya amplitud depende naturalmente de las características físicas y económicas del país o de la fracción del país que se esté considerando.

De este estudio se podrá deducir el método a seguir para determinar las dimensiones óptimas de las obras hidroeléctricas, y calcular su rentabilidad con miras a ponerlas en lista siguiendo un orden lógico dentro de un plan de desarrollo de la producción de energía eléctrica.

1. Mecanismo de funcionamiento de las Centrales interconectadas

No puede abastecerse un sector con la sola energía hidroeléctrica si no se cuenta con acumulaciones de agua al año como para garantizar la regularidad del servicio; si escasean los sitios apropiados para construir represas, si el precio de las obras es elevado o si se teme un embanque demasiado rápido, habría que reducir fuertemente el caudal de suministro de la central, y es posible que no se pueda utilizar más que el caudal de estiaje, lo que constituye un mal aprovechamiento de los emplazamientos naturales, sobre todo si se debe renunciar definitivamente a toda posibilidad de ampliaciones ulteriores. En esos casos conservan su validez las razones que han impedido emprender la construcción de grandes represas en el pasado.

Por el contrario, si la central hidroeléctrica está asociada a una energía termoeléctrica, el suministro de la primera será capaz de alcanzar valores mucho más elevados, sin que la energía así instalada deje por ello de tener el carácter de energía garantizada.

Nuestro propósito es analizar el funcionamiento combinado de una central hidroeléctrica y una termoeléctrica, examinando, para comenzar, el más sencillo de los casos de una central hidroeléctrica única asociada a una red servida, además, por centrales térmicas.

En una época dada, la exigencia máxima de energía por parte de los clientes de la red interconectada será denominada P . Denominaremos P_H y P_T los potenciales máximos de la central hidroeléctrica y de las centrales térmicas, determinados en el sitio de utilización, es decir previa deducción de las pérdidas por transmisión, denominándose P_{iH} y P_{iT} los potenciales

/instalados en

instalados en las fuentes de producción.

La central hidroeléctrica no es capaz de asegurar por sí sola, en toda época del año, la alimentación de una red cuya exigencia máxima diaria de energía es P_H , puesto que los caudales de que ella dispone están sometidos a los caprichos del río, más o menos corregidos por una reserva anual o interanual.

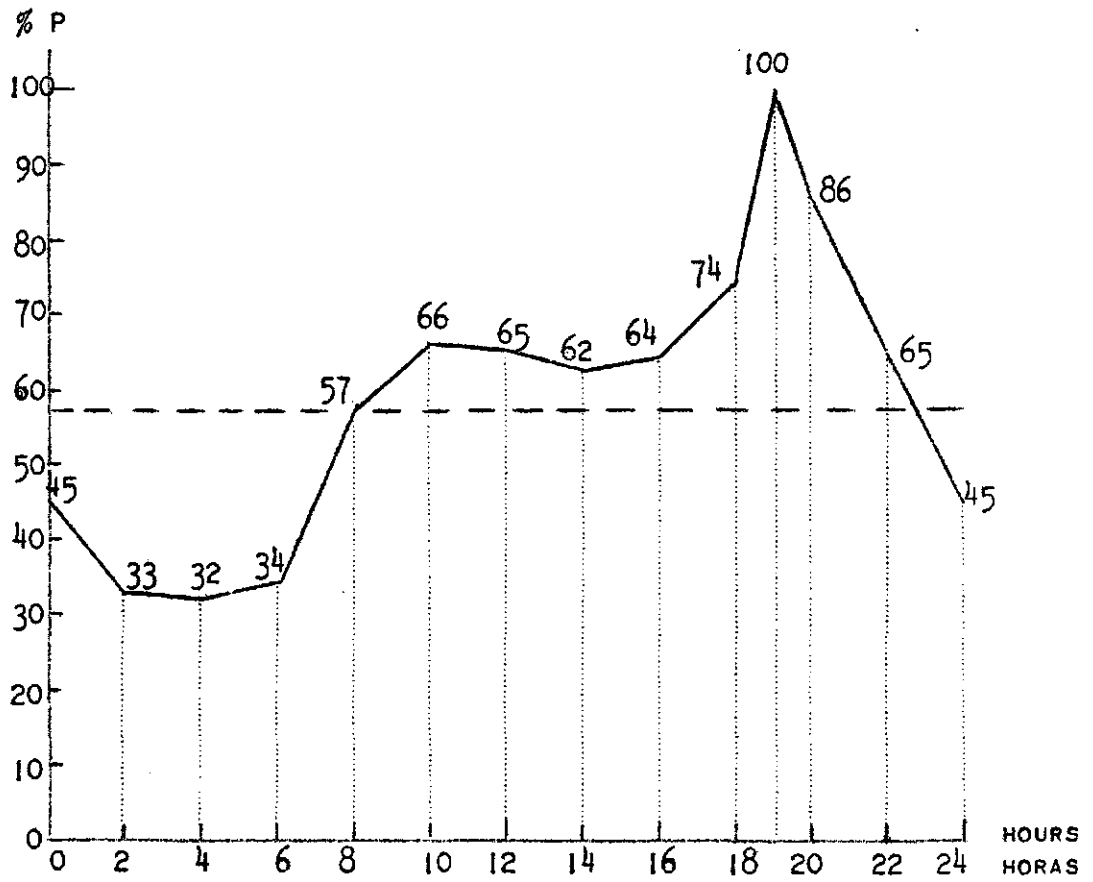
Pese a esta circunstancia, y gracias a la interconexión, el potencial P_H tiene el carácter de potencial garantido dentro de límites extremadamente grandes, que dan lugar a una elección muy amplia en la determinación del potencial a instalar, y mucho más allá de lo que corresponde al caudal mínimo corregido por el juego de las reservas.

