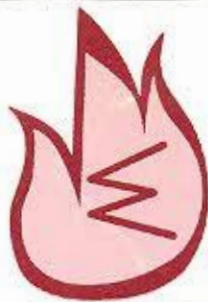


# Revista Energética



# Energy Magazine

Edición Especial  
Special Edition

**Año 16**  
**número 2**  
**mayo - agosto 1992**

**Year 16**  
**number 2**  
**May - August 1992**



**Tema:** 21 de agosto: "Día de la Integración  
Energética de América Latina y El Caribe"

**Topic:** August 21: "Latin American and Caribbean  
Energy Integration Day"



# INTERCONEXIONES ENTRE SISTEMAS ELECTRICOS DE PAISES EN DESARROLLO\*

Gonzalo Arroyo Aguilera \*\*

## PRESENTACION

En un foro reciente, convocado de manera conjunta por el Banco Mundial y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) [1] se señaló que los países de América Latina y El Caribe demandarán 20,000 millones de dólares anuales durante los próximos cinco años para poder concretar los planes de expansión definidos en la actualidad. Asimismo se indicó la imposibilidad de que los organismos financieros multilaterales puedan canalizar ese monto de recursos de manera específica al sector eléctrico; se analizaron diversas opciones para coadyuvar a resolver la crisis institucional y financiera que enfrenta el sector en la presente década. Cabe mencionar que incluso en varios países hay riesgos de que haya desabastecimiento, particularmente en condiciones de hidraulicidad baja.

Un aspecto que se tocó colateralmente, y que es necesario profundizar para ayudar a enfrentar la crisis, es el relativo a las interconexiones internacionales. Contar con metodologías ágiles para cuantificar los costos y los beneficios de planificar y operar de manera coordinada los

---

*Para propósitos de referencia, e insistencia sobre los beneficios de las interconexiones, conviene mencionar [1] que durante 1989, por problemas de sequía, se restringieron 2,700 GWh en Argentina y Uruguay, mientras que entre mediados de 1987 y fines de 1988 se rebalsó agua en Itaipú por un equivalente de más de 11,000 GWh*

---

\* Este trabajo fue preparado para presentarse en el "Seminario de Diagnóstico sobre Mejoramiento de las Herramientas de Planificación Eléctrica", en el marco del Proyecto de Cooperación OLADE/BID

\*\* Jefe de la Unidad de Energía CEPAL, Subsección en México

---

sistemas eléctricos de varios países ayudaría, sin duda, a promover las interconexiones. Por los beneficios técnicos y económicos que significaría, se considera necesario que los países de América Latina y El Caribe aumenten la integración energética en general y del subsector eléctrico en particular. En este trabajo se describen las interconexiones internacionales existentes en el Istmo Centroamericano y dos proyectos recientes que involucran a dicha región: a) la construcción de una línea de 500 kV, con longitud total de 1,700 km (proyecto SIPAC), y b) el estudio de prefactibilidad para interconectar los sistemas eléctricos de Colombia, Venezuela, Istmo Centroamericano y México.

Con base en los aspectos conceptuales y en la experiencia existente en la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y El Caribe (CEPAL), referente a las interconexiones en América Central, se formulan algunas reflexiones sobre desarrollos metodológicos adecuados que hacen falta para estudiar e impulsar las interconexiones internacionales en los países de América Latina y El Caribe.

## **EVOLUCION DE LAS INTERCONEXIONES EN AMERICA CENTRAL**

### **a. Características técnicas de los sistemas eléctricos del Istmo Centroamericano**

La capacidad instalada en el Istmo Centroamericano (ICA) asciende en 1991 a 4,126 MW; en 1990, la producción total fue de 14,229 GWh con una participación del 85% hidráulico, 5% geotérmica, y 10% térmica. (Ver Cuadro 1) En el Cuadro 1 también se incluyen los datos registrados en 1990, correspondientes a los sistemas eléctricos de los países del Grupo de los Tres (Colombia, México y Venezuela).

### **b. Evolución y situación actual de los sistemas interconectados**

En 1974, motivados por la crisis del petróleo, los países del Istmo Centroamericano decidieron realizar un estudio de alcance regional sobre la interconexión eléctrica, denominado Estudio Regional de Interconexión Eléctrica del Istmo Centroamericano (ERICA), con el objetivo de lograr un aprovechamiento más racional y eficiente de los recursos energéticos (hidroelectricidad y geotermia) disponibles en la región.

La ejecución del estudio se le encomendó a la Sección de Recursos Naturales, Energía y Transporte de la Subsección en México de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL). Participaron activamente en la tarea profesionales de las empresas eléctricas nacionales. El estudio, que se realizó entre 1975 y 1979, permitió:

- i) definir programas alternos de desarrollo eléctrico integrado;
- ii) estimar los beneficios económicos de la interconexión, e
- iii) identificar las acciones —bilaterales o regionales— por realizar en el futuro para llegar a la integración eléctrica total.

Los resultados principales del estudio se integraron en un documento,<sup>1</sup> del cual el Banco Mundial publicó un resumen.<sup>2</sup>

Aun cuando la culminación del ERICA coincidió con el inicio de la crisis económica y política en el Istmo —lo cual dificultó la adopción plena de las recomendaciones del estudio—, se realizaron avances significativos en la integración física del subsector durante el decenio siguiente.

**Cuadro 1**  
**ALGUNOS DATOS DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS, 1990**

	Capacidad Instalada (MW)	Demanda Máxima (MW)	Producción de Energía (GWh)			kWh/ Habitante	Nivel de Electrific. %	
			Total	Geo	Hidro			Térmica
MEXICO	25298	18807	114317	5124	23333	85860	1292	87
GUATEMALA	808	452	2319	—	2141	178	238	31
EL SALVADOR	650	412	2164	384	1642	139	328	48
HONDURAS	525	351	2272	—	2272	—	271	34
NICARAGUA a/	363	246	1308	386	401	521	266	38
COSTA RICA	889	682	3543	—	3497	46	1043	90
PANAMA	883	464	2623	—	2206	417	838	58
ISTMO CENTROAM.	4118	2608	14229	770	12158	1300	399	47
COLOMBIA	8312	5887	33685	—	27357	6328	1254 b/	85
VENEZUELA	18000	7959	54046	—	36698	19348	2881	90

FUENTE: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales

a/ Se estimó la demanda máxima de Nicaragua

b/ Dato correspondiente a 1989.

Desde 1976, por un proceso gradual basado en convenios bilaterales, los sistemas eléctricos nacionales han venido interconectándose entre sí. Tal proceso no culmina aún, ya que falta la línea para unir los sistemas de Honduras y El Salvador. En el aspecto técnico, el factor que más fuertemente ha marcado la operación interconectada es la debilidad, tanto de las propias redes nacionales, como de las líneas de interconexión.

Sin embargo, los problemas operativos han sido causa para mejorar la capacidad técnica de las empresas eléctricas, al obligarlas a buscar los medios para resolver dichos problemas. Por otra parte, pese a la existencia de las interconexiones, las empresas eléctricas continúan planificando la expansión de sus sistemas sin incluirlas; se planifica de manera separada, con un criterio de plena autonomía de suministro. Tal enfoque, explicable en gran medida por las incertidumbres derivadas de la inestabilidad política de la región, resulta en necesidades de

financiamiento considerablemente más altas que si el desarrollo se abordara de manera coordinada.

No obstante que la planificación se realiza en forma separada, se han producido, de 1980 a la fecha, transferencias internacionales de consideración. Las transferencias netas del decenio pasado alcanzaron en toda la región los 3,232 GWh. (Ver Cuadro 2)

Para propósitos de referencia, e insistencia sobre los beneficios de las interconexiones, conviene mencionar [1] que durante 1989, por problemas de sequía, se restringieron 2,700 GWh en Argentina y Uruguay, mientras que entre mediados de 1987 y fines de 1988 se rebalsó agua en Itaipú por un equivalente de más de 11,000 GWh. El costo social de la energía no servida fue de entre 675 y 1,350 millones de dólares. De haber existido una interconexión entre las principales centrales de la cuenca del Río de la Plata, se hubieran podido evitar esos apagones.

**Cuadro 2**  
**PRODUCCION E INTERCAMBIOS DE ENERGIA, 1980-1990**  
**(GWh)**

	Producción	Requerimiento Interno	Export.	Intercambio Import.	Neto
<b>TOTAL</b>	<b>120646</b>	<b>120644</b>	<b>3232.6</b>	<b>3230.7</b>	<b>2</b>
GUATEMALA	18475	18337	162	25	138
EL SALVADOR	18378	18516	26	163	-137
HONDURAS	15394	14198	1595	399	1196
NICARAGUA	11376	12584	70	1278	-1208
COSTA RICA	31349	31016	1230	897	333
PANAMA	25674	25993	149	469	-320

FUENTE: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

Nota: El bloque formado por Guatemala y El Salvador está aislado del formado por los otros cuatro países.

