

USO INTERNO
SRNE/77/10
Septiembre de 1977

PROYECTO DE INTERCONEXION ELECTRICA DEL ISTMO
CENTROAMERICANO

Informe de avance No. 2

11/11/2020
11/11/2020
11/11/2020

11/11/2020
11/11/2020

11/11/2020

INDICE

	<u>Página</u>
1. Introducción	1
2. Gestiones de apoyo técnico financiero	1
3. Estudios básicos sobre medios de generación y mercado	2
4. Estudios sobre modelos matemáticos y su implementación	3
5. Estudios de operación en el mediano plazo	3
6. Misceláneos	3
Anexo: Limitaciones técnicas en un sistema de potencia	5



1. Introducción

Se describen en este informe los adelantos realizados en el proyecto de referencia en el período comprendido entre junio y septiembre de 1977.

Durante este período se han continuado las acciones tendientes a concretar la participación financiera del BID y del PNUD. Al respecto, se lograron concretar las aportaciones del PNUD y asegurar la colaboración de la AIEA, CRNET y OCT con base en dicho financiamiento. Sin embargo, la aprobación del convenio BID-BCIE para la operación de los fondos asignados al proyecto ha resultado sumamente lenta, lo que a su vez afecta la concertación del acuerdo consiguiente BCIE-CEPAL. Motivado en parte por las razones anteriores y exceptuando la colaboración de un consultor en proyectos hidroeléctricos por un período de tres meses, no se ha logrado integrar el equipo completo de trabajo previsto en la CEPAL.

En los aspectos técnicos se ha avanzado en la definición de costos y características técnicas de proyectos hidroeléctricos, en la recolección de antecedentes para los estudios de mercado, en la evaluación del potencial geotérmico, en la modificación, implementación e inicio de la operación del Modelo WASP y en la formación de los archivos de los países aislados.

2. Gestiones de apoyo técnico financiero

Se han realizado una multiplicidad de gestiones a distintos niveles tendientes a concretar el apoyo técnico-económico acordado en la reunión interagencial BCIE-PNUD-BID-BIRF-CEPAL del 10. de abril mencionada en el Informe de Avance número 1 anterior con los siguientes resultados:

a) Se formalizó la colaboración del PNUD que cubre el financiamiento de:

- i) La extensión del contrato del ingeniero Hernán García hasta fines de septiembre de 1978;
- ii) Las actividades de apoyo de parte de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) sobre las modificaciones al Modelo WASP, y
- iii) El estudio sobre el potencial geotérmico regional de parte del Centro de Recursos Naturales, Energía y Transporte (CRNET) y de la Oficina de Cooperación Técnica (OCT), ambas de Naciones Unidas.

/b) Se han

b) Se han realizado avances significativos pero muy lentos en la concertación del convenio BID-BCIE para el financiamiento de:

- i) La colaboración de la Empresa Nacional de Electricidad de Chile (ENDESA) mediante la asignación del ingeniero Esteban Skoknic al grupo de trabajo de la CEPAL;
- ii) La elaboración por firmas consultoras de los estudios sobre costos de los medios de generación hidro-térmicos, proyecciones de la demanda y sistemas de transmisión y de despacho.

Se esperan resultados más positivos a corto plazo.

c) Se ha logrado un acuerdo en principio sobre el modus operandi del acuerdo BCIE-CEPAL que se requiere como corolario del convenio BID-BCIE.

3. Estudios básicos sobre medios de generación y mercado

Mediante un contrato por tres meses de un experto en desarrollo de recursos hidroeléctricos (Clicerio González)^{1/} prácticamente se completó la recopilación, evaluación y sistematización de los antecedentes de los proyectos hidroeléctricos que serán incluidos en el estudio y que comprenden los aspectos técnicos, la disponibilidad de información hidrológica y los costos unitarios.

Se elaboró el documento titulado Recursos hidroeléctricos en el Istmo Centroamericano y México (SRNE/77/9).

Se adelantó en la recopilación de datos para el estudio de mercado que será entregado a consultores mediante la preparación de un juego de formularios especiales que están siendo completados por los países.

Se comenzó el estudio del factor de diversidad existente entre los sistemas del Istmo con datos de demanda del año 1976, el que no se ha podido completar por falta de datos en un país.

Se continuaron los estudios sobre el potencial geotérmico regional por el grupo ad-hoc CRNET-PNUD-CEPAL habiéndose completado los siguientes documentos: Geothermal Resources of Central America Compilation of Available Data (S. Einarsson) y The United Nations' Approach to Geothermal Resources Assessment (J. McNitt). Se espera completar el informe final

^{1/} Exfuncionario de la Comisión Federal de Electricidad, financiado con fondos de la CEPAL.

para el tercer trimestre del presente año y al respecto, se está programando una reunión del Grupo Regional de Energía Geotérmica (GREG) para su discusión y aprobación en su caso.