Al precisar que P_{iH} es el potencial instalado que corresponde a la altura de caída mínima, habida consideración de las variaciones del nivel río arriba y de las variaciones del nivel de la descarga, así como de que P_H es el potencial en el punto de término de la red de transmisión con relación a esta definición de P_{iH} , la suma de $P_H + P_T$ es susceptible de ser rigurosamente igual a P , sin que sea necesario disponer en ninguna época de un potencial suplementario, a excepción del potencial de reserva impuesto por la necesidad de la conservación de las máquinas y por los riesgos de interrupción.

La curva de carga diaria podrá ser representada, por ejemplo, por el Gráfico I, que corresponde a una utilización anual de 5 000 horas del potencial máximo. Toda otra forma de curva puede ser estudiada de la misma manera, sin que las conclusiones generales del presente estudio sean modificadas.

En el momento de máxima todas las plantas interconectadas funcionan con potencial completo; en otros momentos del día, siendo más débil la exigencia de potencial, será posible, a elección, hacer repercutir el descenso de potencial producido, sea sobre la central hidroeléctrica, sea sobre las centrales térmicas, o bien sobre ambas. En períodos de escasez de agua, no se utilizará la central hidroeléctrica sino para suministrar la energía máxima o de las horas de consumo total, es decir que el potencial instalado no será utilizado sino que durante un número de horas reducido.

FIGURE 1
GRAFICO 1



DAILY LOAD CURVE
CURVA DE CARGA DIARIA

A medida que el caudal de los ríos aumente se utilizará este potencial durante un número progresivo de horas, adaptándose a las posibilidades hidráulicas; paralelamente, se disminuirá en la medida necesaria el funcionamiento de las centrales térmicas, realizando economías de combustible; operando al límite de su capacidad, la central hidroeléctrica será capaz de garantizar la base del diagrama de carga y las centrales térmicas la punta.

Este mecanismo está ilustrado, a título de ejemplo, por los esquemas del Gráfico II, que fue trazado en el supuesto de que el potencial térmico es igual al potencial hidroeléctrico. Las figuras muestran a) el régimen de explotación en período de sequía; c) en los períodos de crece y b) un caso intermedio; se puede pasar desde a) hasta c) a través de todas las etapas posibles sin solución de continuidad. La superficie de las zonas sombreadas es proporcional a los consumos diarios, sea en agua, sea en combustible. Para simplificar, se ha supuesto además que el potencial máximo de la red es el mismo a lo largo de todo el año.

Se ve así que la cantidad de agua consumida es susceptible de variar en forma muy importante según los días o las épocas del año y adaptarse fácilmente a los regímenes de los ríos, quedando disponible la energía hidráulica P_H durante el número de horas suficiente para conservar el carácter de energía garantizada, y esto dentro de límites muy extensos.

Para calcular de manera más precisa este mecanismo elemental, hemos trazado sobre el Gráfico III tres curvas deducidas de la curva de carga.

Denominaremos E_H , E_T y E las cantidades diarias de energía suministradas respectivamente dentro de la red bajo consideración por la central hidroeléctrica, las centrales térmicas y en total por el conjunto de ambas.

La curva $y_1(x)$ representa la relación entre la parte sombreada del Gráfico II a) y la del total diario E cuando $\frac{P_H}{P} = x$ varía de 0 a 1.

Esta curva representa, pues, la fracción, con respecto a la energía total, de la energía hidráulica en la punta.

La curva $y_2(x)$ representa la relación entre la parte sombreada del Gráfico II (c) y la del total diario E cuando $\frac{P_H}{P} = x$ varía de 0 a 1.

/Esta curva

Esta curva representa pues la fracción de la energía total que representa la energía hidráulica en el régimen de base.

Las cantidades de energía térmica serán respectivamente:

- $E y_2(1-x)$ cuando la central hidráulica funciona en máxima,
- $E y_1(1-x)$ cuando la central hidráulica funciona en mínima.

Se verifica fácilmente que:

$$y_1(x) + y_2(1-x) = 1 \text{ y que}$$

$$y_2(x) + y_1(1-x) = 1$$

La curva punteada $\frac{y_2}{y_1}$ representa entonces la relación de los consumos de agua entre el régimen de mínima y el régimen de máxima.

Se ve, por consiguiente, que, manteniendo la posibilidad de asociar a la energía hidroeléctrica una energía térmica conveniente, toda energía hidroeléctrica, por caprichoso que sea el río, es una energía garantizada, puesto que es teóricamente posible hacer variar a voluntad la relación de los consumos extremos entre uno y el infinito.

En la práctica, y sin ir tan lejos por este camino, el cuadro señala que si, por ejemplo, la energía térmica asociada es igual a la energía hidroeléctrica, la relación entre los consumos de agua extremos se establece a un valor de 3,55, lo que autoriza un suministro por parte de la planta muy superior al que sería admisible en un régimen hidráulico puro.

