



**XXI SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de
2011

GRUPO – 7

GRUPO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

**HERRAMIENTAS DE DECISIÓN BASADAS EN ANÁLISIS ENERGÉTICOS
PARA LA VIABILIZACIÓN DE PROYECTOS DE INTERCONEXIÓN
CASO DE ESTUDIO: INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA COLOMBIA – PANAMÁ**

A. Villegas, J. H. Jaramillo

Interconexión Eléctrica Colombia-Panamá S.A. - ICP

G. L. López, P. J. Franco

Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - ISA

M. Szechtman (*)

Dual Consultores

RESUMEN DEL TRABAJO

Tratándose de una decisión financiera, la viabilización de un proyecto de transmisión – o de interconexión eléctrica entre países, debe estar soportada en la estimación y correcto entendimiento de las variables propias de los mercados de energía eléctrica que se relacionan y benefician con su ejecución; sobre esta base, es posible generar análisis robustos que soporten la toma de decisiones de los inversionistas.

Para el caso particular de una interconexión internacional, los impactos trascienden el orden nacional, alcanzando el ámbito regional, y, como es lógico, la recuperación de la inversión es función directa del modelo regulatorio de remuneración y de los ingresos del proyecto, por lo cual se requieren análisis confiables que permitan pronosticar los beneficios del proyecto en función de la expectativa de intercambios de energía, de evolución de costos marginales y de rentas de congestión¹ que allí se generen.

Este trabajo presenta la metodología aplicada en el análisis energético, de mercado y de regulación para la interconexión Colombia - Panamá, como insumo para las decisiones sobre la viabilidad financiera del proyecto. Con base en los resultados encontrados, se han incluido en el modelo financiero los escenarios factibles de ingresos que, vía asignación de derechos financieros de acceso a la capacidad de la línea, permitirán asegurar su ejecución y, con ella, los beneficios correspondientes para ambos países.

Palabras claves

Interconexión COL-PAN, viabilización, análisis energéticos, mercado de energía, rentas de congestión.

1.0 INTRODUCCIÓN

La viabilización de un proyecto de interconexión parte del entendimiento y medición de las variables de los mercados de energía eléctrica que se beneficiarán de dicho proyecto y del entorno normativo y político que lo enmarca. Es por ello que el proceso de viabilización de un proyecto de interconexión debe garantizar la convergencia de los intereses empresariales,

¹ Energía a través de la interconexión, valorada a la diferencia entre los precios en las fronteras de ambos países.

(*) DUAL Engenheiros Consultores Ltda. Rua Faro 54/204 – 22461-020 Rio de Janeiro RJ Tel/Fax: (21) 2511-4962 email: marcio@szechtman.net

sociales – incluyéndose los de carácter ambiental, políticos y económicos en torno al desarrollo del mismo, como un elemento dinamizador no sólo del mercado eléctrico sino del desarrollo de cada uno de los países con beneficios potenciales derivados del proyecto.

El objetivo de este trabajo es presentar el proceso general de viabilización y desarrollo de un proyecto de interconexión eléctrica, y el valor agregado que representa la ejecución de estudios detallados de los temas y variables que soportan los intercambios de energía y las dinámicas del mercado, como medio de estimación de los ingresos del proyecto (que permiten recuperar el valor de la inversión y gastos de administración, operación y mantenimiento) y la formulación del plan de negocios que apunte a su viabilidad financiera.

2.0 DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 Bases del proceso de integración

La concepción básica del proyecto de interconexión eléctrica entre Colombia y Panamá es la de promover la consolidación de un gran mercado eléctrico latinoamericano donde los recursos sean utilizados eficientemente, los usuarios tengan acceso a tarifas más económicas del servicio y se fortalezca la competitividad de la región.

La materialización de esta visión de integración se ha soportado en tres pilares fundamentales:

- **Recursos:** Precios, disponibilidad y complementariedad de los recursos energéticos
- **Redes:** Infraestructura de transmisión nacional e interconexiones internacionales.
- **Reglas:** Esquemas de armonización regulatoria para materializar los intercambios y, con ello, los beneficios derivados de la disponibilidad de los recursos energéticos y la infraestructura de transmisión existente.