### c. Proyecto de operación coordinada

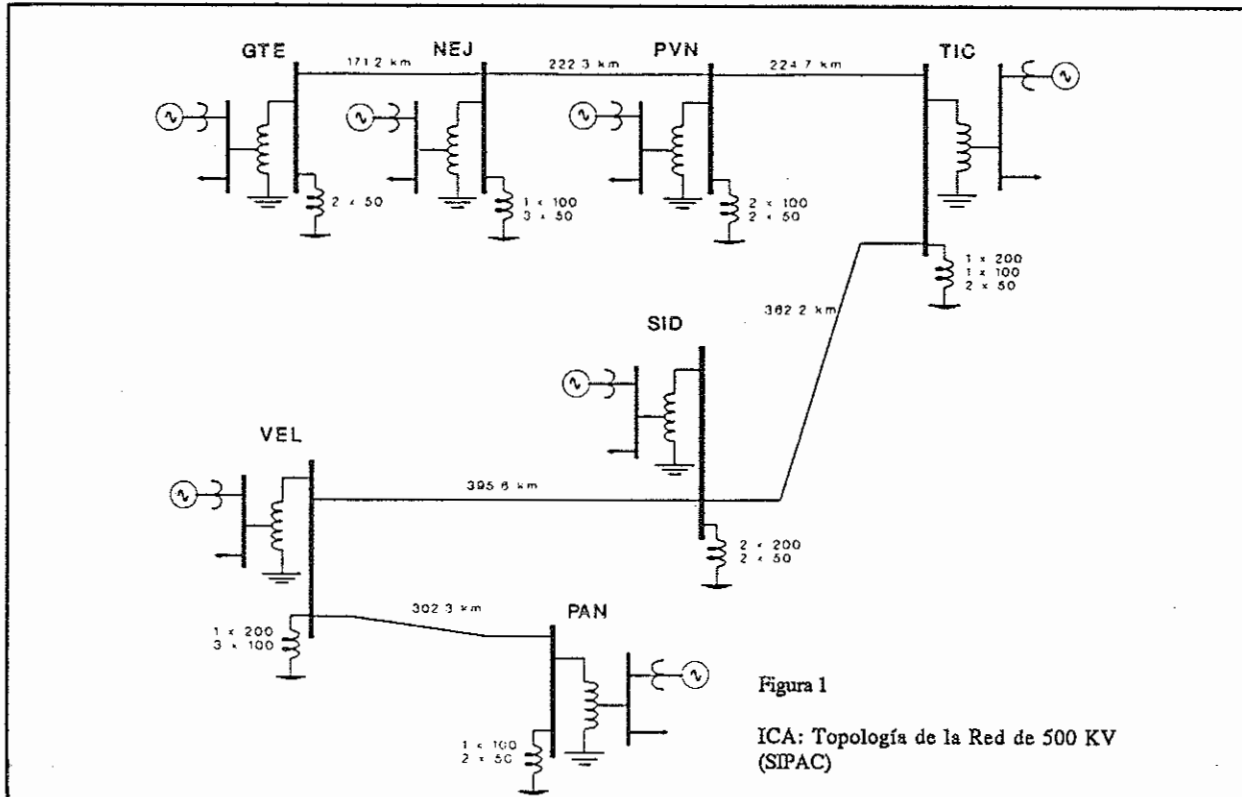
Se estima que en la presente década los excedentes de energía hidroeléctrica en los sistemas eléctricos de América Central serán mínimos, y que los únicos intercambios que se realizarían consistirían en apoyo en emergencias. Sin embargo, existe un margen considerable para obtener beneficios económicos mediante la operación coordinada de los sistemas interconectados del Istmo Centroamericano.

En la CEPAL se desarrolló un simulador digital interactivo para representar cada unidad generadora de los seis sistemas eléctricos de América Central y evaluar los requerimientos de combustible y los costos de producción, comparando si los sistemas operan de manera independiente frente a si operaran de manera coordinada. Los resultados obtenidos indican que se podrían concretar ahorros significativos si se lograra una operación coordinada para reemplazar la

producción de energía eléctrica con diesel de un país con la producida utilizando búnker de otro y repartiéndose los beneficios entre los sistemas que participaran en la transacción. Además de la parte técnica, es necesario superar una serie de cuestiones administrativas y contables para que las divisas y/o los combustibles asociados a la operación fluyan de manera ágil y directa entre las empresas eléctricas de los distintos países que participen.

### PROYECTO SIPAC [2]

Las empresas eléctricas de América Central y el Grupo ENDESA de España vienen estudiando, desde fines de 1987, el proyecto Sistema de Interconexión Eléctrica para América Central (SIPAC). Este consiste en la construcción de una línea de 500 kV, que iría desde Panamá hasta Guatemala, con una longitud total de 1,680 km. Comprende siete subestaciones, cada una de 500/230 kV, 300 MVA; una en cada país, excepto en



Panamá donde habría dos (Ver Figura 1). /3 El proyecto incluye seis centros de control para facilitar la explotación de la interconexión. El proyecto SIPAC se reformuló en mayo de 1991 para desarrollarlo en tres etapas, que permitirán que la red de interconexión se construya de manera gradual.

