

NACIONES UNIDAS

CONSEJO  
ECONOMICO  
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.3.3  
6 de diciembre de 1960

ORIGINAL: ESPAÑOL

*(Handwritten signature or initials)*

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 al 12 de agosto de 1961

ASPECTOS DE LA DEFINICION TECNICO-ECONOMICA DE LA CAPACIDAD DE  
ALMACENAMIENTO MAS CONVENIENTE PARA UN SISTEMA DE  
APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS

por

Ing. José Cruz Morais - Ing. Jorge Azevedo Cipriano

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.



## 1. Consideraciones económicas generales

El establecimiento de un programa de producción de energía eléctrica constituye un problema técnico-económico, que en líneas generales, puede decirse que es una sucesión de "operaciones de equipamiento entrelazados unos a otros de tal modo que permita satisfacer los consumos previstos en un grado pre-establecido y de una manera más económica."

Al establecer los consumos con antelación, organizar una agenda de proyecto por ejecutar, seleccionar entre las sucesiones de operaciones de equipamiento posible con esos proyectos y de aquellos que satisfaciendo las necesidades de los consumos conduce a la óptima economía del sistema, la planificación de la agenda de proyectos es una de las de mayor importancia.

En efecto, el problema de establecer un programa de producción de energía eléctrica no puede consistir solamente en determinar entre un número de proyectos perfectamente definidos, aquel que deberá construirse y estableciendo la fecha cuándo deberá realizarse, pues esto supondrá que cada proyecto puede determinarse en forma individual e independiente.

En el hecho, intervienen varios factores en la determinación de cada proyecto (muy especialmente el de aprovechamiento hidroeléctrico) como son las circunstancias locales, topográficas, geológicas e hidrológicas. En consecuencia, existe a grosso modo una libertad relativa en el planeamiento de sus dimensiones generales, dentro por supuesto de determinados límites que imponen esas circunstancias.

No debe olvidarse que, en la práctica, las centrales se destinan forzosamente - por efecto del constante crecimiento de los consumos - a conectarse en paralelo con otras, esto es, a integrarse en sistemas y no a trabajar como unidades aisladas.

Se establecen así entre ellas condiciones tanto complementarias (es el caso de los aprovechamientos de caudales o de embalses y de las centrales térmicas de compensación) como de competencia (por ejemplo, de embalse entre sí o con las centrales térmicas de compensación).

En estas condiciones, aquellas "dimensiones generales" no pueden establecerse definitivamente en forma racional, sin tener en consideración la naturaleza económica del problema, pudiendo afirmarse, a base de un proyecto /de aprovechamiento

de aprovechamiento hidroeléctrico, que tal proyecto no deberá contener ninguna parte de almacenamiento o de potencia a instalar de un valor superior al que podrá obtenerse con otros aprovechamientos (o en centrales térmicas, si fuese ese el caso) cumpliendo las mismas funciones dentro del sistema,

Esta condición lleva en principio, a la igualdad de los costos marginales una vez asegurada la equivalencia funcional.

En el caso que más nos interesa, esto es, el aprovechamiento hidroeléctrico, sus características esenciales en relación con la calidad de su producción son la potencia instalada y la capacidad de almacenamiento.

Esta última, cuando se utiliza debidamente, permite aumentar, en muchos casos en gran medida, la "productividad permanente" del sistema, tanto por transferencia de parte de los caudales de las estaciones húmedas o las secas como en el caso de los embalses de elevado índice de regularización, por transferencia de caudales de años húmedos (o períodos más prolongados) a años secos (o períodos más largos). La posibilidad de transferencia de caudales de períodos húmedos a períodos secos permite eliminar la instalación de sistemas de producción complementarios no hidráulicos, lo que en otra forma sería necesario para mantener un buen servicio en redes de consumo diverso.

En otros términos, la creación de embalses hace innecesarios la instalación de potencia térmica de reserva y el respectivo consumo de combustibles. De ahí su importancia económica, aparte de que en algunos casos se obtiene también una mayor producción bruta del aprovechamiento.

Como se comprende fácilmente, la evaluación económica de la creación de embalses para regular la producción de un sistema debe hacerse sobre bases diferentes según que sus características sean apenas "estacionales" es decir, enteramente destinadas a hacer frente a los períodos de estiaje normal, de frecuencia periódica regular o, por el contrario, que su índice de regularización sea suficientemente alto para disponer de una capacidad "interanual" es decir, destinada a hacer frente a estiajes prolongados, a años o sucesiones de años anormalmente secos, de frecuencia estadística relativamente rara.

En efecto, considerando el competidor natural de los embalses - que es la potencia térmica de reserva - se comprende fácilmente que tanto la potencia

/como la

como la producción media (consumo de combustible) de la central térmica que sería necesaria para cumplir las mismas funciones de un embalse de regularización, resultan mayores en el caso de los embalses estacionales porque aquí los períodos de reserva son más cortos y mucho más frecuentes que en el caso de reserva interanual.

Por ello, al estudiar el problema, es necesario considerar separadamente las dos alternativas de almacenamiento de los aprovechamiento hidráulicos.

Aunque es imposible establecer con absoluto rigor, en un embalse de elevado índice de regularización, dónde termina la capacidad "estacional" y empieza la "interanual", es posible distinguir estas dos partes - cuando se conocen la características hidrológicas esenciales del sistema - en forma adecuada en la generalidad de los casos, como tendremos ocasión de demostrarlo al referirnos a la experiencia particular del sistema productor portugués.

Como es evidente, todos los embalses poseen capacidad estacional; sólo los embalses de elevado índice de regularización poseen capacidad interanual, que es la diferencia entre la capacidad total y aquella capacidad estacional.

Una vez establecidas las necesidades globales de almacenamiento en el conjunto del sistema, la solución del problema de la definición de la capacidad de cada uno de los embalses que lo integran consistirá en buscar, entre todos los embalses previstos (lo que supone que se tenga a disposición un inventario bastante completo), el conjunto de valores de las capacidades que componen este total, en condiciones de igualdad de costos marginales.