4. Estudios sobre modelos matemáticos y su implementación

Se comenzaron a probar los diversos programas del Modelo WASP, completándose exitosamente la operación de los modelos LOADSY (proyecciones de demanda), FIXSYS (sistema de generación existente) y VARSYS (alternativas de generación por desarrollar) en el computador del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).

Se está preparando un programa auxiliar para la definición matemática de las curvas de carga.

Se estudiaron las modificaciones que deberán introducirse al Modelo WASP --para obtener una representación individual de las centrales hidroeléctricas-- las que fueron aceptadas, en principio por la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA). Se elaboró un documento provisional titulado Proposiciones generales para modificar al Modelo WASP (SRNE/77/11), y se tradujo al castellano el artículo de la AIEA denominado Limitaciones técnicas a un sistema de potencia sobre criterios de seguridad. (Véase el anexo 1.)

5. Estudios de operación en el mediano plazo

Se prepararon los archivos que describen el sistema termoeléctrico existente en cada país al inicio del estudio y se enviaron a las empresas eléctricas para su verificación.

6. Misceláneos

Debido al retraso en la concertación del convenio BID-BCIE, así como la demora en completar el cuadro de personal básico en la CEPAL antes mencionados, la terminación del estudio se pospondrá cuando menos hasta el fin del próximo año. La reprogramación definitiva se hará tan pronto se concreten las fechas en que los acuerdos básicos sean efectivos.

/Se han

Se han adelantado gestiones para reforzar el personal de la CEPAL asignado a este estudio mediante: el nombramiento de un funcionario de tipo permanente para llenar la vacante dejada por el ingeniero Enrique Aguilar y la contratación de un hidrólogo por corto plazo.

Los ingenieros Ricardo Arosemena y Hernán García aprovecharon la baja de actividades anotada para tomar vacaciones pendientes de 16 y 29 días laborables respectivamente.

Anexo 1

LIMITACIONES TECNICAS EN UN SISTEMA DE POTENCIA^{1/}

1. Límite técnico para la unidad generadora mayor

a) Condiciones de operación estables para el sistema de potencia.

La operación de un sistema de potencia en régimen permanente normal no impone, en general, limitaciones al tamaño de la unidad generadora más grande. Las condiciones normales incluyen tanto las situaciones de carga máxima y mínima en cualquier fecha del período de estudio como los programas de mantenimiento de las líneas de transmisión y de los equipos asociados. En régimen permanente normal el sistema debe ser capaz de suministrar los flujos de potencia activa y reactiva sin exceder los límites térmicos de las líneas de transmisión y de los equipos, manteniendo tanto los voltajes como los factores de potencia dentro de los límites especificados para cada una de las barras del sistema. En la etapa de planificación del sistema de potencia la capacidad de generación que puede ser concentrada en las barras y la capacidad de transmisión de las líneas y de los equipos asociados puede obtenerse por un simple balance entre la producción y la demanda. La magnitud de los bloques de potencia que deben transmitirse a una distancia determinada define el nivel de voltaje que debe usarse para las líneas de transmisión. La operación de un sistema de potencia en condiciones de régimen permanente a una frecuencia más baja o por sobre la nominal no es usual ni tampoco es una práctica deseable. En caso de necesidad (por ejemplo en el caso en que se desea racionar energía mediante el efecto combinado de bajar tanto la frecuencia como el voltaje) la transición desde condiciones normales a condiciones de baja frecuencia puede alcanzarse sin poner en peligro la estabilidad general del sistema de potencia si ello se hace en forma lenta y suavemente controlada.

^{1/} Traducción del apéndice H del informe "Nuclear Power Planning Study for Indonesia", AIEA, 1976.