Se ve también el interés considerable que una coordinación de esta clase puede dar en el caso de una planta situada al pie de una represa de regularización anual, toda vez que la economía de agua que ella permite en períodos de estiaje reduce en forma importante la altura de la porción de agua utilizada y aumenta por esta circunstancia la potencia garantizada de la central.

Se advierte por último que el empresario no tiene necesidad de prever los caudales con mucha anticipación, pues de un día para otro puede cambiar su modo de explotación y reducir prácticamente a la nada el riesgo de interrupción del servicio. La producción de la planta hidroeléctrica podrá así ser calculada sobre la base del término medio del año; se produce simplemente una variación del consumo de combustible de las centrales

/térmicas de

FIGURE II
GRAFICO II

DISTRIBUTION OF HYDRAULIC AND THERMAL OUTPUT CALCULATED ON THE BASIS OF $P_H = P_T$
DISTRIBUCION DE LAS PRODUCCIONES ENTRE HIDRAULICA Y TERMICA CALCULADA EN EL CASO EN QUE $P_H = P_T$

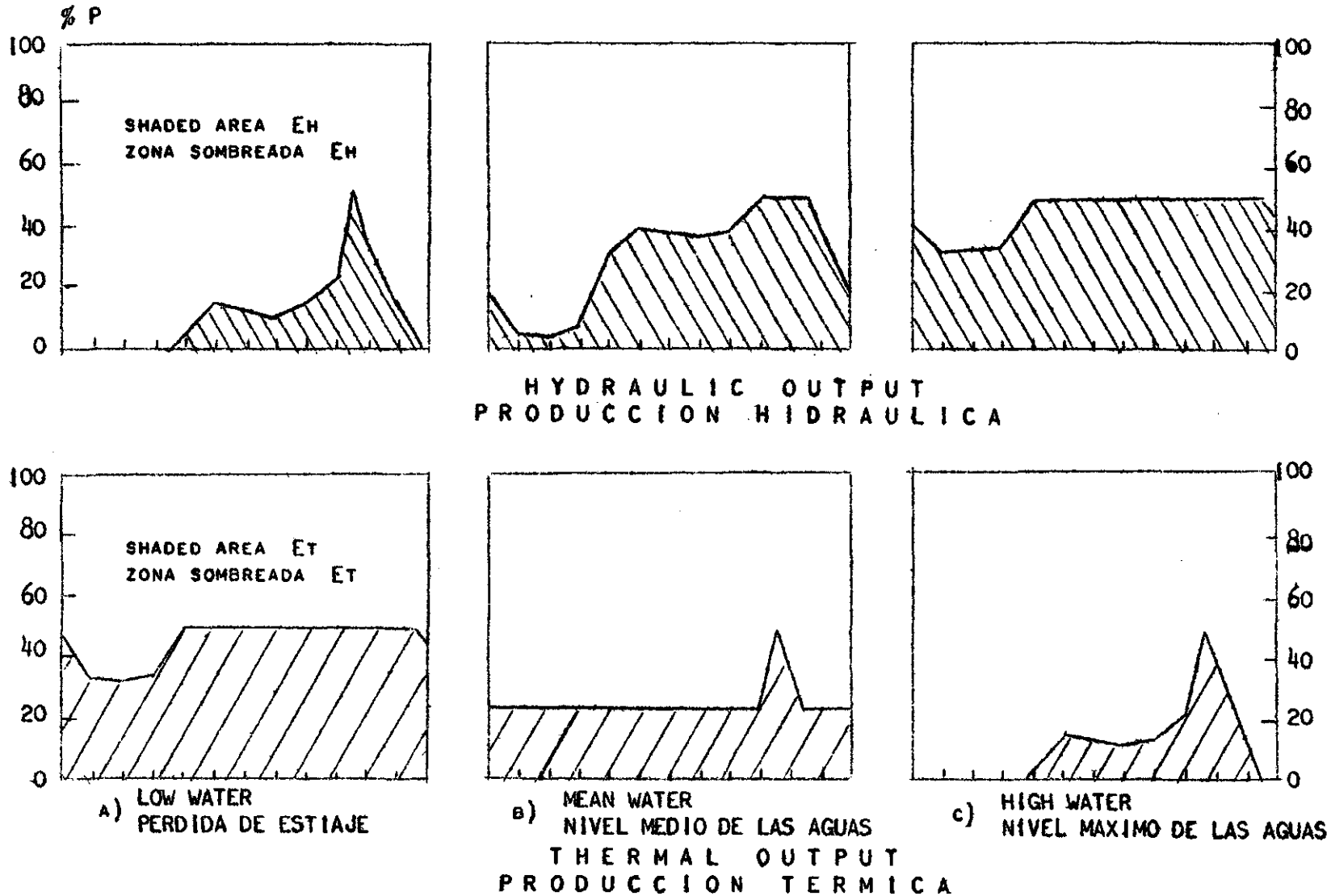


FIGURE III ST/ECLA/CONF.7/L.2.6
 GRAFICO III

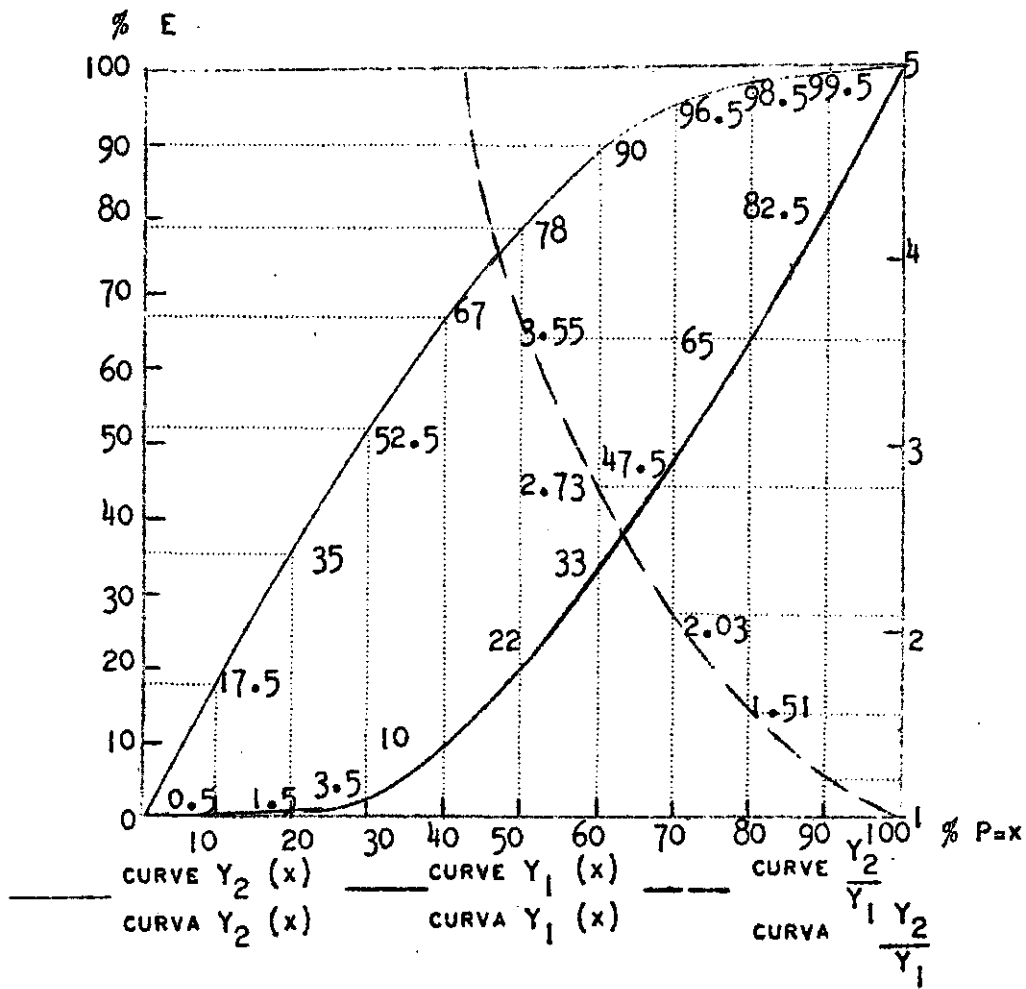
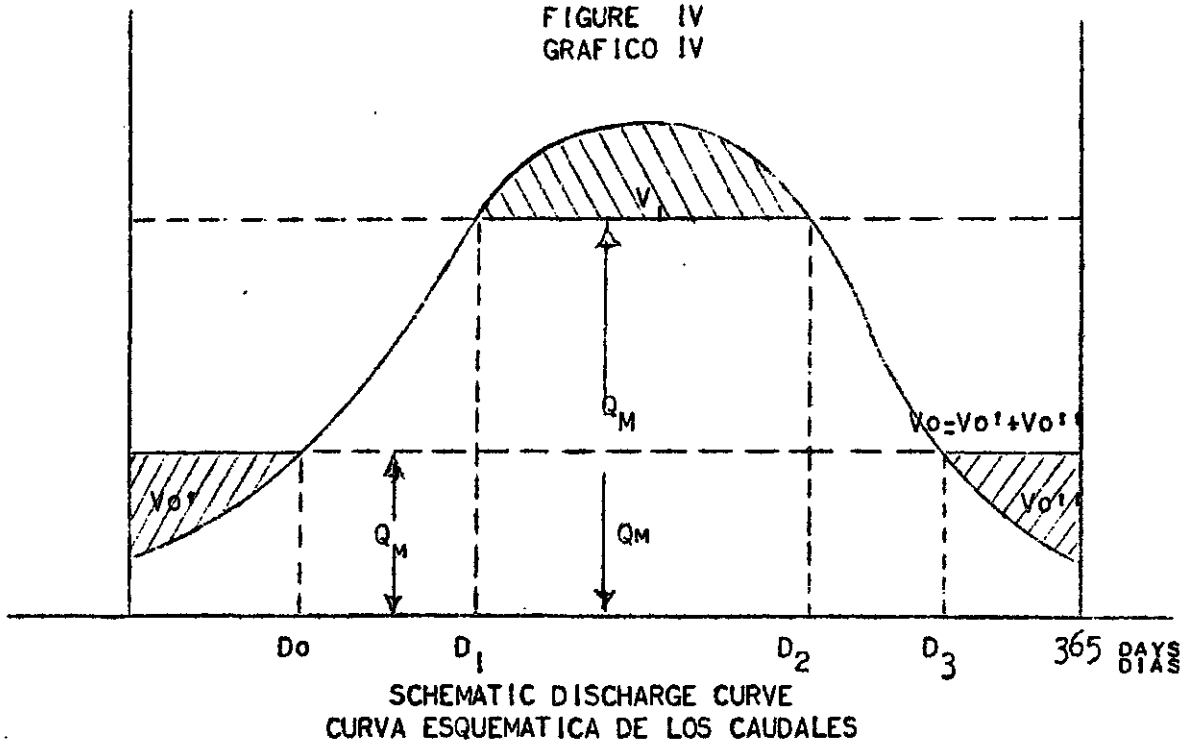


FIGURE IV
 GRAFICO IV



térmicas de un año al otro, siendo el valor medio lo único definido.