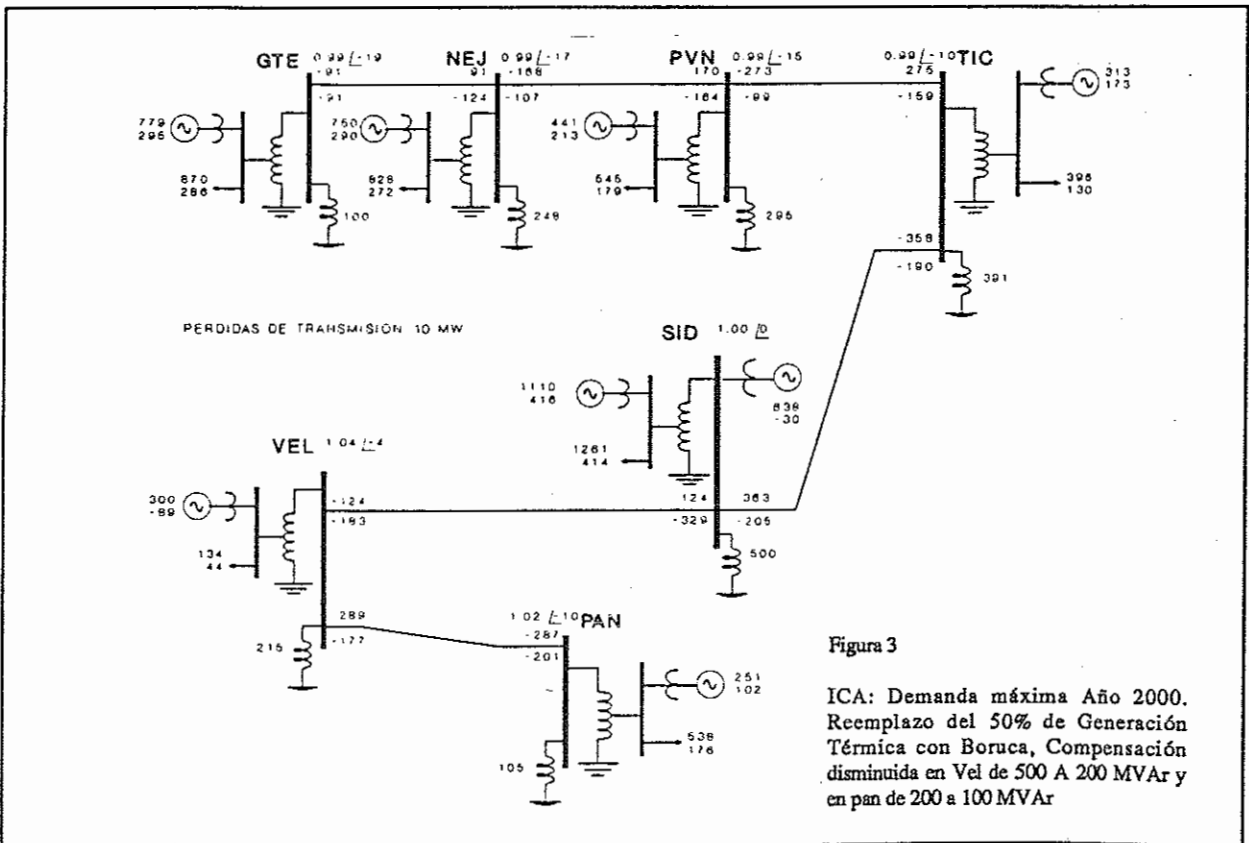
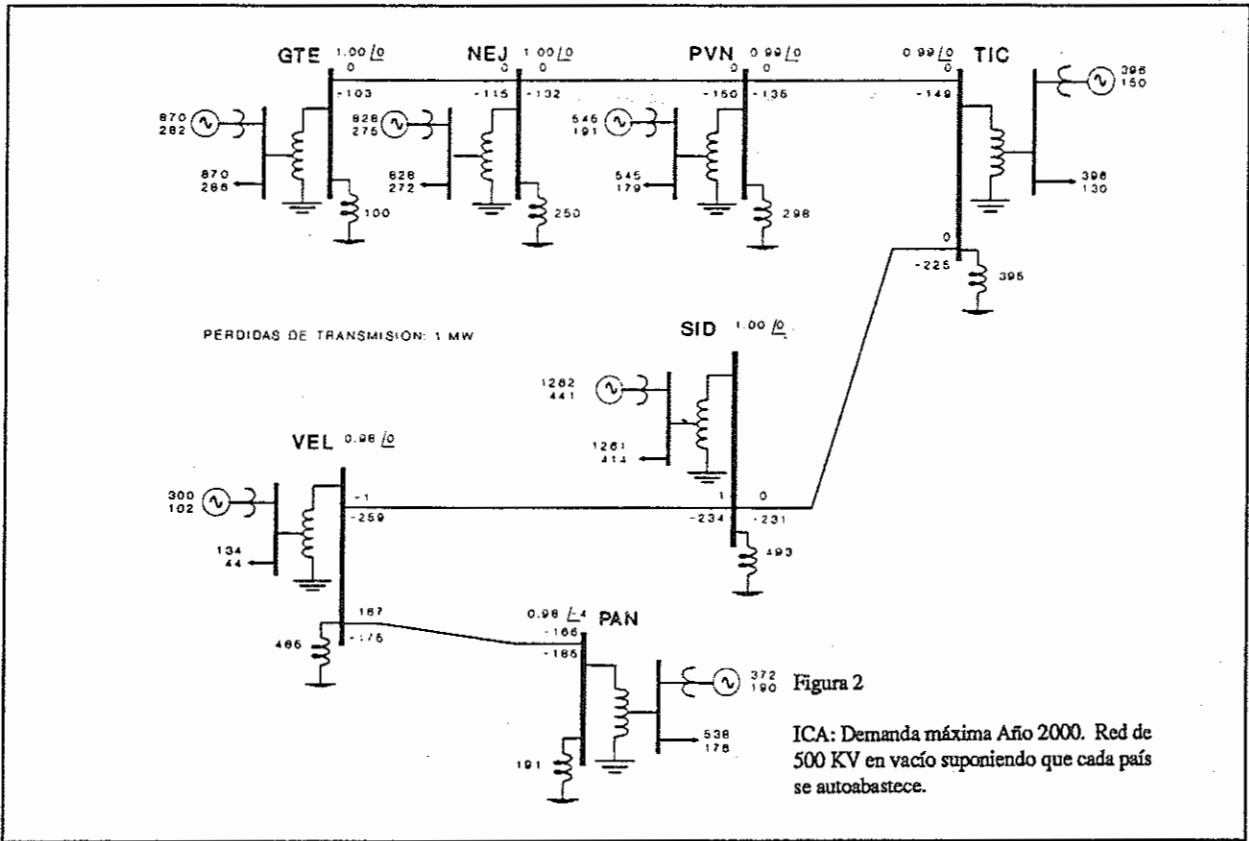
La primera fase consiste en reforzar los sistemas de transmisión nacionales mediante proyectos orientados principalmente a completar la interconexión eléctrica regional en 230 kV; tendrá una duración de tres a cuatro años y un costo estimado de 218 millones de dólares; esta fase incluirá financiamiento no reembolsable por un monto de 120 millones de dólares.

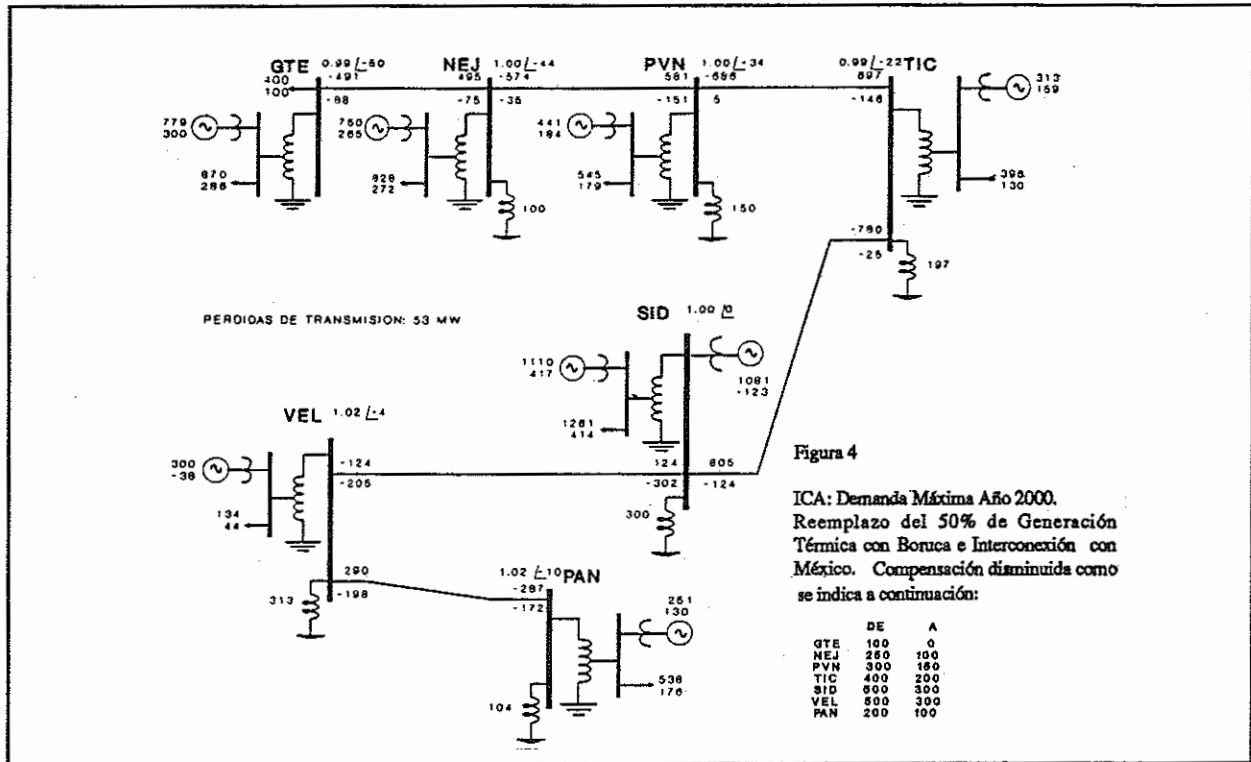
La segunda etapa consiste en construir la línea de 500 kv, operándola inicialmente a 230 kV; tendría un costo estimado en 232 millones de dólares y un plazo de ejecución de cuatro a cinco años. En la tercera fase se construirían las siete

subestaciones de 500/230 kV, para operar a 500 kV toda la red. El tiempo de ejecución para esta etapa sería de tres años, con un costo estimado de 160 millones de dólares.

Se ha avanzado en las gestiones de los países de la región ante el gobierno español para definir las características del eventual financiamiento. Asimismo, el Grupo ENDESA ha indagado ante el gobierno de su país, en especial con las autoridades del Quinto Centenario y ante la Comisión de Comunidades Europeas (CCE), sobre las posibilidades de obtener un financiamiento global para el proyecto.

Con el propósito de ilustrar algunos de los conceptos explicados en la primera parte de este trabajo, se simularon tres condiciones de operación para nivel de demanda máxima del año 2000: a) la red de 500 kV operando en vacío (Ver Figura 2); b) suponiendo que se construyera la central hidroeléctrica Boruca en Costa Rica y que se





aprovechara para reemplazar el 50% de la generación térmica en todos los países (Ver Figura 3), y c) suponiendo que, además de reemplazar el 50 % de la generación térmica en los seis países de América Central, se exportara lo máximo posible a México. Para esta última condición se supuso una carga en la barra de 500 kV de Guatemala, la cual representaría la exportación a México (Ver Figura 4).