Una vez establecida cierta capacidad global y repartida ésta, por el proceso referido, entre todos los embalses en "agenda", se debe verificar si la parte estacional de dicha capacidad basta para hacer frente a las necesidades del sistema. En caso contrario, será necesario hacer un nuevo e idéntico raciocinio sobre las capacidades estacionales, pudiéndose, seguidamente reajustar las capacidades interanuales sobre bases semejantes, con el objeto de completar la misma capacidad total inicialmente establecida.

En el proceso anteriormente señalado, se partió de la premisa de que estaban ya establecidos los valores globales de almacenamiento, anual e interanual, más convenientes para el conjunto del sistema.

La cuestión que ahora se plantea es la de saber cómo definir esos valores

/globales más

globales más convenientes.

Ahora bien, como ya lo dijimos, la capacidad de almacenamiento - tanto anual como interanual - compite en el sentido económico del término, con las centrales térmicas de reserva, es decir, su papel dentro del sistema puede, en idénticas condiciones técnicas, ser representado por centrales térmicas de reserva.

Así, en un raciocinio económico puro, el valor de las capacidades de almacenamiento deberá establecerse por la igualdad de los gastos (totales actualizados) marginales con los de la producción térmica de reserva, supuesta para desempeñar las mismas funciones dentro del sistema. Sin embargo, en la práctica, ciertos factores que escapan al análisis económico directo - como son, entre otros, las imposiciones de interés nacional - pueden intervenir, distorsionando en cierto grado el problema económico inicial (de comparación de costos de formas diversas de energía) y haciendo menos válidas las soluciones alcanzadas por el método en cuestión.

De cualquier manera, el establecimiento de aquellas capacidades más convenientes no puede dejar de basarse en una definición previa, en términos cuantitativos, de las "funciones" que esa capacidad de almacenamiento puede desempeñar dentro del sistema hidroeléctrico, definición en que habrán de basarse todos los raciocinios posteriores de índole económica.

Las consideraciones anteriores no pretenden - ni podrían pretender por su brevedad - abarcar todo el problema del planeamiento de un sistema hidroeléctrico, en lo que respecta a las capacidades de los embalses.

Por cierto, solamente se apuntaron los principios que, más o menos explícitamente, presiden aquel problema, habiéndose omitido, por no corresponder a los objetivos de este trabajo, las dificultades con que tropieza su aplicación y los medios superables.

El verdadero objetivo de nuestras consideraciones es, en realidad, enseñar que en la base de toda la definición económicamente justificada de las dimensiones de aprovechamiento, tiene que estar, entre otros datos, el aspecto cuantitativo de la capacidad de los embalses integrados en el conjunto del sistema.

A continuación se expondrá un método - aplicado al sistema portugués de caracterización de las necesidades de regularización de un sistema hidroeléctrico, a partir del conocimiento de su régimen hidrológico.

/Ese método

Ese método se utiliza para establecer las leyes de variación de la productividad permanente del sistema en función de la capacidad de almacenamiento del conjunto - en los dos aspectos, estacional e interanual -, leyes cuyo establecimiento constituye, de acuerdo con lo ya expuesto, uno de los elementos necesarios para el planeamiento o proyecto de un sistema productor hidroeléctrico.

2. Incidencias de la capacidad de almacenamiento de un sistema en su productividad permanente. Aplicación al sistema portugués

Son muy limitados y, en general, de baja calidad los yacimientos reconocidos de combustibles fósiles en el Portugal. Sus recursos hidroeléctricos, aunque no son abundantes, están evaluados en cerca de 14 TWh, valor bastante apreciable si se considera que la producción total de energía eléctrica en 1959, llegó a 3 TWh en el Portugal.

Como todavía se está a la espera de la evolución económica y técnica de la producción eléctrica por vía nuclear, la solución que se impone naturalmente para obtener la energía necesaria que el desarrollo económico del país exige, reside en el aprovechamiento más completo posible del potencial hidroeléctrico de que se dispone.

Lamentablemente, el caudal de los ríos portugueses se caracteriza por una acentuada irregularidad, que se manifiesta tanto en períodos mensuales como anuales e, incluso, en períodos de varios años. En lo que se relaciona con el problema de la regularización - que está íntimamente ligado con el del aprovechamiento del potencial hidroenergético - tiene suma importancia la sucesión normal de largos y severos estiajes, que pueden ser prolongados, y la posibilidad de años muy secos, que pueden ser seguidos.

Podemos apuntar sumariamente algunas indicaciones que permitirán formarse una idea bastante concreta de la irregularidad del régimen hidrológico portugués:

- a) Es muy elevada la dispersión de caudales mensuales, que pueden variar entre los valores extremos de 15 : 1 y aún más;
- b) Es notoria la distinción entre la estación lluviosa, que se inicia normalmente en noviembre y dura 7 meses, y la estación seca, correspondiendo en general a caudales de estiaje de 5 meses que representa 10 a 20 por ciento apenas del caudal anual;

/c) La

- c) La relación entre los caudales anuales sobrepasados apenas en un 5 por ciento de los años con régimen anual muy húmedo y en un 95 por ciento de los años con régimen muy seco, alcanza valores elevados del orden de 3.5 a 4.5 : 1;
- d) Aún para períodos tan extensos como son los de 6, 7 u 8 años, la relación entre los caudales con probabilidades de ser sobrepasados del 5 por ciento con régimen muy húmedo y 95 por ciento con régimen muy seco, los valores son aún del orden de 1.7 a 1.9 : 1, lo que permite prever la dificultad - a la que nos referiremos más adelante - consistente en obtener producciones próximas a las medias.