2. Determinación de las características óptimas de una instalación hidroeléctrica que opera en conexión con una energía térmica

El Gráfico III constituirá el dato fundamental que permita encontrar rápidamente la solución de un problema esencial que consiste en determinar la altura del embalse y la potencia de la central que da el suministro racional de una sección de río que la persona encargada de las exploraciones haya reconocido como susceptible de proporcionar un aprovechamiento rentable.

a) Primer Caso

Se examinará primeramente el caso de mayor simplicidad que es el de una instalación hidroeléctrica única, en la cual la altura de caída es grande en relación a la altura del embalse, y en que esta altura de caída puede ser entonces considerada como constante.

Se supondrá, además, que la represa tiene por lo menos la altura necesaria para crear una reserva de agua diaria que permita concentrar los caudales sobre una fracción del día.

Diversas variantes del plan serán estudiadas y comparadas. Nosotros nos proponemos señalar que ellas no dependen más que de dos parámetros.

- i) el caudal Q_m medio diario que puede ser garantizado en períodos de nivel mínimo por los caudales naturales aumentados por el vaciado del embalse. Un estudio hidráulico simple, efectuado sobre los estiajes más bajos conocidos o previstos; permitirá calcular Q_m en función de la capacidad del embalse. El parámetro Q_m está entonces directamente relacionado con la altura del embalse.
- ii) la relación $\frac{P_H}{P} = x$, proporción de hidráulica del conjunto de explotación considerado, o $\frac{P_T}{P_H} = 1-x$, proporción de potencia térmica asociada.

Para cada valor de estos dos parámetros, la potencia máxima garantizada de la central hidroeléctrica está determinada.

/En efecto

En efecto, sea Q el caudal suministrado correspondiente a esta potencia máxima garantizada. Debe satisfacer la condición necesaria y suficiente de que la central disponga de la cantidad de agua deseada para asegurar el servicio de máxima de la red en época de estiaje.

Tenemos las relaciones $\frac{P_H}{P} = x \frac{E_H}{E} = y_1(x)$

$$E = 24P \frac{5000}{8760} = \frac{24P}{1.75}$$

de donde $E_H = \frac{24}{1.75} P_H \frac{y_1(x)}{x}$

Luego, la potencia P_H es proporcional al caudal correspondiente a la potencia instalada o caudal equipado

$$P_H = KQ$$

y E_H es igual a la energía que sería producida en el transcurso de las 24 horas del día si se descargase regularmente el caudal medio diario Q_m

$$E_H = 24KQ_m$$

De ello se deduce:

$$\frac{Q}{Q_m} = 1.75 \frac{x}{y_1(x)}$$

Se advierte entonces que, para cada valor de Q_m , el caudal equipado Q depende sólo de $\frac{P_H}{P}$

Quando $\frac{P_H}{P} =$	50	60	70	80	90	100
$\frac{Q}{Q_m} =$	4.00	3.18	2.58	2.15	1.91	1.75

Se observa que cuando la potencia térmica asociada varía de 0 a 100 por ciento de P_H , el caudal aprovechable calculado varía de 1.75 Q_m a 4 Q_m . La cifra inferior 1.75 Q_m corresponde simplemente al funcionamiento diario de una red dentro de un régimen puramente hidráulico.

Se estudiará enseguida el caudal aprovechable por debajo del cual se tendrían pérdidas de agua en períodos de alta. El estudio de la curva anual de los caudales permitirá calcular el valor del caudal medio diario máximo turbinable Q_M , quedando asegurada la reposición de la reserva por los caudales naturales superiores a esta cifra.

Por ejemplo, se podrá operar, para un río que presenta una estación seca y otra lluviosa, como está indicado en el Gráfico IV en el cual la

/horizontal Q_M

horizontal Q_M está trazada de manera que $V_1 = V_0$ ^{1/}.

Durante el período D_1 a D_2 del Gráfico IV, la central hidroeléctrica funcionará como base de diagrama.

La producción hidráulica diaria es entonces:

$$E_H = E y_2 (x)$$

El cálculo anterior da:

$$\frac{Q}{Q_M} \rightarrow 1.75 \frac{x}{y_2}$$

Cuando

$$\frac{P_H}{P} = 50 \quad 60 \quad 70 \quad 80 \quad 90 \quad 100 \quad (\text{Por cientos})$$

$$\frac{Q}{Q_M} = 1.12 \quad 1.16 \quad 1.27 \quad 1.42 \quad 1.58 \quad 1.75$$

$\frac{Q_M}{Q_M} = \frac{y_2}{y_1}$ es la curva punteada del Gráfico III.