La conclusión relevante es la necesidad de modificar la compensación reactiva en paralelo para poder lograr un perfil de voltaje adecuado; esta modificación, a su vez, significaría riesgos en caso de una contingencia, ya que podría quedar un efecto capacitivo muy elevado. Asimismo, se observa que se trata de una red con capacidad limitada para lograr transferencias de potencia de monto elevado de punto a punto, en la que las pérdidas y los ángulos aumentan rápidamente (Ver Figura 4). También, en caso de transferencias altas, ésta sería muy propensa a problemas de colapso de voltaje.

## ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA INTERCONEXION ELECTRICA DE COLOMBIA, VENEZUELA, ISTMO CENTROAMERICANO Y MEXICO [3]

### a. Antecedentes

El 30 de septiembre de 1990 tuvo lugar en Nueva York una reunión de los Presidentes del Grupo de los Tres. En ella se acordó impulsar la cooperación en la "cuenca energética" que forman esos tres países, incorporando a Centroamérica mediante proyectos concretos en los que se combinaran diversos recursos energéticos.

Los Presidentes del Grupo de los Tres instruyeron a los Ministros de Energía y Hacienda para: "...estudiar las potenciales complementariedades en generación, interconexión y distribución de hidroelectricidad, carbón y gas en



---

Colombia, México, Venezuela y Centroamérica, y evaluar la factibilidad de las iniciativas que hasta ahora se han planteado." /4

Con el fin de hacer operativa la decisión de los Presidentes del Grupo de los Tres, se estableció el Comité de Cooperación Energética, formado por los Viceministros de Energía de los tres países. El Comité efectuó su primera reunión en México, los días 29 y 30 de octubre de 1990; en ella se establecieron cuatro grupos de trabajo con el propósito de identificar proyectos y ejecutar acciones que permitan concretar la cooperación energética que favorezca la integración regional. Un grupo, coordinado por Colombia, se responsabilizó del tema del carbón; otro grupo quedó a cargo de los proyectos de gas, bajo la coordinación de Venezuela; los dos grupos restantes serán coordinados por México: uno con la responsabilidad de identificar los proyectos sobre plantas hidroeléctricas y el otro sobre la interconexión eléctrica. La coordinación de los grupos de trabajo se rotará anualmente entre los países. Los grupos de trabajo se integraron en diciembre de 1990 y se reunieron por primera vez en enero de 1991, con el propósito de elaborar un primer informe de los alcances de los trabajos en su tema respectivo.

#### **b. Enfoque del estudio**

El estudio de prefactibilidad cubrirá hasta un período de 30 años. Por tratarse de una primera aproximación para cuantificar los potenciales beneficios económicos de impulsar proyectos de generación y las redes de transmisión necesarias para transmitir los bloques de potencia y energía resultantes, la información también será de prefactibilidad o factibilidad, según se disponga en los países; es decir, no se requiere información de diseño sobre los proyectos.

Los estudios comprenderán análisis de balances oferta-demanda, tanto de potencia como de energía, para cada país con el propósito de identificar los costos de producción que pudieran hacer atractivos los intercambios de energía entre países. Asimismo, se efectuarán estudios eléctricos simplificados (únicamente flujos de potencia) para analizar la capacidad de las líneas de transmisión, en caso de existir, o los refuerzos y líneas nuevas necesarios para transferir los intercambios resultantes. Se evaluarán económicamente las distintas alternativas para seleccionar aquellas que resulten más atractivas. En resumen, se realizarán tres tipos de estudios:

- a. de energía (costos de producción);
- b. eléctricos (flujos de potencia); y,
- c. económicos.

En primera instancia se utilizarán los planes de expansión de generación existentes en cada país. Se integrará un catálogo de proyectos hidroeléctricos, geotérmicos y termoeléctricos, aprobado por los países participantes para generar distintos escenarios. Un complemento de dicho catálogo podría consistir en un manual de costos y parámetros de referencia que permitiría establecer un orden de prioridad para la programación de los proyectos. El más avanzado de los escenarios sería un ejercicio de planificación conjunta de las adiciones de generación. Se buscará definir escenarios posibles, por lo que resulta imprescindible la participación directa de los profesionales de cada país en la realización de los estudios.

Es importante señalar que todos estos escenarios se abordarían con un enfoque de análisis de sensibilidad, para lo cual se utilizaría el manual de costos mencionado, por lo que no implicaría ningún compromiso de los países para el ulterior desarrollo de los proyectos.

---

Con el propósito de disponer de una cartera de proyectos suficientemente revisada, se establecerá una interacción sistemática de consulta e intercambio de opiniones de los Grupos de Trabajo de Hidroelectricidad y de Carbón.

En el largo plazo, se establecería la estrategia de desarrollo para la generación y la transmisión asociada para las alternativas más atractivas. Se plantearía para cada estrategia de largo plazo una evolución gradual de los sistemas interconectados, es decir, los proyectos de generación y transmisión representarían peldaños de una evolución futura tendientes a lograr un objetivo estratégico. Es importante destacar, sin embargo, que no hay ninguna meta preestablecida de montos de potencia y energía a transferir; tampoco se tiene predefinida la dirección en que circularían los intercambios. De hecho, se trata de un estudio exploratorio y conceptual, sin dejar de reconocer que existen algunos países con vocación exportadora y otros con vocación importadora; ello en función de los enormes recursos naturales (hidroelectricidad y carbón) disponibles en los primeros y la necesidad alternativa de generar electricidad con hidrocarburos en los segundos.

Los estudios serán definidos y realizados en su parte técnica por profesionales de las empresas eléctricas participantes; se minimizará el uso de consultorías externas. Asimismo, se procurará utilizar herramientas digitales (software y hardware) disponibles en las empresas eléctricas. Con el propósito de lograr la máxima compatibilidad y poder distribuir el trabajo, resulta muy recomendable que los modelos puedan correr en computadoras personales.

El estudio se ha organizado en una serie de actividades preparatorias que consistirían básicamente en recolección de información, definición de criterios, determinación de recursos necesarios y gestiones para conseguir el

financiamiento del estudio de prefactibilidad.

Un beneficio adicional que resultará del estudio y que se abordará al inicio de las actividades preparatorias será en la uniformidad de acepciones y de criterios para los tipos de estudios que se ejecutarán y el dimensionamiento de los proyectos resultantes.

Los detalles técnicos, de organización y de costos están plasmados en el documento "Términos de referencia preliminares del estudio de prefactibilidad de la interconexión eléctrica de Colombia, Venezuela, Istmo Centroamericano y México", cuya formulación y revisión se realizó en diversas reuniones con participación de representantes de las empresas eléctricas del Grupo de los Tres y del Istmo Centroamericano.

### c. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones y recomendaciones que se enuncian a continuación están encaminadas a plantear aspectos que se estima necesario incorporar en las metodologías y en los enfoques para facilitar los estudios y concreción de proyectos de interconexión multinacionales.

#### Conclusiones

- Desde el punto de vista conceptual, las metodologías existentes para definir adiciones de generación pueden ser útiles para estudiar alternativas de expansión interconectada; sin embargo, su aplicación para este caso resulta laboriosa. Hace falta una metodología amigable que incorpore adecuadamente escenarios de integración.
- Un aspecto importante para impulsar la integración del sector eléctrico en los países de América Latina es el desarrollo de las metodologías. Sin embargo, existe un lastre

- político e institucional que impide alcanzar los niveles de integración que el sector eléctrico ha logrado en otras regiones del Mundo (países nórdicos, comunidad europea, etc.).
- En los sistemas eléctricos longitudinales, que son usualmente los que hay en los países en desarrollo, es necesario analizar cuidadosamente los aspectos eléctricos (Cargabilidad, comportamiento dinámico ante disturbios, balance de potencia reactiva, etc.) especialmente cuando dichos sistemas se interconectan.