Además, los diversos cursos de agua presentan una notable semejanza con las respectivas curvas cronológicas de caudales, revelando el análisis correspondiente que en períodos relativamente largos, que son los que más interesan en sistemas con regularización elevada, las correlaciones entre los caudales de los diversos ríos son bastante altas. Esto demuestra claramente cuán pequeñas son las posibilidades de compensación a largo plazo entre los regímenes, circunstancia que no puede causar admiración por la proximidad de las cuencas y su relativa semejanza climática.

Esa semejanza que se traduce en la comparación de las características de distribución de los respectivos caudales, lleva lógicamente a la posibilidad de definir las características medias, que se atribuyen, con suficiente aproximación, al sistema productor hidroeléctrico portugués, independiente de los aprovechamientos que en cualquier momento vengán a integrar ese sistema.

La acentuada irregularidad de nuestros cursos de agua y la conveniencia de retardar en cuanto sea técnicamente posible y económicamente justificable la integración en el sistema productor de energía eléctrica portugués de centrales térmicas nucleares o clásicas, obligan a encarar perentoriamente la creación de aprovechamientos con elevados almacenamientos, tanto para la regularización de la producción propia como para la compensación de la producción de otros aprovechamientos cuya regularización, por razones técnicas o económicas, no es posible efectuarla en el grado que sería de desear.

En realidad, al pretender definir la productividad permanente de un

/aprovechamiento o



aprovechamiento o sistema de aprovechamientos, los elementos que interesa conocer son las características del régimen hidrológico sobre todo en lo que respecta a las condiciones más desfavorables, y las características de almacenamiento de que dispone ese aprovechamiento o sistema, principalmente de su capacidad.

En cuanto a las características del régimen hidrológico, toda vez que la producción permanente sólo tiene significado real cuando se define de acuerdo con las condiciones de garantía que, atendiendo a las graves consecuencias económicas de eventuales restricciones, debe ser muy alta (se desearía que fuera total), no quepa duda de que interesa esencialmente la consideración de los regímenes admisibles más desfavorables.

Naturalmente, aquella productividad se define a partir de las peores condiciones de caudal registradas, criterio que - si el conocimiento general del régimen permite depositar en tales datos la confianza necesaria, en el sentido de ser bastante improbable que se verifiquen valores inferiores - parece justificado y es frecuente su empleo en el estudio de problemas ligados al abastecimiento.

Procuremos evaluar las necesidades de regularización resultantes de las características del régimen hidrológico portugués. Ya se dijo que, dada la semejanza de las condiciones hidrológicas de los diversos cursos de agua portugueses, era posible definir las características esenciales del sistema productor hidráulico con cierto grado de independencia de los aprovechamientos que en la realidad lo constituyan.

Utilizando esa posibilidad, nos basaremos para nuestros fines, en el sistema productor que estará en servicio en 1964, esto es, al término del Segundo Plan de Fomento, en curso de ejecución.

Naturalmente, para el efecto de este examen, los "caudales del sistema" representan la suma de los caudales de cada uno de los aprovechamientos, expresada en unidades energéticas mediante la consideración de caídas racionalmente seleccionadas de acuerdo con la experiencia de la investigación y con los métodos estadísticos apropiados.

Orientaremos nuestro estudio en el sentido de determinar las producciones permanentes, calculadas por la creación hipotética en el sistema de diferentes capacidades de almacenamiento. Ahora bien, la capacidad

/total necesaria

total necesaria para que una determinada producción anual  $W$  sea permanente y a la que corresponde una potencia media  $P$  se define lógicamente por la mayor de las diferencias positivas entre las producciones que le correspondan en periodos de todas las extensiones posibles (teóricamente entre cero e infinito) y los caudales mínimos (en energía) del sistema registrados en esos mismos periodos.

Esto es, siendo  $P$  la potencia permanente deseada y  $W_{\min}(t)$  los caudales mínimos registrados en un periodo de duración  $t$ , la capacidad mínima de almacenamiento (en energía)  $C_p$ , necesaria para este efecto, será dada por el máximo valor de la diferencia  $P \cdot t - W_{\min}(t)$ . La fórmula es la siguiente, por todos los valores de  $t$  posibles:

$$C_p = \max [P \cdot t - W_{\min}(t)]$$

A fin de dar una idea de conjunto en cuanto a este aspecto, nos remitimos al Gráfico I, en el cual se presentan los caudales mínimos reales registrados en periodos de todas las duraciones hasta 8 años.

Puede concluirse de este Gráfico que los caudales mínimos en periodos cortos representan valores relativos muy bajos y que, aún para periodos bastante extensos, estos valores se localizan alrededor de apenas 75 a 80 por ciento del caudal medio. Salta nuevamente a la vista la dificultad de que una parte muy alta del caudal medio se mantenga fija.

Para determinar, en seguida, las capacidades de almacenamiento necesarias para obtener una determinada producción anual permanente, basta trazar desde el punto de origen una recta que pase por el punto de la abcisa en 1 año y una ordenada igual a esa producción, buscando a continuación la mayor diferencia positiva de ordenadas entre esa recta y la curva de los caudales mínimos. Procediéndose de esta manera por calcular diversas producciones permanentes, se podrá establecer una curva (Gráfico II) que expresa, en función de los almacenamientos totales hipotéticamente creados, las producciones permanentes garantizadas (para regimenes no más desfavorables que los peores registrados).

Con el objeto de caracterizar las capacidades de almacenamiento las posibles producciones permanentes, ellas se expresan tomando como unidad la energía media anual del caudal.

La curva de este Gráfico presenta cuatro trozos bien diferenciados,  
/separados por

separados por tres puntos discontinuos con respecto a las producciones permanentes de cerca de 55, 70 y 80 a 85 por ciento.

La observación descrita del proceso de producción permite concluir a que el primer trozo (inferior a 55 por ciento) corresponde a la necesidad de vencer períodos críticos de estiaje, más o menos prolongados; el segundo trozo (hasta 70 por ciento) corresponde a la necesidad de pasar períodos críticos de cerca de 1.5 años, constituidos por el año hidrológico más seco y por el estiaje anterior; al tercer trozo (hasta cerca de 80 a 85 por ciento) corresponde la necesidad de vencer períodos críticos con una extensión de cerca de 2.5 años, constituidos por el peor bienio hidrológico y por el estiaje anterior; finalmente, además de los 80 a 85 por ciento, el período crítico considerado tiene una extensión superior a 7 años.