b) Condiciones transientes en el sistema de potencia. Las condiciones de operación transiente de un sistema eléctrico de potencia ocurren durante corto-circuitos, sobrevoltajes, bajovoltajes, pérdida súbita de generación o aumento súbito de la demanda. Los corto-circuitos producen sobrecorrientes y cambios de voltaje en el sistema que, en el caso de corto-circuitos graves cercanos a las unidades de generación, hacen variar grandemente la posición angular relativa de los rotores de los generadores (fenómeno llamado de estabilidad transiente o estabilidad potencia-ángulo). Esas son perturbaciones de corta duración (típicamente un segundo), y pueden ser mantenidas bajo control por medios tales como esquemas con relés y aparatos de reconexión. Las condiciones de sobrevoltaje y de bajovoltaje se manejan mediante el uso de aparatos de regulación y de protecciones bien conocidas. En general estos tipos de transiente no imponen límites a los tamaños de las unidades de generación. Estas anomalías en la operación son analizadas en la etapa de diseño detallado de la red eléctrica mediante programas de computador muy sofisticados. La pérdida súbita de una unidad de generación grande o una subida brusca de un gran bloque de carga introduce caídas perceptibles en la frecuencia media de un sistema eléctrico de potencia. Las variaciones de frecuencia transiente severas durante unos pocos segundos (5-7 segundos) puede poner en peligro la estabilidad general del sistema de potencia. Es por eso que hay un límite superior a la capacidad de generación que puede ser perdida súbitamente y, en consecuencia, al máximo tamaño de la unidad generadora en un sistema de potencia relativamente pequeño.

c) Criterio para estimar el tamaño máximo de la unidad generadora. Se sugiere que, durante los primeros 5-7 segundos de ocurrida una súbita pérdida de la unidad de generación mayor, el fenómeno transiente debe ser tal que la frecuencia del sistema no debe bajar más de un 3% aproximadamente. En el cálculo puede suponerse la potencia disponible (considerando el mantenimiento de unidades y otras que posiblemente se encuentren fuera por salidas forzadas) y condiciones de carga máxima. El programa de computación llamado FRESCO (Frequency Stability Code) está disponible en la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) para el cálculo de la caída de frecuencia. También está disponible el programa de computación llamado MASCO (Maintenance Schedule Code) para estimar el mantenimiento de las unidades de generación.

2. Racionamiento y reserva rodante

a) Racionamiento automático. Es la desconexión súbita de una carga del sistema de potencia ordenada por un aparato de protección. El racionamiento automático se usa como un remedio extremo para ayudar al sistema de potencia a recobrase de una severa caída en la frecuencia causada por la pérdida de una proporción importante de la capacidad de generación. En este caso la desconexión de carga es automáticamente comandada por relés de frecuencia instalados en puntos seleccionados de la red de distribución que operan cuando ocurre una caída de frecuencia predeterminada.

b) Racionamiento intrínseco. Este fenómeno ocurre en todo el sistema de potencia durante la caída de frecuencia debido al hecho de que las cargas son sensibles a los cambios en la frecuencia y a las caídas en el voltaje que acompañan a las condiciones de baja frecuencia.

Debe notarse que los conceptos anotados más arriba son diferentes al tipo de racionamiento definido como "demanda suprimida".

La desconexión automática de carga en un rango de 4 y 5% puede ser considerada como ligera, en un rango del 8 y 10% es considerada moderada y en un rango de 12 al 15% se considera severa.

La reserva rodante es la capacidad disponible no utilizada de la capacidad total de generación conectada a la red en un momento determinado. La reserva rodante provee capacidad al sistema de potencia para regular los cambios lentos de la carga.

La reserva rodante rápida es la porción de la reserva rodante que está disponible dentro de unos pocos segundos (aproximadamente 10 segundos) después de una pérdida súbita de generación. La reserva rodante rápida proporciona capacidad al sistema de potencia para reestaurar la frecuencia a valores normales después de pérdida súbita de generación.

La reserva rodante y el margen de reserva son conceptos diferentes. Esta última es la diferencia entre la capacidad total instalada en el sistema y la demanda pico en el período considerado. El margen de reserva incluye también reserva para mantenimiento y salidas forzadas de las unidades de generación y consecuentemente es mayor que la reserva rodante.

/La capacidad

La capacidad "stand-by" es la capacidad de generación que no está sincronizada en el sistema pero puede ser conectada (para evitar racionamientos prolongados o para restaurar el nivel de reserva rodante deseado) después de una falla de una unidad de generación. Las turbinas de gas se usan como unidades "stand-by" de partida rápida y pueden ser puestas en movimiento, sincronizadas y tomar cargas completas en unos pocos minutos.