### Recomendaciones

- Incorporar, en la medida de lo posible, en las herramientas mejoradas de planificación eléctrica que desarrolle OLADE, las máximas facilidades para analizar escenarios de integración y cuantificar los beneficios económicos que se lograrían al impulsar, de manera más decidida, las interconexiones eléctricas entre los países de América Latina y El Caribe.
- Incorporar en la metodología, o de manera conceptual en los manuales que se produzcan sobre las herramientas de planificación en el marco del proyecto SUPER/OLADE-BID, la consideración de los aspectos técnicos-eléctricos característicos de los sistemas longitudinales que predominan en los países en desarrollo. Asimismo, incorporar los aspectos de supervisión del comportamiento dinámico mediante la utilización de registradores de eventos adecuados para este tipo de fenómenos.
- Debido a que los estudios para planificar interconexiones internacionales demandan un conocimiento profundo de las características de los sistemas eléctricos involucrados, se recomienda que en la realización de los estudios intervengan, de manera decisiva e intensiva, los expertos en planificación de los sistemas eléctricos involucrados.

- Que los organismos internacionales y multilaterales apoyen la ejecución de estudios para cuantificar los beneficios que se obtendrían en la operación y planificación de los sistemas eléctricos si estos fuesen interconectados.
- Promover el intercambio de experiencias en proyectos de integración, particularmente en lo relativo a los aspectos contractuales, responsabilidad financiera y seguridad de pago cuando se construye algún proyecto en un país con recursos naturales abundantes y cuya producción se va a aprovechar en otro (s) país (es); por ejemplo, el proyecto de generación termoeléctrica en Bolivia, utilizando gas natural para exportar energía a Brasil.

### NOTAS

1. CEPAL, Estudio regional de interconexión eléctrica del Istmo Centroamericano (E/CEPAL/CCE/SC.5/135; CCE/SC.5/GRIE/VIII/3/Rev.2), septiembre de 1980.
2. Banco Mundial, Energy Department, Central America Power Interconnection: A Case Study in Integrated Planning, Paper number 15, abril de 1984.
3. Las subestaciones de 500/230 kV serían: GTE: Guatemala Este; NEJ: Nejapa en El Salvador; PVN: Pavana en Honduras; TIC: Ticuantepe en Nicaragua; SID: San Isidro en Costa Rica, y VEL: Veladero y PAN: Panamá en Panamá.
4. Véase, Declaración de los Presidentes del Grupo de los Tres, Nueva York, 30 de septiembre de 1990.
5. Efectuada en la ciudad de Caracas, Venezuela, los días 15 al 17 de mayo de 1991. Véase la *Mínuta de la Tercera Reunión del Comité de Cooperación Energética del Grupo de los Tres*

### REFERENCIAS

1. Boletín de la Comisión de Integración Eléctrica Regional, Año XXVI, No. 233, junio de 1990, págs. 4-9.
2. Grupo ENDESA, Asuntos Internacionales, Proyecto SIPAC. Perfil, julio de 1991.
3. CEPAL, Términos de Referencia. Estudio de Prefactibilidad de la Interconexión Eléctrica de Colombia, Venezuela, Istmo Centroamericano y México, agosto de 1990.

# INTERCONNECTIONS BETWEEN ELECTRIC SYSTEMS OF DEVELOPING COUNTRIES\*

Gonzalo Arroyo Aguilera \*\*

## PRESENTATION

At a recent forum, convened by the World Bank and the Latin American Energy Organization (OLADE), [1] it was pointed out that the Latin American and Caribbean countries will need 20 billion dollars a year during the next five years to carry out the currently established expansion plans. Likewise, the impossibility was pointed out of the multilateral financial bodies being able to channel this amount in a specific way to the electric sector. Different alternatives to help resolve the institutional and financial crisis the sector faces during this decade were also analyzed. We should mention that there even are several countries who face a possible lack of supplies, particularly under low hydraulic conditions.

Another aspect touched upon and which needs to be studied more in depth to help surmount the crisis, has to do with international interconnections. Agile methodologies to quantify the costs and benefits of planning and operating the electric systems of several countries in a

---

*As a point of reference — and to stress the benefits of interconnections — we should mention that [1] during 1989, due to problems caused by the drought, 2,700 GWh were restricted in Argentina and Uruguay, whereas from the middle of 1987 to the end of 1988, water was dammed up at Itaipú for an equivalent of 11,000 GWh*

---

\* This paper was prepared for the "Diagnosis on the Improvement of Electric Planning Tools" Seminar, within the framework of the OLADE/IDB Cooperation Project

\*\* Chief of the ECLA Energy Unit, Mexico sub-headquarters

---

coordinated way would undoubtedly help to promote interconnections. Due to the technical and economic benefits this would represent, it is necessary for Latin America and the Caribbean to increase energy integration in general and of the electric subsector in particular. In this paper the international interconnections that exist in the Central America Isthmus are described, as well as two recent projects involving that region: a) the construction of a 500 kV line, with a total length of 1,700 km (SIPAC project) and b), the pre-feasibility study to interconnect the Colombian, Venezuelan, Central American and Mexican electric systems.

Based on the conceptual aspects and the experiences of the United Nations' Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLA) regarding interconnections in Central America, some reflections are presented on the adequate methodological development needed to study and promote international interconnections in Latin America and the Caribbean.

## **EVOLUTION OF INTERCONNECTIONS IN CENTRAL AMERICA**

### **a. Technical characteristics of the Central American electric systems**

The installed capacity in the Central American Isthmus during 1991 amounted to 4,126 MW; in 1990, total production reached 14,229 GWh, with an 85% hydraulic contribution, 5% geothermal and 10% thermal (see Chart 1). Included also in Chart I are figures registered in 1990 with relation to the electric systems of the Group of the Three countries (Colombia, Mexico and Venezuela).

### **b. Evolution and current situation of the interconnected systems**

In 1974, spurred by the oil crisis, the Central American countries decided to carry out a regional study on electric interconnection, known as the Regional Study on Central American Electric Interconnection (ERICA). The purpose was to achieve a more rational and efficient use of the energy resources (hydropower and geothermal energy) available in the region.

The Natural Resources, Energy and Transportation Section of the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLA) was requested to carry out the study. Professionals from the national electric utilities participated actively in this task. This study, carried out between 1975 and 1979, achieved the following:

- i) definition of alternative integrated electric development programs;
- ii) assessment of the economic benefits of interconnection; and
- iii) identification of actions - bilateral or regional - to be carried out in the future to achieve total electric integration.

The main results of this study were incorporated in a document,<sup>1</sup> based on which the World Bank published a summary.<sup>2</sup>

Though the completion of the ERICA study coincided with the beginning of the economic and political crisis in the Isthmus — which hindered the full adoption of the recommendations of the study — several important advances were achieved during the following decade, in terms of the physical integration of the subsector.

**Table 1**  
**SELECTED DATA OF ELECTRIC POWER SYSTEMS, 1990**

	Installed Capacity (MW)	Maximum Demand (MW)	Energy Production (GWh)			kWh/ In Habitant	Level of Electrification %	
			Total	Geo	Hydro			
MEXICO	25298	18807	114317	5124	23333	85860	1292	87
GUATEMALA	808	452	2319	—	2141	178	238	31
EL SALVADOR	650	412	2164	384	1642	139	328	48
HONDURAS	525	351	2272	—	2272	—	271	34
NICARAGUA a/	363	246	1308	386	401	521	266	38
COSTA RICA	889	682	3543	—	3497	46	1043	90
PANAMA	883	464	2623	—	2206	417	838	58
C.AMERICAN ISTHMUS	4118	2608	14229	770	12158	1300	399	47
COLOMBIA	8312	5887	33685	—	27357	6328	1254 b/	85
VENEZUELA	18000	7959	54046	—	36698	19348	2881	90

SOURCE: ECLAC, on the basis of official figures  
a/ Maximum demand of Nicaragua was estimated  
b/ 1989 data

Since 1976, due to a gradual process based on bilateral agreements, the national electric systems began to interconnect among themselves. This process has still not been completed, since the line that would join the Honduras and El Salvador systems is still lacking. As to the technical aspects, the most striking factor in the interconnection operation is the weakness both of the national networks themselves, as well as of the interconnection lines.

However, the operational problems have also prompted an improvement in the technical capacity of the electric utilities, by compelling them to find the means to resolve these problems. On the other hand, in spite of the existence of interconnections, the electric utilities continue to plan the expansion of their systems without including them. Separate planning takes place, based on a criterion of complete autonomy in terms of supply. This approach, which in a large degree is understandable due to the uncertainties

arising from the region's political instability, has given way to considerably higher financing needs than if the development were carried out in a coordinated way.

Though planning is carried out separately, from 1980 to date considerable international transfers have taken place. Net transfers during the past decade amounted to 3,232 GWh throughout the entire region (see Chart 2).