Hasta aquí hemos procurado definir la capacidad de almacenamiento mínima necesaria para regularizar la producción del sistema hidroeléctrico portugués.

Es fácil comprender que, en realidad, no bastará con dotar al sistema con embalses totalizando una capacidad dada para garantizar una producción permanente que antes indicamos como necesaria.

En efecto, si se tiene presente la manera en que se definió la capacidad de almacenamiento mínima necesaria en función del grado de permanencia requerido se puede comprobar que esa definición se hizo a base de las necesidades de avenamiento en situación de régimen crítico, sin analizar los aspectos inherentes a la exigencia de reconstitución de los almacenamientos, al término de un período seco de cualquier duración en el momento de enfrentarse a un nuevo período de caudales inferiores a la producción necesaria.

Por lo tanto, la capacidad que estudiamos en el capítulo anterior sólo será suficiente, para los efectos deseados si presenta las características de reconstitución indispensables. Son esas características las que vamos a analizar brevemente en la parte en que sigue.

De todos los períodos secos susceptibles de ser considerados, el de mayor frecuencia y con un período más regular y de más fácil caracterización, es, sin duda alguna, el correspondiente al estiaje.

/Es lógico,

Es lógico, por tanto, que procuremos analizar las condiciones necesarias para que el sistema pueda encararlo, con la flexibilidad necesaria para asegurar un suministro garantido.

Por las condiciones de seguridad exigidas, no es razonable admitir una elevada probabilidad de insuficiencia de la capacidad "estacional" para satisfacer las necesidades de producción; en realidad, las distribuciones de los caudales de varios años pueden accidentalmente presentar aspectos críticos contra los cuales conviene estar preparados, dada la lentitud de reconstitución de las reservas interanuales.

Desde este punto de vista, sostenemos que la capacidad "estacional" es suficiente en 85 por ciento de los casos, valor que más adelante justificaremos con mejores razones; en esas condiciones, habría que recurrir a la reserva interanual en cerca de 15 por ciento de los años, o, lo que es lo mismo, sería necesario echar mano de esa reserva media de 6 en 6 años aproximadamente. El período medio de reconstitución resulta así suficiente para encarar con cierta tranquilidad las dificultades que en años secos puedan sobrevenir.

De acuerdo con lo que acabamos de afirmar, vamos a considerar que la capacidad estacional de embalses debe ser suficiente para hacer frente a las necesidades de avenamiento inferiores a 85 por ciento de los casos.

La curva correspondiente figura en el Gráfico III en el cual también se indica la curva relativa a la capacidad "interanual", obtenida a partir de la curva del Gráfico I y de la que aquí aparece.

### 3. Consideraciones económicas que ayudan a definir las capacidades más convenientes. Aplicación al caso portugués

El trazado de las curvas que relacionan las capacidades de almacenamiento con el grado de permanencia de la producción, tiene el mérito de proporcionar un instrumento idóneo para los estudios de la economía de la regularización de producción a través de la constitución de embalses de elevada capacidad.

En Portugal se efectúan estudios de esa naturaleza, pero están aún en una fase experimental. Pero, a pesar de todo, creemos que nuestra exposición y sus fundamentos sobre las soluciones que aparecen por ahora

como las más viables, se justifican no obstante su carácter circunstancial.

Empecemos por analizar el Gráfico II anteriormente presentado. Las conclusiones que de él se obtienen son, en lo esencial las siguientes:

- a) Es muy difícil alcanzar, en el conjunto del sistema, producciones permanentes más allá del 80 a 85 por ciento de los caudales medios. En efecto, para producciones superiores a ese valor, el Gráfico indica que habría necesidad de crear almacenamientos en una proporción de cerca de 7 unidades de energía por cada unidad de producción anual necesaria permanente, circunstancia que hace difícil prever condiciones de economía aceptables para el esfuerzo realizado;
- b) La regularización, además, de producciones permanentes de cerca de 70 por ciento y hasta cerca de 85 por ciento, exige la creación de almacenamientos en la proporción de 2.5 unidades de energía por cada unidad de energía necesaria y permanente, lo que revela un esfuerzo de realización bastante apreciable; las condiciones futuras de competencia entre las diferentes formas de energía, permitirán a su vez, decidir si es o no justificable ese esfuerzo;
- c) Entre los grados de permanencia de 55 y 70 por ciento de los caudales medios, el esfuerzo de regularización puede justificarse por la necesidad de crear almacenamientos a razón de 1.5 unidades por cada unidad de energía necesaria y permanente. Tal esfuerzo nos parece ya justificado por el interés nacional que representa, aunque los estudios económicos pertinentes se encuentren en período de ensayo

De lo que hemos sostenido se puede concluir que una producción permanente de cerca de 70 por ciento de los caudales medios parece corresponder, por lo menos hasta una mejor delimitación de las condiciones de competencia entre los costos de energía eléctrica de diferentes orígenes, al acuerdo más conveniente entre la necesidad de obtener el máximo aprovechamiento de los recursos hidroenergéticos y la preocupación debida por la economía de la producción.

A ese valor de producción permanente corresponde la necesidad de hacer almacenamientos globales de energía, representados por el mínimo de cerca de 45 por ciento de los caudales anuales medios. De acuerdo con lo que hemos dicho, el punto de la curva del Gráfico I, que corresponde a los

/valores indicados

valores indicados, sirve de transición entre los períodos críticos de 1.5 y 2.5 años de duración aproximada, o sea, corresponde a la diferencia de los caudales críticos de aquella duración. Ese caudal tiene, en el caso presente, una probabilidad de excederse del orden del 85 por ciento, valer éste al que haremos referencia más adelante.