En definitiva, la búsqueda racional de la solución óptima se desarrollará de la manera siguiente:

- i) Se trazará la curva de los caudales naturales de la sección del río estudiada en el lugar de la bocatoma. La curva escogida no será la de un año real, ni una curva mediana, sino una curva ficticia que toma en cuenta, en período de sequía, los caudales mínimos sobre los cuales es posible tabular con una probabilidad elevada (90 por ciento por ejemplo) de modo de garantizar la producción de estiaje. (Si por azar se presentase un período seco, bastaría poner en servicio el total o parte de los grupos térmicos que se mantiene en reserva para trabajos de conservación, lo que conduce simplemente a no ejecutar esos trabajos durante los

^{1/} El Gráfico IV posiblemente no da en forma exacta el valor máximo que se busca para Q_M , porque la superficie sombreada V_1 podría en rigor ser inferior a V_0 , pudiéndose efectuar una parte de la reposición en los períodos intermedios D_0 a D_1 y D_2 a D_3 en donde el régimen de marcha de la central es indeterminado y puede ser regulado por debajo del caudal natural. No obstante, el método preconizado da un conveniente valor aproximado de Q_M .

períodos de sequía). En los períodos húmedos, la curva trazada será la que corresponde a un año de buena hidraulicidad, de manera de reducir, en la mayor medida posible, las pérdidas de agua.

- ii) Se darán, a priori, tres o cuatro alturas de embalse. La determinación de su capacidad permitirá calcular para cada uno de los casos el caudal mínimo diario garantizado Q_m . Se determinará Q_M (por la condición $V_1 = V_0$ si la curva de los caudales tiene la forma de la curva del Gráfico IV).
- iii) La relación $\frac{Q_M}{Q_m} = \frac{V^2}{y_1^2}$ dará, por lectura directa sobre el Gráfico III el valor de $\frac{P_H}{P}$ correspondiente al equipamiento en potencia totalmente garantizada y sin pérdidas de agua en la estación húmeda. Se leerá también los valores de y_1 e y_2 . Se deducirá el caudal de equipamiento correspondiente a esta solución, es decir para un valor dado de la altura del embalse:

$$Q = 1.75 Q_m \frac{x}{y_1}$$

Si, por ejemplo, se encuentra que $\frac{Q_M}{Q_m} = 2.73$ entonces $\frac{P_H}{P} = 60$ por ciento es decir que será preciso asociar a la potencia hidráulica $\frac{40}{60} = 66$ por ciento de potencia térmica y $Q = 3.18 Q_m$.

- iv) Como es posible que el equipamiento integral sin descargo no sea la solución más económica, se harán otros ensayos con los caudales de equipamiento menores correspondientes, por consiguiente, a porcentajes más bajos de energía térmica.

En el ejemplo precedente, se hará los ensayos siguientes:

$\frac{P_H}{P} = 70\%$	80%	90%
$\frac{Q}{Q_m} = 2.58$	2.15	1.91

Estas variantes admiten pérdidas en la estación húmeda.

- v) Es posible también que se tenga interés por aumentar el equipamiento de la central más allá de los límites indicados, pero en este caso la potencia de exceso deja de ser garantida y las producciones

/correspondientes no

correspondientes no intervienen, como se verá más adelante, más que en un cálculo de economía de combustible. Se podrán entonces hacer análogos ensayos en este sentido. Este podrá ser, por ejemplo, el caso en que el aumento de potencia de la central no exija otra cosa que trabajos de ingeniería civil relativamente modestos (central de pie de embalse o galería de poca longitud).

- vi) Estas diferentes variantes serán calculadas a la luz del estudio de la rentabilidad de cada una de ellas, atendiéndose a principios que serán expuestos más adelante.

El número de las variantes no debe desalentar al economista, puesto que los precios podrán ser calculados sobre los cuadros obtenidos con ayuda de un número limitado de valores de los dos parámetros y sobre los cuales será fácil trabajar por interpolación.

Con miras al estudio comparativo, convendrá descomponer los precios de los trabajos por clases, clasificando separadamente las inversiones de acuerdo con la duración de su vida útil, por ejemplo, en tres clases:

- Adquisición de terrenos, restablecimiento de comunicaciones, etc...
- Trabajos de ingeniería civil,
- Material metálico, mecánico, eléctrico.

- vii) Se investigará si, para cada variante estudiada, la potencia térmica necesaria para la asociación existe ya en la red. En caso contrario, se hará intervenir en los cálculos de rentabilidad la construcción de las porciones térmicas que hagan falta.
- viii) Se observa que la potencia garantizada proporcionada por el aprovechamiento de la sección de río considerada no es una cifra determinada. Cada variante conduce a la inserción en la red de una potencia nueva diferente de una variante a otra.

Se investigará para cada una de ellas, sobre la curva de desarrollo futuro del consumo de la red en estudio, la duración de la absorción de la potencia nueva.

Se agregará a las inversiones, además de los intereses intercalarios durante el período de construcción, los intereses intercalarios suplementarios proporcionales a la potencia no absorbida

/y hasta

y hasta la absorción completa.

Si la demora de la absorción total parece muy larga, se investigará la posibilidad de realizar el trabajo por etapas sucesivas.

- ix) El método recomendado presenta la ventaja de una investigación racional y ordenada y da la seguridad de que la sección de río estudiada será aprovechada en el interés nacional sin mediar más que cálculos muy simples.