As a point of reference — and to stress the benefits of interconnections — we should mention that [1] during 1989, due to problems caused by the drought, 2,700 GWh were restricted in Argentina and Uruguay, whereas from the middle of 1987 to the end of 1988, water was dammed up at Itaipú for an equivalent of 11,000 GWh. The social cost of unserved energy amounted to between 675 million and 1 billion 350 million dollars. Had there been an interconnection between the main plants along the Rio de la Plata basin, the blackouts could have been prevented.

**Table 2**  
**ENERGY PRODUCTION AND EXCHANGE, 1980-1990**  
**(GWh)**

	Production	Domestic Requirement	Export	Exchange Import	Net
<b>TOTAL</b>	<b>120646</b>	<b>120644</b>	<b>3232.6</b>	<b>3230.7</b>	<b>00</b>
GUATEMALA	18475	18337	162	25	138
EL SALVADOR	18378	18616	26	163	-137
HONDURAS	15394	14198	1595	399	1196
NICARAGUA	11376	12584	70	1278	-1208
COSTA RICA	31349	31016	1230	897	333
PANAMA	25674	25993	149	469	-320

SOURCE: ECLAC, on the basis of official figures

Note: The bloc formed by Guatemala and El Salvador is isolated from that formed by the other four countries.

### c. Coordinated operations project

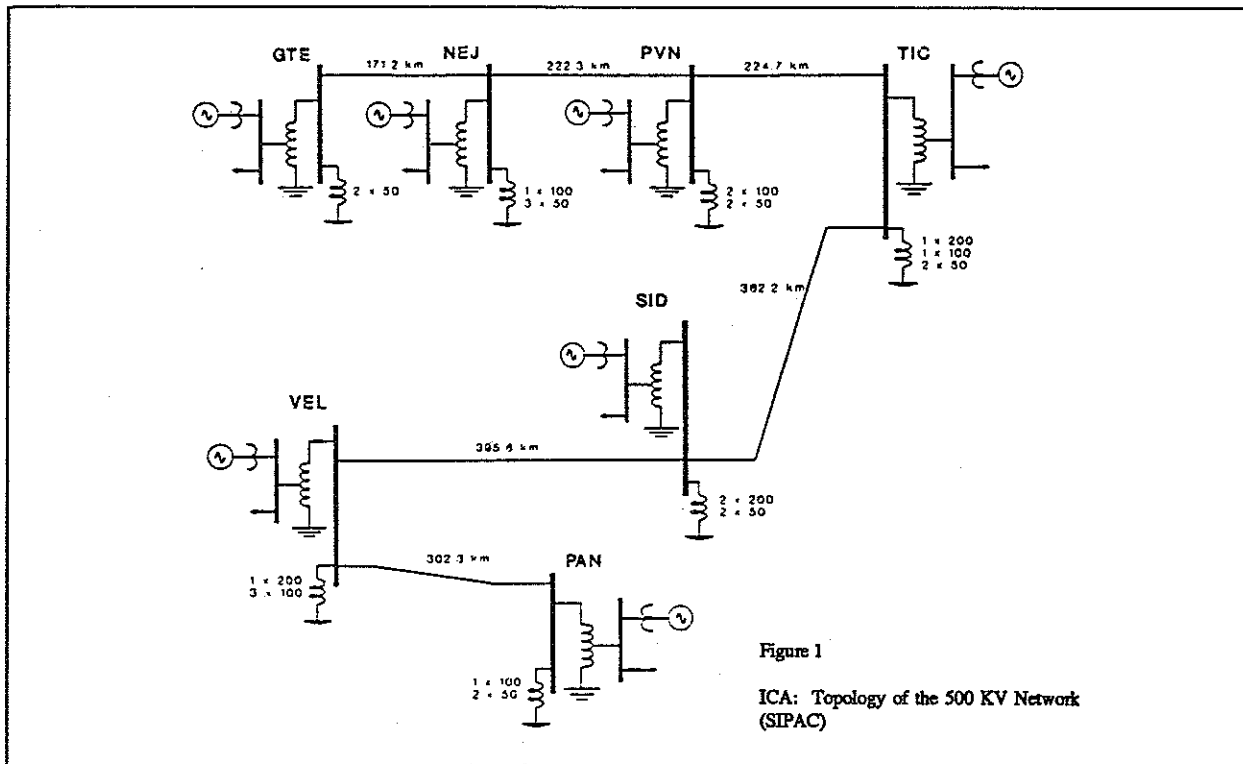
It is estimated that during this decade there will be minimal hydropower surpluses in the Central American electric systems and that the only exchanges that will take place will consist of emergency support. However, a considerable margin does exist to be able to obtain economic benefits through the coordinated operation of the Central American interconnected systems.

ECLA developed an interactive digital simulator to represent each generator unit of the six Central American electric systems and to assess the fuel requirements and production costs, comparing the independent operation of the systems vis-à-vis a coordinated operation. The results obtained indicate that significant savings could be achieved if a coordinated operation could be accomplished, replacing diesel generated electric power production in one country with the

bunker generated production from another. Systems participating in the arrangement would equally share the benefits. In addition to the technical part, a series of administrative and accounting matters would have to be dealt with so that the foreign currency and/or fuels associated with the operation are able to flow in an agile and direct manner between the electric utilities of the different participating countries.

### SIPAC PROJECT [2]

Since 1987, the Central American electric utilities and the Spanish ENDESA Group have been studying the Electric Interconnection System for Central America (SIPAC). This involves the construction of a 500 kV line from Panama to Guatemala, with a total length of 1,680 km. It includes seven sub-stations, each of 500/230 kV, 300 MVA, one in each country, with the exception



of Panama, where there would be two (see Figure 1).<sup>3</sup> The project includes six control centers to facilitate the development of the interconnection. The SIPAC project was reformulated in May 1991, to develop it in three stages that would allow the interconnection network to be built in a gradual manner.

The first stage involves reinforcing the national transmission systems through projects aimed mainly at completing the regional electrical interconnection in 230 kV. It covers a three to four-year period and its estimated cost is 218 million dollars. This stage will include non-reimbursable financing for an amount of 120 million dollars.