Observemos ahora el Gráfico IV, que trata del encuadramiento del problema dentro de la capacidad estacional. Este Gráfico procura establecer, a través de un conjunto de curvas de igual probabilidad, las necesidades de avenamiento durante el estiaje. Para permitir una confrontación, se presenta en el mismo Gráfico otro conjunto de curvas que registran los excedentes de energía (diferencias entre los caudales y las producciones necesarias) en la estación húmeda.

Las curvas de los dos conjuntos que para facilitar las conclusiones, se refieren a la probabilidad de que los regímenes hidrológicos anuales se sobrepasen, indican los excedentes de energía en la estación húmeda (a partir de los cuales hay que hacer frente a las necesidades en la estación seca) y los avenamientos necesarios en los estiajes, en función de la producción permanente deseada.

También nos enseña el Gráfico en cuestión que, como es natural, los excedentes de energía durante la estación húmeda decrecen en cuanto las necesidades de avenamiento durante el estiaje aumentan, a medida que el grado de permanencia deseado se hace mayor. En esta forma, a partir de permanencias del orden del 60 por ciento, los dos haces empiezan a sobreponerse progresivamente.

El significado de esa sobreposición progresiva es bien claro: a partir de cierto grado de permanencia, las necesidades de avenamiento durante el estiaje comienzan a hacerse con más frecuencia superiores a dichos excedentes, imponiéndose la necesidad, también más frecuente de recurrir al empleo de la reserva interanual, esto es, a utilizar parte de la reserva existente en los embalses en el comienzo del año hidrológico, ya que los excedentes de la estación húmeda, que se suponen enteramente retenidos en los embalses, no están en condiciones de cubrir el avenamiento en el estiaje.

De la observación del Gráfico se desprende que, para una permanencia de 70 por ciento, es posible satisfacer los consumos sin recurrir a la reserva interanual en cerca de 85 por ciento de los años; para una permanencia de 80 por ciento sólo es posible prescindir de ese recurso en cerca de 75 por ciento de los años, y así sucesivamente. En otras palabras: para producciones permanentes de 70, 80 y 90 por ciento, las probabilidades de disposición de la reserva interanual para satisfacer el consumo anual son de cerca de 15, 25 y 35 por ciento respectivamente, dando por sentado que para los regímenes correspondientes es posible retener por entero en los embalses los excedentes de energía de la estación húmeda.

Debemos todavía llamar la atención sobre el real y apreciable empeoramiento de las probabilidades antes indicadas - por el aumento del grado de permanencia - que resulta de la dificultad creciente de retener en los embalses todos los excedentes de la estación húmeda con regímenes cada vez más húmedos, dada la posibilidad de una distribución irregular de esos regímenes y los diversos grados de regularización de los diferentes embalses.

Parece, pues, confirmarse, bajo este aspecto, la conveniencia de no proseguir con la regularización más allá de una permanencia de 70 por ciento.

Admitamos, por tanto, que el sistema debe presentar la posibilidad de prescindir de la reserva interanual en regímenes susceptibles de sobrepasar el 85 por ciento. Ahora bien, se comprueba que en regímenes de probabilidad anual de ese orden, el caudal durante la estación húmeda es de cerca de 50 por ciento del caudal medio anual. Contando con las reservas convenientes para cubrir las necesidades del estiaje, en las condiciones analizadas provenientes de la retención en los embalses de los caudales de la estación húmeda, los embalses de capacidad superior a 50 por ciento de su caudal anual medio, esto es, los embalses de índice de regularización superior a 0.5, sólo pueden contribuir en la parte de almacenamiento anual, llamémosla así, con la parte de su capacidad correspondiente a 50 por ciento de los caudales en cuanto los embalses de menor regularización podrán, en principio, contribuir en esa parte con su almacenamiento total.

Con todo, debe observarse que en ciertos casos no podremos contar con las capacidades indicadas, ya que no será normalmente posible prescindir de alguna producción de los embalses que estamos considerando, durante

/la estación

la estación húmeda, por razones de potencia. De esta manera parece razonable, en razón de que no se dispone en el sistema de instalaciones de bombas destinadas a la cobertura de los extremos, considerar una capacidad menor aproximada, como la correspondiente a 40 por ciento de los caudales anuales.

Ahora bien, la capacidad de almacenamiento correspondiente al avenamiento durante el estiaje, con el régimen probable que venimos considerando, es del orden del 20 por ciento de caudal medio, como se ve en el Gráfico, o sea, alrededor de 45 por ciento del almacenamiento total necesario para la permanencia de 70 por ciento. La conclusión salta a la vista: cerca de 45 por ciento del almacenamiento necesario o, lo que es lo mismo, un almacenamiento correspondiente a cerca de  $2/7$  de la producción permanente anual deberá estar constituido por embalses de mayor regularización correspondientes al 40 por ciento de los caudales anuales medios.

Dentro de las premisas establecidas, el sistema productor hidroeléctrico portugués deberá probablemente poseer, en las condiciones energético-económicas más convenientes desde el punto de vista nacional, una capacidad total de almacenamiento de cerca de 65 por ciento de la producción anual media permanente; de esa capacidad, un poco menos de la mitad (cerca de 45 por ciento) corresponde a la capacidad anual y el restante 55 por ciento a la capacidad interanual.

Es ahora interesante señalar que los recursos correspondientes de los aprovechamientos con embalses que contribuyen a la capacidad "anual", representarán, por lo menos, cerca de 50 por ciento de los recursos totales, de donde se puede concluir que más del 50 por ciento de la producción total permanente del sistema corresponderá a aprovechamientos de embalse.

En cuanto a la parte interanual, su papel queda bien en claro por las razones antedichas: ella se destina, en parte, a complementar la producción anual de los embalses en caso de estiaje muy desfavorable (cuya frecuencia media, se verifica de 5 en 5 o de 6 en 6 años) y, por otro lado, se destina como garantía de los consumos para la hipótesis de regímenes anuales extremadamente secos, de frecuencia estadística rara. A esa parte puede corresponder, en principio, un grado muy elevado de regularización.