Sin embargo, aun existiendo los recursos, el desarrollo de la infraestructura de transmisión y de las reglas requeridas para viabilizar los intercambios de electricidad, se ha identificado la necesidad de dos elementos adicionales:

- **Respaldo** de los Gobiernos: A través del cual se cree consenso alrededor del proceso de integración y se incorpore el mismo dentro de los programas de desarrollo de los gobiernos como mecanismos para estimular y soportar el crecimiento económico de los países.
- **Visión Regional:** Entendida como la actuación de los países, orientada por un mismo fin, en el cual se trascienda a los intereses internos en busca del beneficio regional.

2.2 Metodología de viabilización de un proyecto de interconexión

En la búsqueda de beneficios para los agentes y usuarios de los sistemas y la optimización global de los Recursos, los países de la región vienen realizando importantes avances hacia la integración regional, fomentando el desarrollo de esquemas que permitan el libre transporte de electricidad (Redes), en el marco de nuevos esquemas de regulación armonizada (Reglas). Como conexión física de los sistemas, el proyecto de interconexión eléctrica Colombia - Panamá, conducirá a la integración del mercado andino con el mercado centroamericano, buscando la consolidación de un mercado energético suprarregional.

Esta iniciativa es completamente afín con el interés de la banca multilateral y de los gobiernos de la región (Respaldo), y apunta al objetivo de impulsar el desarrollo económico sustentable y la integración Regional mesoamericana, consolidando los proyectos de interconexión eléctrica y el mercado regional en el marco del Proyecto Mesoamérica.

Para lograr este objetivo, es imperativo generar las condiciones que viabilicen su desarrollo y aseguren su viabilidad financiera, de acuerdo con un proceso estructurado, considerando aspectos técnicos, ambientales, financieros, regulatorios, y operativos, en armonía con las políticas energéticas de los países en el largo plazo.

Los Gobiernos de Colombia y Panamá acordaron que el proyecto se ejecutará mediante un esquema de conexión, a riesgo, a cargo de una sociedad creada para el efecto (ICP – Interconexión Colombia Panamá), conforme a la legislación vigente en cada país - y teniendo como base de soporte, las empresas ISA y ETESA de los dos países, respectivamente -, como paso fundamental hacia la consolidación regional a través del fortalecimiento de las conexiones físicas, tal como se muestra en la Figura 1.

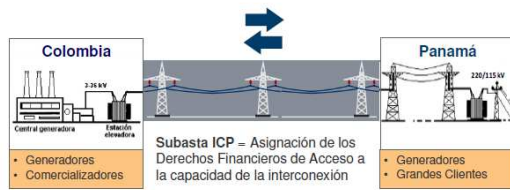


Figura 1 Esquema de desarrollo del proyecto



Figura 2 Marco para la viabilización de un proyecto de interconexión

Esta decisión implica que su formulación tiene lugar bajo un esquema de Project Finance, que exige modelar los ingresos provenientes del uso de la línea (recibidos en virtud de la asignación de derechos de acceso a la capacidad de la línea), para lo cual, además de los estudios eléctricos y energéticos clásicos, es necesario profundizar en el pronóstico de la evolución de las variables de mercado, y la estimación de los intercambios y las rentas de congestión que darán las señales a los agentes sobre la oportunidad que representa el proyecto y la competitividad de los recursos de cada país cuando se habiliten los intercambios a través de la línea (bajo un esquema regulatorio armonizado).

Se presenta el alcance de las actividades correspondientes a cada etapa, las cuales se enuncian en la **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

2.3 Motivación general

La ejecución de una interconexión entre dos países no significa sólo la unión de sus sistemas eléctricos, sino la integración eléctrica de las regiones o continentes de los cuales dichos países hacen parte. Es así como la interconexión entre Colombia y Panamá posibilita la integración eléctrica de Las Américas (Ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Esta interconexión favorecerá el desarrollo de las regiones y su integración competitiva en la economía mundial, fomentará el crecimiento de los mercados y el interés de inversionistas extranjeros, garantizará la seguridad energética de Mesoamérica y brindará mayores oportunidades de negocio para todos los agentes de la cadena productiva del sector eléctrico.