3. Reserva rodante rápida proporcionada por diferentes tipos de plantas

a) Plantas nucleares de potencia. No hay suficiente experiencia de operación de plantas nucleares trabajando para regular la frecuencia y por lo tanto sólo pueden hacerse estimaciones tentativas con respecto a su capacidad de reserva rodante. Según los fabricantes de reactores pueden utilizarse las siguientes guías como capacidad de reserva rodante rápida:

<u>Tipo</u> ^{2/}	<u>Capacidad de reserva rodante rápida</u>
BWR y SGHWR	10% de la capacidad nominal
PWR y CANDU	5% de la capacidad nominal

b) Plantas de vapor a combustibles fósiles. La reserva rodante rápida de los turbos-generadores a vapor está suministrada por la energía almacenada en la caldera y en los sistemas de vapor, y alcanza a sólo una fracción de la capacidad nominal del turbo-generador, ya que las tasas de ignición de la caldera pueden aumentarse sólo en forma segura a razón de 5% a 10% de la capacidad nominal por minuto. En aquellas unidades sin recalentamiento la respuesta de la turbina puede ser despreciada y puede obtenerse alrededor de un 10% de la capacidad de funcionamiento como una reserva rodante rápida en alrededor de un segundo. En unidades que tienen recalentamiento, alrededor del 10% de la capacidad está disponible como reserva rodante rápida, pero la respuesta de la turbina es más lenta y alrededor del 70% de la reserva rodante rápida se retrasa unos 5 a 10 segundos.

^{2/} BWR: Boiling Water Reactor
 PWR: Pressurised Water Reactor
 SGHWR: Steam Generating Heavy Water Reactor
 CANDU: Canadian Deuterium Uranium

Las plantas de petróleo, de gas y de carbón se diseñan generalmente para seguimiento de la carga y pueden en consecuencia proporcionar una reserva rodante rápida. Las plantas que queman lignito normalmente no están diseñadas para regular las variaciones de carga. Debe enfatizarse que la reserva rodante rápida es en general más baja que (y en el mejor de los casos igual a) la capacidad no usada de la unidad.

c) Máquinas de combustión interna. Las turbinas de gas y las máquinas diesel responden en forma muy rápida a la demanda de potencia porque sus reguladores de velocidad controlan directamente el aumento del flujo de combustible en la máquina y la reserva rodante rápida está limitada sólo por la potencia nominal de la unidad y su nivel de carga antes de la perturbación. Estas unidades pueden ser tratadas como unidades de vapor no recalentado.

d) Plantas hidroeléctricas. La reserva rodante rápida de las plantas hidroeléctricas es igual a la capacidad no utilizada de la unidad. Sin embargo, no está disponible tan pronto como en el caso de las unidades térmicas. Ello se debe a la inercia mecánica de las partes móviles de las turbinas (inyectores en las ruedas Pelton, distribuidor en las turbinas Francis y palas móviles del rodete y distribuidor en las unidades Kaplan), la inercia del agua en sí misma en el sistema de toma y los amortiguamientos introducidos intencionalmente en los reguladores de velocidad para evitar efectos de golpe de ariete en las tuberías. Como resultado, hay una constante de tiempo relativamente larga en la reserva rodante rápida de las plantas hidroeléctricas. Las plantas hidroeléctricas de emergencia y la capacidad no utilizada de las plantas hidroeléctricas normales constituyen reserva rodante rápida hidráulica. Las plantas de bombeo que trabajan generando también pueden proveer reserva rodante rápida hidroeléctrica si ellas están funcionando a capacidades parciales (por supuesto la capacidad no utilizada debe estar sincronizada a la red).^{3/}

^{3/} La desconexión de las plantas de bombeo que trabajan bombeando proporciona también reserva rotatoria rápida.

4. Orden de carga

El orden de carga de una configuración de plantas determinada en la curva de duración de carga para un período determinado es un promedio (sobre el período) que representa el valor esperado del despacho de carga diario. El despacho de carga diario se hace en la práctica tomando en cuenta una serie de datos a nivel horario y de acuerdo a la predicción de demanda en cada una de las barras del sistema, el mantenimiento de las unidades, los requerimientos de reserva rodante del sistema, las limitaciones de las plantas hidroeléctricas, los costos de partida y detención de unidades, la eficiencia de las unidades y los costos de combustible. En sistemas pequeños que están servidos por unidades relativamente grandes el requerimiento de reserva rodante es probablemente la restricción técnica más relevante por ser considerada en el orden de carga, así como el costo del combustible es el factor principal en la operación económica del sistema. Ambos, la reserva rodante y el costo de combustible, deben ser tomados en cuenta cuando se especifica el orden de carga. Una aproximación que permite acercarse a un compromiso entre esos dos factores es partir con un orden de carga puramente económico basado en el costo del combustible de las plantas de generación y verificarlo o modificarlo de tal manera que provea una reserva rodante rápida deseable, si es posible, a todos los niveles de carga. El orden de carga resultante tendrá consecuentemente costos de combustible más grande que el correspondiente a un orden de carga puramente económico. El programa de computación LORD (Loading Order) puede ayudar en la definición del orden de carga.