Se ve, por tanto, que su utilidad se debe medir antes en garantía que en producción, en razón de los intereses superiores del país. Su desembolso corresponde al premio de un seguro que, en principio, se está debidamente retribuido por la tranquilidad que trae a la vida económica nacional.

#### 4. Conclusión

La constitución, en el sistema productor hidroeléctrico portugués, de una capacidad de almacenamiento relativamente elevada, especialmente en lo que respecta a la reserva interanual, se presenta con buenas perspectivas económicas.

A fin de formarse una idea sobre el precio de la producción hidroeléctrica del sistema, nos referimos en forma sumaria a la producción permanente, esencial para el abastecimiento de los consumos normales. La consideración del valor de productividad variable vendría a mejorar en forma no despreciable, los índices económicos que presentamos. Al sistema actual, cuya estructura dista de ser la más conveniente por carecer de reserva interanual, aunque disponga de una capacidad de almacenamiento estacional muy apreciable -- representa cerca del 27 por ciento de los caudales anuales medios -- corresponde una inversión global de 4 200 000 000 escudos <sup>1/</sup> y una producción permanente de 2 100 000 000 kWh. Estos números representan, considerando cerca del 10 por ciento de las inversiones para gastos anuales, un costo medio de producción permanente del orden de 0,20 escudos/kWh (6.9 mills/kWh).

Por otro lado, el sistema que estará en servicio al término del Segundo Plan de Fomento en curso, y que incluirá un gran embalse interanual, en el Alto Rabagão, con cerca de 1.350.000.000 kWh de capacidad (lo que representa la capacidad global de almacenamiento del sistema en cerca de 45 por ciento de los caudales medios, esto es, teniendo el sistema una estructura muy próxima a la señalada anteriormente como óptima), costará alrededor de  $6\ 000 \times 10^6$  escudos y tendrá una productividad permanente de 3 470 000 000 kWh. Estos números representan un costo medio de producción permanente del orden de 0,17 escudos/kWh (5.8 mills/kWh).

---

<sup>1/1</sup> USA dollar <> 29 escudos.

## RESUMEN

Los autores de este trabajo entran en algunas consideraciones generales de índole económica sobre el planeamiento de sistemas productores de energía eléctrica. Debido a las circunstancias de que cada aprovechamiento deberá trabajar integrado en un sistema, sus características no deberán fijarse en forma definitiva sin antes tomar en cuenta los intereses energéticos y económicos del sistema en conjunto.

En relación con la capacidad de almacenamiento de los aprovechamientos, presentan un método de apreciación de las necesidades globales de almacenamiento en el sistema hidroeléctrico, tanto en el aspecto de capacidad estacional como de capacidad interanual, con sus incidencias respectivas en la producción permanente del sistema.

En seguida, a base de los elementos de caracterización determinados por este método, se formulan algunas consideraciones tendientes a definir las capacidades globales de almacenamiento, de ambas categorías, más convenientes para el sistema productor portugués, atendiendo a los aspectos económicos del problema de almacenamiento y a los costos de producción térmica de reserva, y tomando en cuenta las exigencias y necesidades nacionales.

Se refieren, por último, a las condiciones económicas favorables de la producción hidroeléctrica portuguesa, no obstante las desfavorables características hidrológicas y el elevado grado de garantía deseado, lo que obliga a la creación de almacenamientos de capacidad muy elevada.

5. Bibliografía

Ivo Gonçalves, F.; Cruz Morais, J.; Teixeira Bastos, L.A.

- Rapport général sur le thème: "Critères techniques et économiques à suivre dans l'élaboration d'un programme de production d'énergie électrique"  
(Colloque de Lisbonne du Comité de Tarification de l'UNIPED - Juin 1960)

Ivo Gonçalves, F. - "L'utilisation des ressources nationales dans la production d'énergie électrique"  
(Conférence Mondiale de l'Energie - Vienne 1956)

Ivo Gonçalves, F.; Pais, S.; Cruz Morais, J.  
- "Quelques aspects économiques en rapport avec la coordination de l'exploitation et la planification des ressources d'énergie électrique au Portugal"  
(Conférence Mondiale de l'Energie - Montreal 1958)

Cruz Morais, J. - "Aspects de l'intégration d'aménagement de régularisation hyperannuelle dans le système producteur portugais, essentiellement hydraulique"  
(Conferencia Mundial de la Energia - Madrid 1960)

Pais, S. - "Moyens de coordination employés dans le réseau primaire portugais, en vue du rendement de l'exploitation"  
(Conferencia Mundial de la Energia - Madrid 1960)



Figure I  
Gráfico I

INFLOWS IN PERIODS UP TO 8 YEARS AGAINST ANNUAL MEAN INFLOW  
CAUDALES EN PERIODOS HASTA DE OCHO AÑOS, EXPRESADOS EN FUNCION DEL CAUDAL MEDIO ANUAL