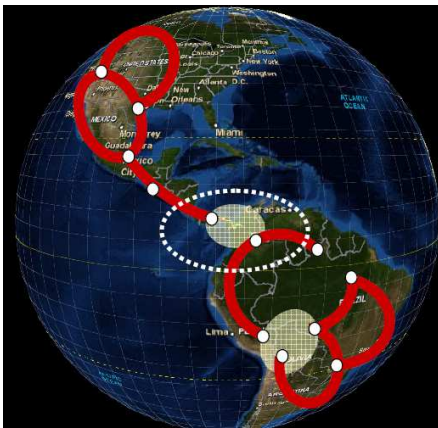


Figura 3. La Interconexión Colombia-Panamá: Integración eléctrica de Las Américas

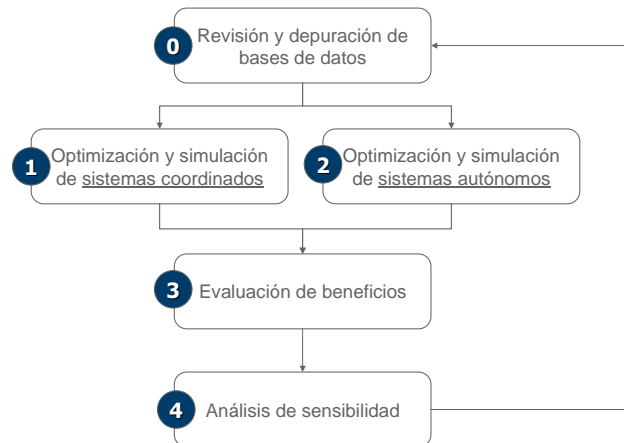


Figura 4. Etapas del Estudio de Mercado

2.4 Estudio de Mercado

Las primeras preguntas que se puede hacer cualquier inversionista o promotor de un proyecto de interconexión eléctrica son: ¿Cuánto será el flujo de energía eléctrica que potencialmente llevará la interconexión? ¿Cuáles son los beneficios potenciales de la interconexión eléctrica para los países importadores y exportadores?

Muchos de estos parámetros cambian, con frecuencia debido a factores fuera del alcance del ejecutor o promotor del proyecto.

El objetivo del análisis energético es entonces predecir con la mayor certeza posible aquellas variables que servirán de insumo para la toma de decisiones sobre la ejecución o no de un proyecto de interconexión; por lo tanto, de esta decisión depende el éxito futuro de los procesos de integración. Para el caso de la interconexión Colombia - Panamá, los análisis energéticos se realizaron a partir de los resultados del Modelo MPODE (SDDP).

A continuación se describen las diferentes etapas que enmarca la realización de los análisis energéticos, sin querer pretender que ellos sean una secuencia rígidamente lineal, ya que el desarrollo de los diferentes análisis podrá llevar a la revisión de supuestos previos.

2.4.1 Revisión y depuración de bases de datos

La definición de la información base tanto presente como proyectada, a partir de la cual se realizarán las simulaciones, es fundamental para garantizar la consistencia de los resultados, de ahí que en su primera fase ISA y ETESA desarrollaron un trabajo conjunto tendiente a la depuración de las bases de datos referidas a:

- Infraestructura de generación
- Infraestructura de transmisión
- Información de demanda
- Disponibilidades de plantas
- Estadísticas de Hidrologías

Adicionalmente, se acordaron criterios y parámetros de proyección para las variables exógenas que intervienen en el modelo, lo cual a su vez permitió definir diferentes escenarios de sensibilidad. Entre estas variables, se destacan, por su impacto en los resultados, las siguientes:

- Crecimiento de demanda
- Planes de expansión de generación y transmisión
- Proyección de precios de combustibles

Una vez definidas las bases de datos, se requiere la calibración del modelo con los datos actuales, de tal forma que se garantice que la información de inicio esté sincronizada con la realidad eléctrica y energética de los sistemas que se interconectan.