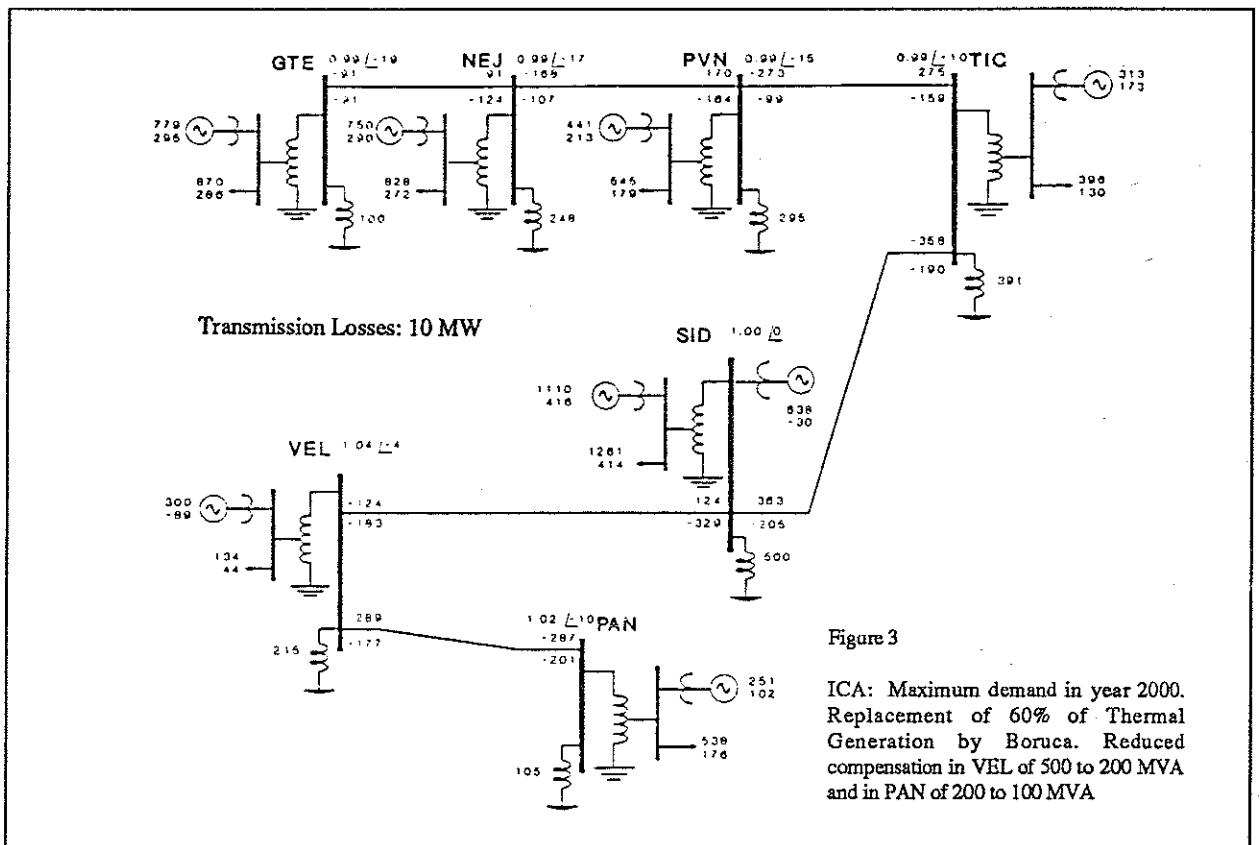
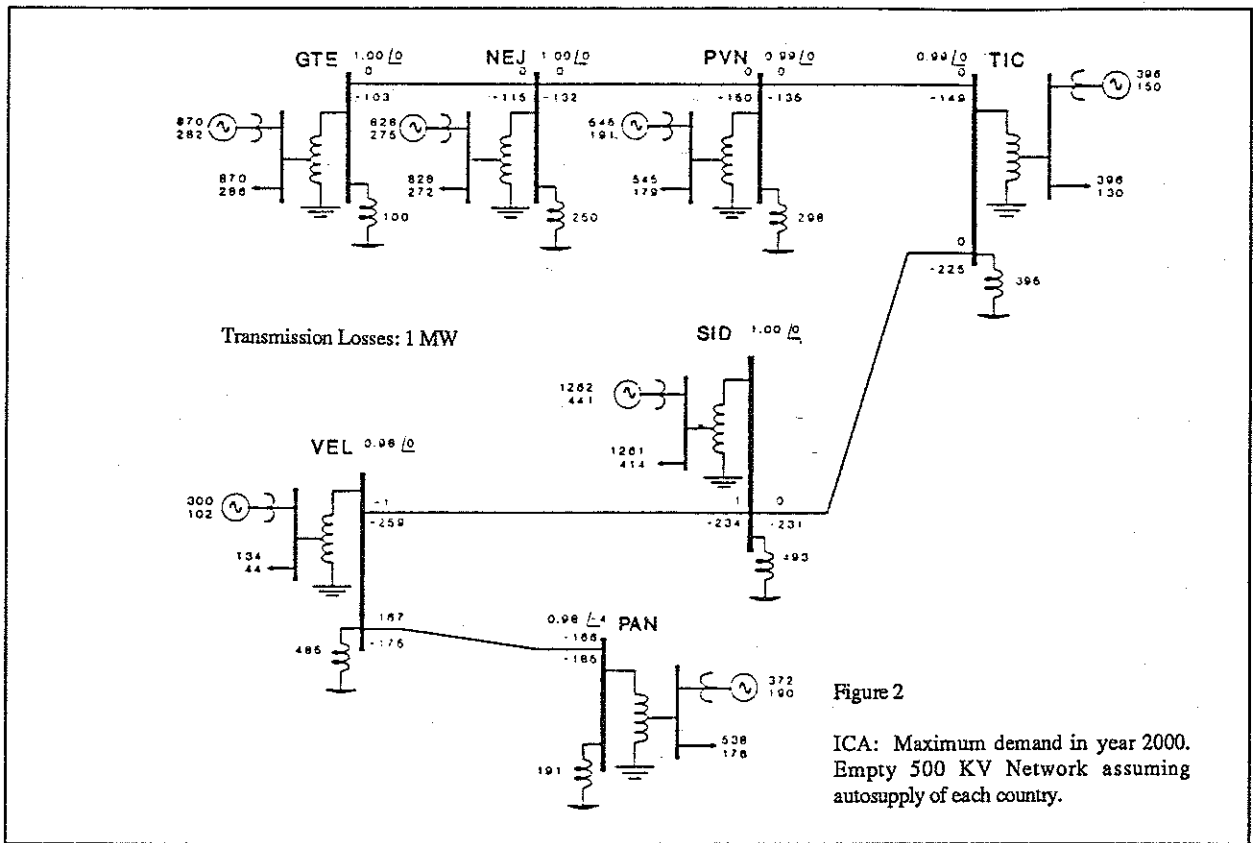
The second stage involves building the 500 kV line and operating it initially at 230 kV. The estimated cost is 232 million dollars with an implementation period of four to five years. During the third stage, the seven 500/230 kV sub-

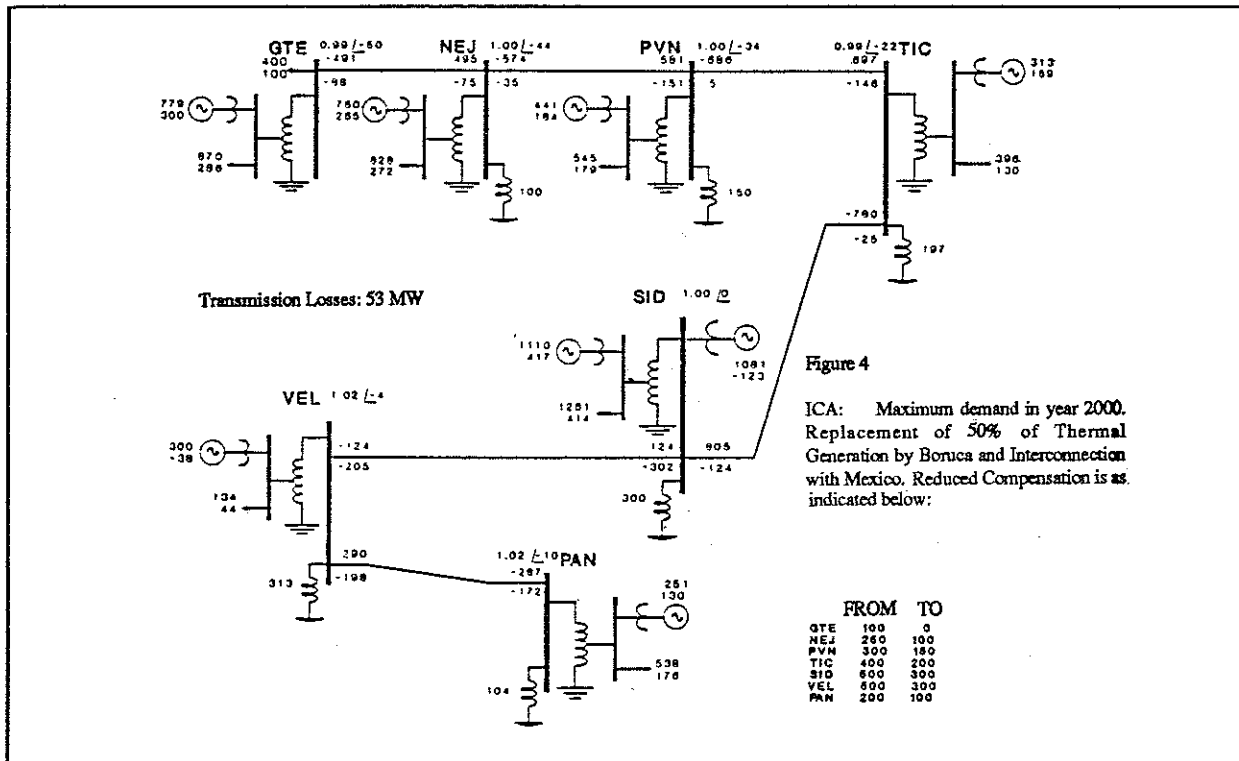
stations would be built, to enable the entire network to operate at 500 kV. The implementation period for this stage would be three years, with an estimated cost of 160 million dollars.

The countries from the region have started to negotiate with the Spanish government to define the characteristics of the eventual financing. Likewise, the ENDESA Group has explored with the Spanish government, and especially with the Fifth Centennial authorities and the Commission of European Communities (CEC), the possibilities for global financing of the project.

To illustrate the concepts explained in the first part of this paper, three operational conditions were simulated for the maximum demand level by the year 2000: a) the 500 kV network operating in a vacuum (see Figure 2); b) assuming that the Boruca hydropower plant would be built in Costa Rica and advantage would be







taken of this to replace 50% of the thermal generation of all the countries (see Figure 3), and c) assuming that, in addition to replacing 50% of the Central American countries' thermal generation, as much as possible would be exported to Mexico. For this last condition a bar load of 500 kV from Guatemala was assumed, which would represent the exports to Mexico (see Figure 4).