No hemos tratado en esta investigación el mejor medio de subdividir el curso de agua racionalmente, lo que no se puede hacer sin previo examen de casos ilustrativos. Señalaremos solamente que, al establecer los cortes, es necesario abstenerse de seleccionar sitios en forma de aprovechar exclusivamente los tramos de pendiente fuerte, lo que dificultaría ulteriormente el aprovechamiento completo del curso de agua.

Sin embargo se ha visto la posibilidad del trabajo por etapas, valiéndose de la ayuda de caudales inferiores al de la fase definitiva; esta solución no sería excluyente en la medida en que se conoce esta fase definitiva con certeza y que todos los trabajos de las primeras etapas están dispuestos de manera de permitir las ampliaciones sin interrumpir la explotación.

b) Segundo caso

La altura de caída se mantiene casi constante (caída alta), pero varias centrales hidroeléctricas están acopladas a la red.

En este caso pueden presentarse dos eventualidades:

- i) Los ríos aprovechados tienen el mismo régimen hidráulico; las altas aguas y las aguas bajas se presentan casi a un mismo tiempo; es un caso frecuente en los climas tropicales.

Cada proyecto puede ser estudiado por separado valiéndose del método precedente y los resultados pueden ser sencillamente sumados. Cada uno de ellos aporta una potencia térmica asociada óptima.

Convendrá verificar si la suma de las potencias térmicas por asociar al conjunto de energías hidroeléctricas existe ya en la red. Si ello no es así, será necesario crear nuevas y tomarlas en cuenta en los cálculos de rentabilidad. Es natural que el orden en que construyan las centrales hidroeléctricas influirá sobre la rentabilidad de cada una. Las primeras se asociarán a la potencia térmica existente, y las nuevas centrales térmicas se unirán a las hidráulicas que se construyan después.

- ii) Los regímenes hidráulicos son diferentes y permiten compensaciones de una estación a otra. En este caso, el método anterior no conducirá a la óptima económica, por cuanto la suma obtenida para las potencias térmicas asociadas será demasiado elevada.

Con todo, nosotros proponemos calcular estas potencias térmicas de la misma manera en primera aproximación y luego tratar de reducirlas, gracias a una combinación de explotación de las centrales hidroeléctricas a regímenes diferentes. No obstante no es posible dar regla general alguna a este efecto.

c) Tercer caso

La altura de caída es variable. Es el caso de las centrales ubicadas al pie del embalse. Los ensayos serán realizados en la forma precedente, pero será necesario añadir a los dos parámetros Q_n y $\frac{P}{P}$ un tercer parámetro, que será la variación máxima del nivel de agua del embalse.

Para una altura dada del embalse, la cota mínima del nivel del agua tomada como tercer parámetro permitirá calcular V_0 (volumen útil) y Q_n . La diferencia entre esta cota y el nivel aguas arriba correspondiente al funcionamiento a pleno caudal de los grupos permitirá calcular la altura de caída que define la potencia garantizada P_{iH} , y el cálculo se desarrolla como en el primer caso.^{2/}

^{2/} En caso de crecida, con embalse lleno, el nivel aguas arriba se establece a una altura h por encima del nivel correspondiente al funcionamiento completo de los grupos. Es pues inútil tomar para las variaciones del nivel del embalse las hipótesis en las cuales estas variaciones serían inferiores a h , puesto que, en este caso, la altura de caída garantizada se presentaría en periodos de rebalse, embalse lleno, y nunca a embalse vacío.

Los cálculos de rentabilidad para este caso difieren algo de aquel de las altas caídas, en el sentido de que, en los períodos en que el nivel del embalse es superior al mínimo, la energía hidráulica es superior a P_{iH} y se puede detener una parte de los grupos térmicos. Esto permite disminuir la reserva de conservación.

Por último, el caso de los regímenes hidráulicos complementarios se presentará señaladamente para los proyectos de embalses destinados al riego, cuyo papel consiste en conservar el agua en los períodos lluviosos para restituirla en los de sequía. Las normas de explotación combinadas con miras a la producción de electricidad y al riego deben ser cuidadosamente estudiadas con anticipación, puesto que son muy delicadas, pero son absolutamente necesarias para el establecimiento de un plan racional.

Los ingresos de la central son con frecuencia necesarios para garantizar la rentabilidad del riego. Siempre hace falta que la central situada al pie del embalse pueda desempeñar un papel útil en el suministro de potencia garantizada. Será entonces necesario admitir pequeños escapes controlados cotidianos durante el período de llenado del embalse, para garantizar un servicio de punto. Su importancia deberá ser calculada comparando el valor de la garantía y el valor de los terrenos que la pérdida de agua correspondiente impida regar.

La conjunción de un embalse puramente hidroeléctrico y de un embalse de uso múltiple permitirá además disminuir estos escapes controlados por el juego del fenómeno descrito más arriba, pudiendo el primero de los citados dar en ciertas épocas una potencia diaria superior al mínimo garantizado.

3. Cálculo de la rentabilidad de las variantes estudiadas

No tenemos en esta exposición la intención de desarrollar el método que permita dar a las diversas variantes coeficientes de valor destinados a la comparación. Nos limitaremos a indicar los principios en que se funda.

Hemos visto que cada variante aporta, para asegurar el servicio de una red cuya energía máxima es P , un conjunto de potencia hidráulica P_H y de potencia térmica asociada P_T .