2.4.2 Simulaciones con sistemas autónomos y coordinados

Los beneficios de la interconexión se miden como resultado del cambio en las condiciones de los sistemas una vez entra en operación el proyecto (por ejemplo, la variación en costos marginales). Por esta razón es necesario simular los sistemas autónomos (sin interconexión) y luego los sistemas coordinados (con interconexión).

Para el caso específico de la interconexión Colombia – Panamá, los sistemas autónomos hacen referencia a América Central (interconectada) y la Región Andina (interconectada), y los sistemas coordinados corresponden a las dos regiones enlazadas por el proyecto.

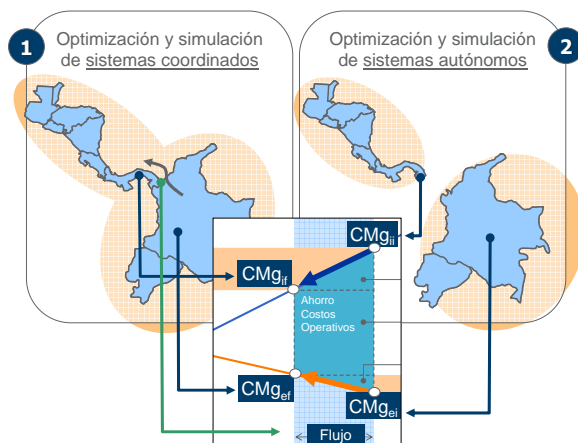


Figura 5. Simulaciones: Sistemas autónomos y coordinados

2.4.3 Análisis de resultados

Los resultados de las corridas del modelo MPODE se analizan desde un enfoque microeconómico en el cual cada país representa un agente exportador o importador y los costos marginales en cada región (y país) se establecen según los principios de la oferta y la demanda, de acuerdo con la situación particular.

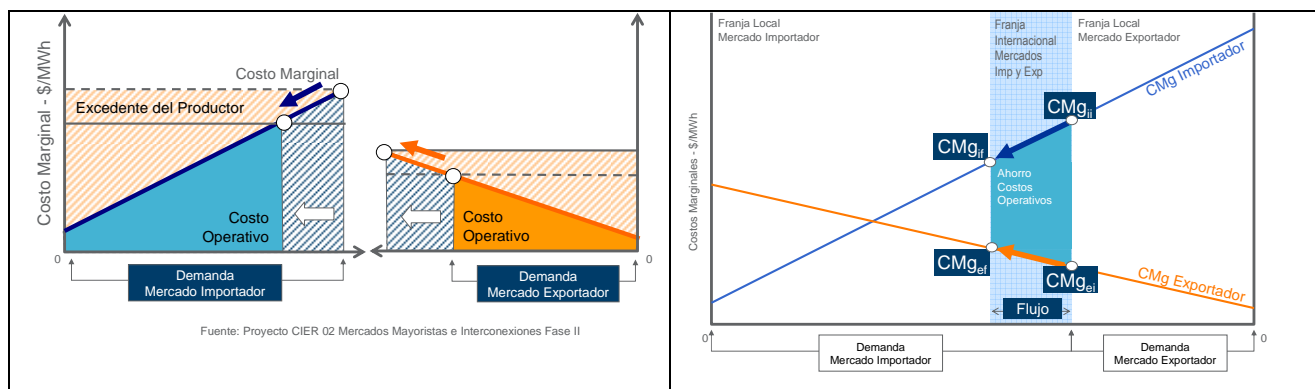


Figura 6. Impacto microeconómico de los intercambios de electricidad

El flujo de energía a través de la interconexión genera para el país exportador un incremento potencial en el excedente de los generadores², y una disminución del costo marginal para la demanda del país importador. Adicionalmente, y como consecuencia de la limitación en la capacidad de la línea, se genera una renta de congestión derivada de la diferencia del precio de la energía entre los países (ver Figura 6) [1].