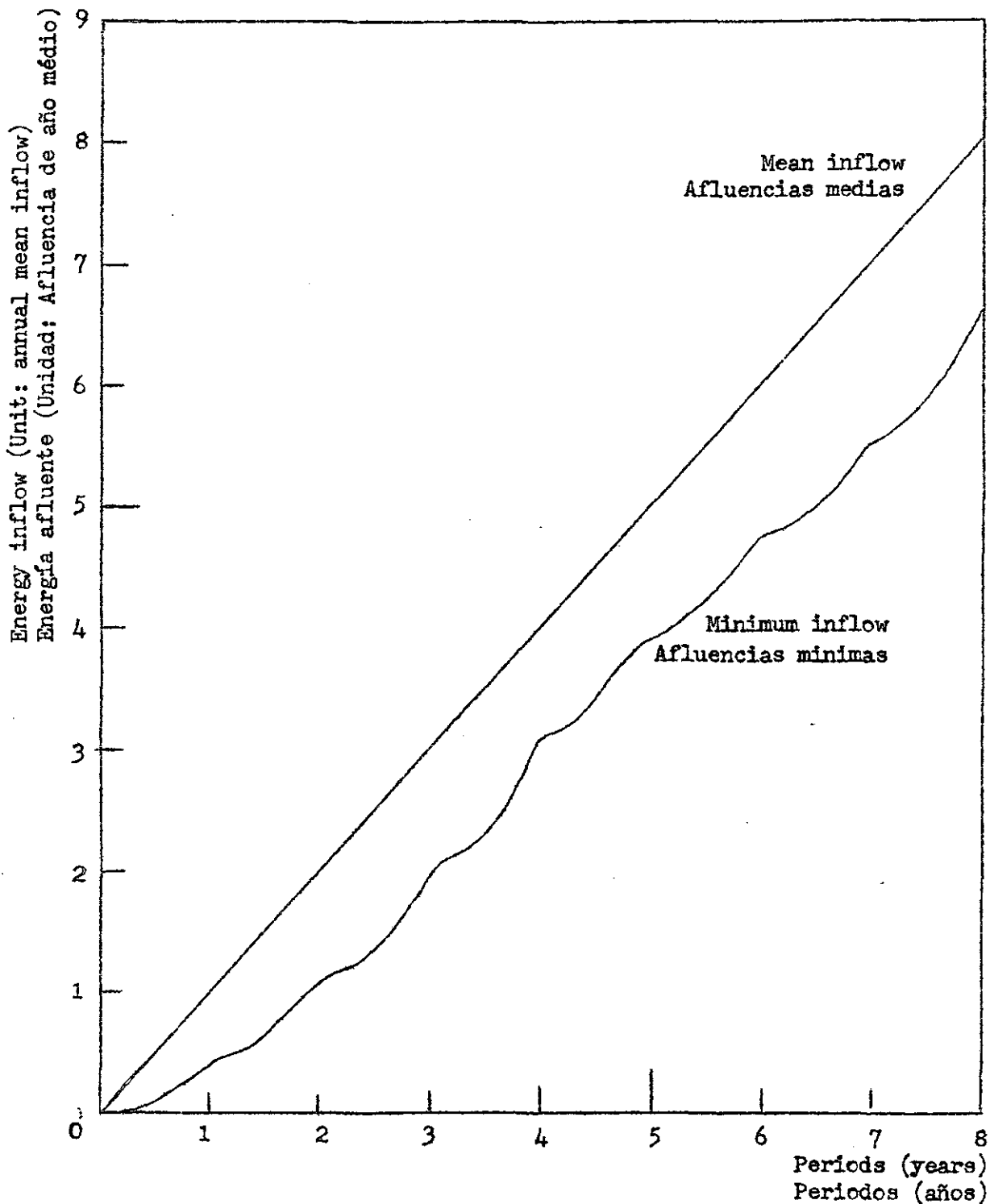




Figure II  
Gráfico II

CHARACTERISTICS OF REGULARIZATION FOR THE PORTUGUESE  
HYDROELECTRIC GENERATING SYSTEM  
CARACTERISTICA DE REGULARIZACION DEL SISTEMA PRODUCTOR  
HIDROELECTRICO PORTUGUES