The most relevant conclusion is the need to modify the parallel reactive compensation to achieve an adequate voltage profile. This modification, in turn, would involve risks in the event of a contingency, since there could be a very high capacitive effect. Likewise, it should be noted that this is a network with limited capacity in achieving high amounts of power transfers from one point to another, where losses and angles can quickly increase (see Figure 4). In the case of large transfers, it would also be inclined to problems of voltage collapse.

## PRE-FEASIBILITY STUDY FOR ELECTRIC INTERCONNECTION BETWEEN COLOMBIA, VENEZUELA, CENTRAL AMERICA AND MEXICO [3]

### a. Background

On 30 September 1990, a meeting of the presidents of the Group of the Three took place in New York. At this meeting, they decided to promote the cooperation of the "energy basin" formed by these three countries and Central America, through concrete projects where different energy resources would be combined.

The presidents of the Group of the Three directed the Ministers of Energy and Finance to "...study the potential interrelatedness of hydropower, coal and gas interconnection and distribution between Colombia, Mexico, Venezuela

---

and Central America, and to evaluate the feasibility of the initiatives proposed to date." /4

In order to implement the decision of the presidents of the Group of the Three, an Energy Cooperation Committee was formed by the Vice-ministers of Energy of the three countries. This Committee held its first meeting in Mexico, on 29-30 October 1990. At this meeting four working groups were established, with the objective of identifying projects and carrying out actions that would allow a concrete energy cooperation that would support regional integration.

One of these groups, coordinated by Colombia, was put in charge of the subject of coal. Another was made responsible for gas projects, under the coordination of Venezuela. The other two groups were to be coordinated by Mexico: one with the responsibility of coordinating hydropower plant projects and the other related to electric interconnection. The coordination of the groups will rotate each year between the countries. The working groups were formed in December 1990 and met for the first time in January 1991 to prepare a first report on the results of their work, in their respective areas.

#### **b. Focus of the study**

The pre-feasibility study will cover a period of up to 30 years. Since this is a first attempt to quantify the potential economic benefits arising from the advancement of generation project and of the transmission networks needed to transmit the resulting power and energy, the information will also have a pre-feasibility or feasibility nature, depending on what the countries decide. That is, no design information is required regarding the projects.

The studies will include an analysis of the supply-demand balance in each country, both in

terms of capacity as well as of power, in order to identify the production costs that would make the exchange of energy between the countries attractive. Likewise, simplified electric studies will be carried out (only on power flows), to analyze the capacity of the transmission lines, in those cases where they exist, or the reinforcements or new lines needed to transfer the resulting exchanges. An economic analysis will be made of the different alternatives to select the most attractive ones. In short, three types of studies will be carried out:

- a. Energy studies (production costs)
- b. Electric studies (power flows)
- c. Economic studies

In the first case, the generation expansion plans existing in each country will be used. A catalog will be made of the different hydropower, geothermal and thermoelectric projects approved by the participating countries to generate different scenarios. As supplementary to this catalog there could be a manual on costs and reference parameters, which would allow priorities to be established in planning the projects. The most advanced of the scenarios would consist of a joint planning exercise on additional generation. An attempt will be made to define different possible scenarios, for which the participation of professionals from each countries will be essential in carrying out the studies.

We should point out that all these scenarios would be based on a sensitivity analysis, for which the above-mentioned manual on costs would be used. Therefore, this would not involve a specific commitment of the countries to develop the projects later on.

With the purpose of having a sufficiently revised portfolio of projects, a systematic relationship of consultation and exchange of

---

opinions would be established between the hydropower and coal working groups.

A development strategy would be developed over the long term for generation and transmission associated with the most attractive alternatives. For each long-term strategy, a proposal would be made for the gradual development of the interconnected systems. That is, the generation and transmission projects would represent steps towards future developments aimed at achieving a strategic objective. It should be noted, however, that no goal has been established with regard to the amount of power and energy to be transferred. Neither has the direction of the exchanges been set. In fact, this is but an exploratory and conceptual study that recognizes that some of the countries are exporters and others importers, depending on the large natural resource (hydropower and coal) existing in the first case and the alternative need of generating electricity from hydrocarbons in the second case.

The technical aspects of the studies will be defined and carried out by professionals from the participating electric utilities, with a minimal use of external consultants. Likewise, an attempt will be made to use the digital tools (software and hardware) available within the electric utilities. To achieve maximum compatibility and be able to distribute the work, it would be advisable that the models be able to run on personal computers.

The study has been organized around a series of preparatory activities that basically consist in collecting information, defining the criteria, establishing the necessary resources and negotiations to finance the pre-feasibility study.

An additional benefit arising from this analysis that will be included at the beginning of the preparatory activities is the uniformity of the interpretations and criteria for the different types

of studies to be carried out, along with the establishment of the magnitude of the resulting projects.

Details on the technical and organizational aspects, as well as the costs, are contained in the document on "Preliminary terms of reference for the electric interconnection pre-feasibility study between Colombia, Venezuela, Central America and Mexico." This document was formulated and revised at different meetings, with the participation of representatives from the electric utilities of the Group of the Three and Central America.

### **c. Conclusions and recommendations**

The following conclusions and recommendations are aimed at presenting aspects that should be included in the methodologies and approaches to facilitate the studies and the concretion of multi-national interconnection projects.

#### **Conclusions**

- From a conceptual standpoint, the existing methodologies used to define additional generation can be useful in studying the alternatives for the expansion of interconnection. However, it would be difficult to apply them in this case. A friendly methodology is needed, able to adequately embody integration scenarios.
- An important aspect in promoting the integration of the electric sector in the Latin American countries is the development of methodologies. However, there is a political and institutional influence that makes it difficult to reach the integration levels achieved by the electric sector in other regions of the world (Nordic countries, European community, etc.).

- In the longitudinal electric systems, which are the ones that usually exist in developed countries, the electric aspects have to be carefully analyzed (load capacity, dynamic behavior in the presence of interferences, reactive power balance, etc.), especially when these systems are interconnected.

## Recommendations

- To use, in as much as possible, the improved electric planning tools developed by OLADE, the maximum facilities to analyze integration scenarios and to quantify the economic benefits resulting from promoting electric interconnection in a more decisive manner between the Latin American and Caribbean countries.
- To include in the methodology, or in a more conceptual manner in the manuals produced on planning tools - within the framework of the SUPER/OLADE-BID project - the consideration of the characteristic technical-electric aspects of the longitudinal systems that prevail in developing countries. Likewise, to include the aspects of supervision of the dynamic behavior, using adequate recorders of incidents for this type of phenomena.
- Since the studies needed to plan international interconnections require a profound understanding of the characteristics of the systems involved, it is recommended that experts participate in a decisive and intensive way in planning the electric systems.
- That the international and multilateral bodies support the studies carried out to quantify the benefits that would be obtained from operating and planning the electric systems if they were interconnected.

- To promote the exchange of experiences through integration projects, particularly with regard to contractual aspects, financial responsibility and payment security wherever a project is carried out in a country with abundant natural resources, and where other countries are going to take advantage of the production. For example, the thermoelectric generation project in Bolivia, using natural gas to export energy to Brazil.

## NOTES

1. CEPAL, *Estudio Regional de interconexión eléctrica del Istmo Centroamericano (E/CEPAL/CCE/SC.5/135; CCE/SC.5/GRIE/VIII/3/Rev.2)*, September 1980.
2. World Bank, Energy Department, *Central America Power Interconnection: A Case Study in Integrated Planning*, Paper number 15, April 1984.
3. The 500/230 kV sub-stations would be: GTE, Eastern Guatemala; NEJ - Nejapa, in El Salvador; PVN - Pavaha, in Honduras; TIC - Ticuantepe, in Nicaragua; SID - San Isidro, in Costa Rica, and VEL - Veladero and PAN, in Panama.
4. See the Declaration of the Presidents of the Group of the Three, New York, 30 September 1990.
5. Held in Caracas, Venezuela, from 15 to 17 May 1991. See Minutes of the Third Meeting of the Energy Cooperation Committee of the Group of the Three.

## REFERENCES

1. Boletín de la Comisión de Integración Eléctrica Regional, Año XXVI, No. 233, June 1990, pp. 4-9.
2. Grupo ENDESA, Asuntos Internacionales, *Proyecto SIPAC - Perfil*, July 1991.
3. CEPAL, *Términos de Referencia. Estudio de Prefactibilidad de la Interconexión Eléctrica de Colombia, Venezuela, Istmo Centroamericano y México*, August 1990.