De acuerdo con lo anterior, los resultados requeridos de las corridas del MPODE son:

- Costos Marginales autónomos
- Costos Marginales con interconexión
- Flujo por la interconexión

Para el caso de la interconexión Colombia - Panamá, para el horizonte de análisis de 14 años, se consideraron cinco bloques de demanda para cada mes. Adicionalmente, se tomaron como base 50 series hidrológicas, que permitieron simular escenarios críticos desde el punto de vista hídrico, así como escenarios favorables.

El número de series hidrológicas, y las diferentes sensibilidades planteadas, posibilitaron la realización de análisis desde el punto de vista de estadística descriptiva, analizando funciones de distribución de probabilidad para las diferentes variables de interés, lo cual es indicativo de los beneficios económicos que pueden derivarse de los flujos por la interconexión

A modo de ejemplo, la Figura 7 presenta el impacto de la interconexión en el costo marginal de uno de los países impactado por la entrada en operación del proyecto.

² De acuerdo al tratamiento regulatorio que se establezca en cuanto a la discriminación de precios para demanda local e internacional.

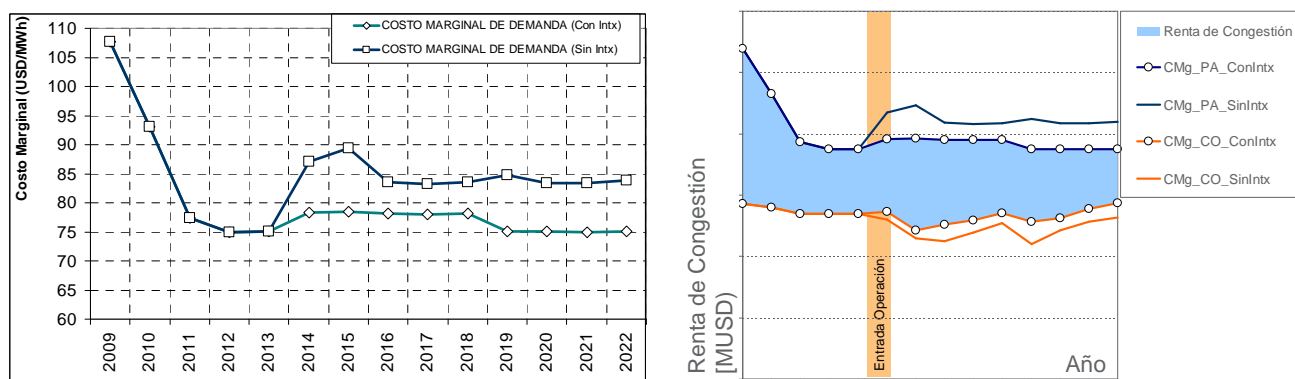


Figura 7. Impacto del proyecto de interconexión en el costo marginal

El resultado anterior, corresponde a valores promedios para cada año de todas las series hidrológicas analizadas, razón por lo cual adicionalmente se valida la dispersión de los resultados a través de funciones de distribución –FD- y funciones de densidad de probabilidad –FDP, con el fin de estimar el ahorro en costos operativos por disminución del costo marginal. La Figura 8 presenta las funciones de densidad de probabilidad e histogramas para dos escenarios referidos a la capacidad de la interconexión: 300 MW y 600 MW, en los cuales se observa una mayor dispersión en las rentas de congestión obtenidas con 600 MW.