Para comparar estas variantes entre sí, las equipararemos a un sistema

/de referencias

de referencias que comprenda solamente una potencia térmica de valor P .

Como las inversiones se presentan de una manera diferente, al igual que la duración de la vida útil y de los consumos, el mejor método consiste en actualizar las cargas al infinito, es decir en calcular en cada caso el capital ficticio o capital total que sería necesario reunir a una fecha dada, por ejemplo el día de la puesta en servicio para:

- a) construir las obras.
- b) hacerlas funcionar, conservarlas y renovarlas indefinidamente con ayuda de los intereses de la suma que quede disponible.

La diferencia entre el capital total de una variante y el capital total del sistema de referencia dará la medida del enriquecimiento procurado a la economía nacional por la construcción de la central hidroeléctrica.

Se puede así escoger entre las diversas variantes aquella que corresponda al enriquecimiento máximo en relación con la energía nueva introducida en la red.

Para evaluar el capital total del sistema de referencia y de la variante estudiada, convendrá principalmente, en uno y otro caso, tener en cuenta las inversiones correspondientes a los grupos de reserva. Cuando el número total de grupos de un sistema es elevado, la energía de reserva podrá estar representada por un porcentaje. Sin embargo, cuando el número es bajo, ella se presentará en la forma de uno o varios grupos suplementarios reales. La introducción de tales grupos, empleada para poner en carga la variante estudiada, naturalmente repercutirá en forma desfavorable sobre las instalaciones primitivas de una red y disminuirá algo su rentabilidad. No obstante, se podría también proceder de otro modo, por ejemplo, afectando el proyecto estudiado de una reserva un porcentaje inferior a la potencia unitaria de los grupos y que no traslade la diferencia, con sus intereses intercalarios sobre los proyectos siguientes.

Un último punto merece ser mencionado, el relativo al mínimo técnico o económico de funcionamiento de las centrales térmicas.

En los períodos en que las centrales térmicas deben suministrar energía de máxima de acuerdo con el esquema inferior c) del Gráfico II, es posible que estas centrales no puedan detenerse completamente fuera de las

/horas de

horas de punta; no será éste el caso de las turbinas a gas, pero será el de los grupos a vapor. Si, por otra parte, la central funciona con gas natural, el contrato de aprovisionamiento de gas admitirá siempre un mínimo de consumo que permita asegurar la rentabilidad del sistema de alimentación a gas. Tendrá entonces, en uno u otro caso, un consumo de combustible o un pago de combustible no consumido susceptible de ser tenido en cuenta.

El sistema puramente térmico de referencia no es afectado por esta circunstancia, pero en el cálculo del precio de las variantes no hay que olvidarlo; se le tendrá en cuenta como capitalización en la determinación del capital total.

Nos proponemos calcular un orden de tamaño de este término sobre la base de un ejemplo particular, que nos parece muy difícil, en que las centrales térmicas funcionan con gas natural con un mínimo de consumo correspondiente a una marcha a potencial total de 250 horas al mes.

La cantidad mensual de energía térmica productible con este mínimo garantizado es de $250 P_T$.

Luego, para un valor de $P_H = x$, la cantidad mensual de energía térmica calculada teóricamente para un funcionamiento en máxima es de:

$$30 E_T = 30 E_{y_1} (1-x)$$

siendo $y_1(1-x)$ la ordenada de la curva y_1 del Gráfico III correspondiente a la abscisa $1-x$.

Si se admite que $1 m^3$ de gas produce 3.5 kWh y que el precio marginal del metro cúbico de gas es p , el valor del gas pagado y no consumido es entonces, al mes:

$$(250P_T - 30E_T) \frac{p}{3.5}$$

con $P_T = P(1-x)$

o sea $E = \frac{24P}{1.75}$

Lo que da:

$$P \sqrt{-250(1-x) - 411y(1-x)} \frac{P}{3.5}$$

/Resulta así

Resulta así el cuadro siguiente:

$x =$	40%	50%	60%	70%	80%	90%
$y_1(1-x)$	0.33	0.33	0.10	0.035	0.015	0.005
<u>Valor del gas</u>						
P_p	4.0	10.0	17.0	17.4	12.5	6.6

Si se admite que este régimen dura cuatro meses al año, la pérdida total por kW de potencia garantizada será para:

$x =$	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Valor anual = 16p	40p	68p	69.6p	50p	26.4p	
Valor capitalizado al 6%	270p	670p	1130p	1160p	830p	440p

Si, por ejemplo, $p = 0,007$ dólares, la plusvalía en capital a aportar a las variantes es, por kW de potencia garantizada:

Quando $x =$	40%	50%	60%	70%	80%	90%
dólares/kW	1.9	4.7	7.9	8.1	5.8	3.1

En todo caso, estas cifras representan un débil porcentaje del capital total y no ponen en tela de juicio el principio de los métodos expuestos. De todos modos faltaba darse cuenta de ello y medir el orden de importancia.

Conclusión

El presente estudio, luego de haber recordado y precisado el interés y el mecanismo del funcionamiento combinado de las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, da un método racional para determinar las mejores características que se pueda dar al aprovechamiento de una sección determinada de un río. Este método permite, mediante cálculos simples, insertar el aprovechamiento considerado en un sistema en expansión, con la garantía de que la solución hallada será la que aporte el máximo de ventajas a la economía del país.