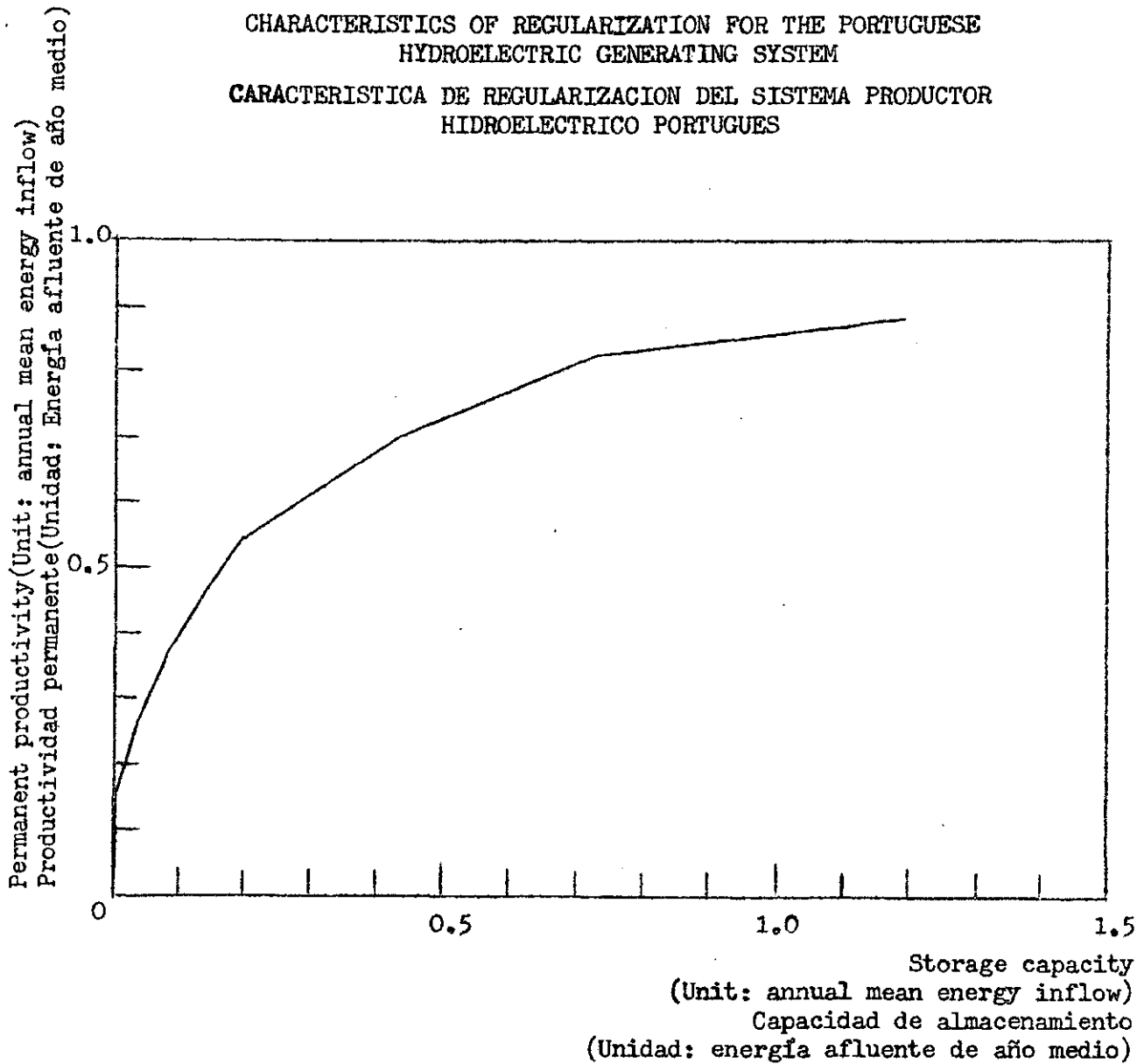






Figure III  
Gráfico III

CHARACTERISTICS OF REGULARIZATION FOR THE PORTUGUESE  
HYDROELECTRIC GENERATING SYSTEM,  
RESERVOIR CAPACITY AGAINST PERMANENT PRODUCTIVITY  
NECESIDAD DE REGULARIZACION DEL SISTEMA PRODUCTOR  
HIDROELECTRICO PORTUGUES,  
QUE SE REFIERE A CAPACIDAD ESTIVAL E INTERANUAL

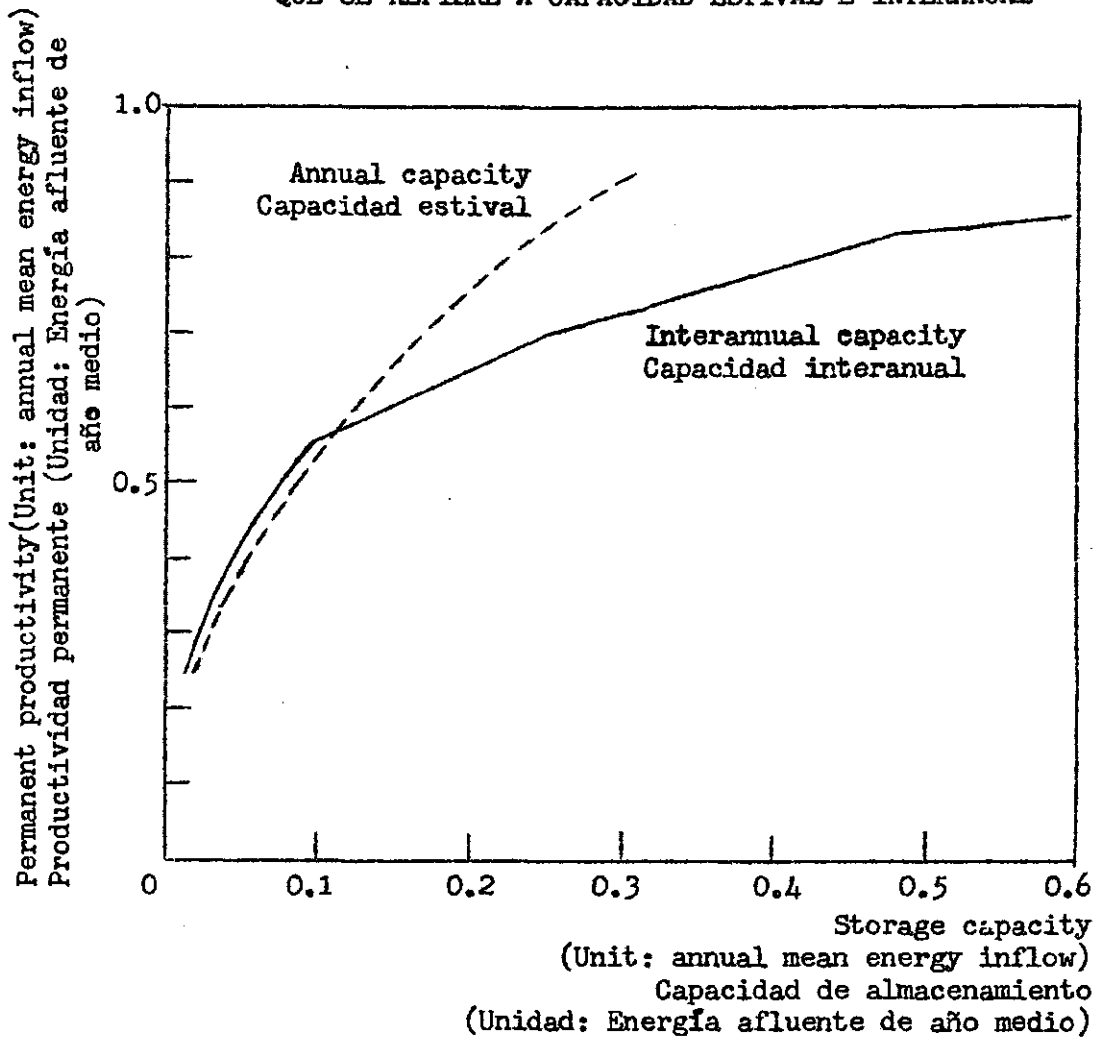




Figure IV  
Gráfico IV

HYDRAULIC ENERGY SURPLUS IN HUMID SEASON AND NEEDED DISCHARGE  
FROM RESERVOIRS IN THE DRY SEASON

DISTRIBUCION DE LOS EXCEDENTES DE ENERGIA HIDRAULICA EN LA ESTACION HUMEDA  
Y DE LOS AVENAMIENTOS NECESARIOS DURANTE LOS PERIODOS DE ESTIAJE