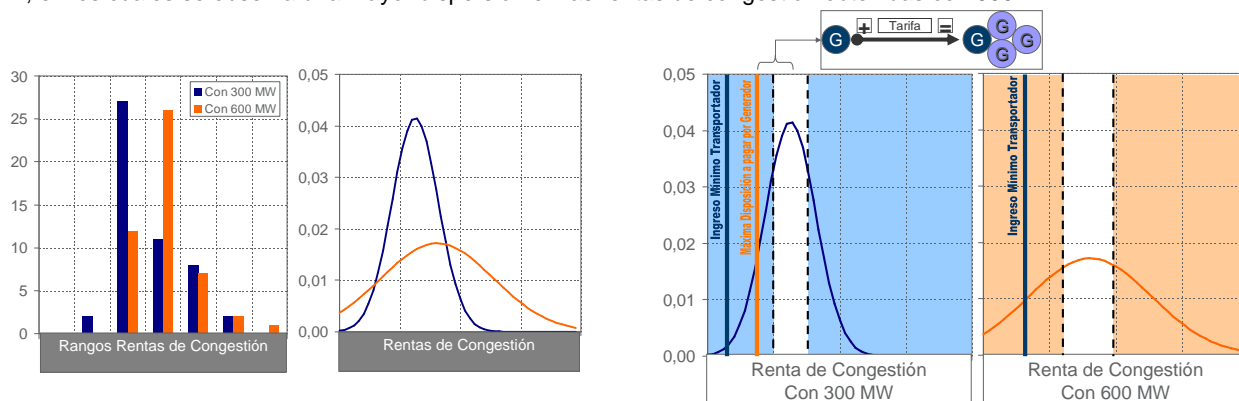


Figura 8. FD y FDP para ahorro operativo por reducción del costo marginal

Otro elemento importante dentro del análisis de resultados es el establecimiento de escenarios de sensibilidad, especialmente para evaluar el impacto de variables sobre las cuales existe incertidumbre, como los apuntados en el numeral 2.4.1.

Es así como la Figura 9 presenta en las franjas azules y a modo de ilustración, los rangos obtenidos para cada una de las variables graficadas de acuerdo con las sensibilidades analizadas [2], y que permite observar importantes beneficios anuales en Panamá. Información similar es obtenida y analizada para todos los países impactados por el intercambio de electricidad a través de la interconexión Colombia - Panamá.

Todos los resultados obtenidos del análisis energético se convierten en insumo esencial para las evaluaciones técnicas y financieras del proyecto, dado que son estos resultados los que permiten cuantificar beneficios económicos, que deben ser traducidos en flujos de ingreso para la remuneración eficiente de la línea de interconexión.

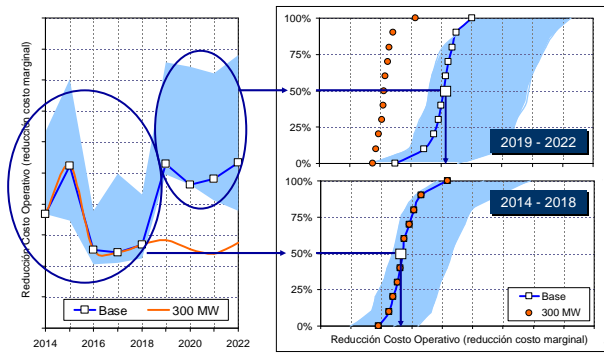


Figura 9. Beneficio anual para consumidor de Panamá por importación desde Colombia



Figura 10. Alternativas para el desarrollo del proyecto de Interconexión Colombia - Panamá

2.5 Definición técnica

La definición técnica de un proyecto de interconexión no sólo aborda análisis eléctricos y tecnológicos, sino que también conlleva la necesidad de realizar análisis y trámites ambientales y sociales, que en muchos casos se convierten en factores críticos para la viabilidad de dichos proyectos. Uno de los aspectos importantes del Proyecto es evitar el impacto sobre el ambiente y en especial el Parque Nacional Darién, patrimonio mundial y reserva de la biosfera.

Varios estudios, investigaciones y trámites legales han sido desarrollados por ISA y ETESA para llegar a la definición de corredores ambientales de línea de transmisión y configuraciones eléctricas.

Sobre el corredor ambiental propuesto se está ejecutando el Estudio de Impacto Ambiental y Social con el objeto de presentar a la autoridad correspondiente la evaluación de los elementos del medio ambiente (físico, biótico y social) que puedan tener cambios por el proyecto, la información específica de los recursos naturales que van a ser usados, aprovechados o afectados, y la evaluación de los impactos que puedan producirse.

Respecto a los estudios eléctricos, éstos concluyeron que la línea debía desarrollarse en tecnología de corriente directa (HVDC). Los estudios en HVAC, presentaron:

- Modos de oscilación con amortiguamiento negativo (que comprometían la estabilidad de los sistemas).
- Problemas en el control de tensión en la fase de energización y en condiciones de baja carga; su solución requeriría de subestaciones intermedias y compensación reactiva paralela.

De forma contraria, cuando la línea se desarrolla en HVDC, se encuentra que:

- HVDC aísla o desacopla ambos sistemas; los problemas actuales y futuros de cada continente se quedan en él; cada sistema puede hacer gestión propia e independiente del ajuste de controles, protecciones, topología, operación, etc. sin que ello conlleve a problemas para el enlace, situación que no se garantiza para la operación futura en HVAC.
- En HVDC hay control sobre el flujo de potencia, con alta velocidad de respuesta.
- La potencia transmitida es únicamente activa.
- No existe efecto “skin” en los conductores (mejor uso del material).

Los estudios eléctricos concluyen que al desarrollarse el proyecto en HVDC, se presenta un desempeño eléctrico adecuado que permite cumplir con los criterios de calidad, seguridad y confiabilidad.

Tabla 1. Características técnicas de la Interconexión Colombia – Panamá

Tensión nominal	± 450 kV corriente continua
Tensión máxima	± 470 kV corriente continua
Corriente nominal del polo	667 A
Potencia como Bipolo	600 MW
Conductor	ACAR 1200 MCM
Sección mínima del haz	3 x 608 mm ² (Separación del haz: 450 mm)

Vano medio	400 m
Corona límite (gradiente crítico)	25 kV/cm
Aisladores	Vidrio para aplicación en DC - fuga: 31 mm/ kV ^{fm})

2.6 Análisis regulatorio

Para el caso de estudio, Interconexión Colombia - Panamá, fue necesario el análisis detallado de la regulación de ambos países, para lograr el entendimiento de las reglas de mercado y los mecanismos de compra y venta de energía o potencia eléctrica, tanto a nivel de contratos como en el mercado spot.

Lo anterior, como base para posteriormente identificar los ajustes regulatorios requeridos en cada país, que permitan potencializar los intercambios entre ellos y viabilizar así la construcción del proyecto. Con ello, se posibilita la oportunidad de adelantar una gestión proactiva con los reguladores, a fin de aportar elementos para el proceso de armonización que debe ser adelantado por dichos organismos. En esta etapa, es de fundamental importancia la gestión proactiva de los inversionistas y la apertura de los entes reguladores para escuchar las preocupaciones de aquéllos y hacer conciencia de los posibles ajustes que se requieren en las regulaciones internas de cada país.

Actualmente, los reguladores de Colombia y Panamá vienen trabajando en la propuesta de armonización regulatoria, que deberá permitir la realización de intercambios eficientes entre ambos países.

Debe mencionarse sin embargo que, si bien, el análisis de la regulación, desde su inicio debe focalizarse en los países que se interconectan, no puede limitarse a ello ni olvidarse de abordar las regulaciones de los países que componen los mercados regionales, a fin de generar una verdadera visión de integración regional, que permita potencializar mayores intercambios entre los países y regiones y, de esa forma, fortalecer la viabilización de la interconexión. En este sentido, el enfoque esperado de un proceso de armonización regulatoria debe trascender hacia una visión de carácter regional, más allá de una interconexión entre países.

2.7 Esquema de desarrollo

El esquema definido para la ejecución del proyecto de interconexión Colombia – Panamá es como activo de conexión, a riesgo (sin remuneración directa por parte de la demanda); para su viabilización, se formula y modela como un Project Finance, el cual se financiará a partir del flujo de ingresos que él mismo genere. Estos ingresos provendrán de la venta de derechos de acceso a la capacidad de la interconexión, los cuales serán asignados a través de una subasta pública. En esta medida, la principal garantía para la banca que financie el proyecto (créditos de largo plazo) estará representada en los contratos de acceso a la capacidad de la interconexión (con soporte en los compromisos de aporte de capital por parte de los promotores del proyecto). En el tiempo, seguirán ejecutándose subastas de asignación de derechos siempre que exista capacidad de línea no comprometida, lo cual asegurará de manera regular los ingresos de la línea, estando también abierta la posibilidad de que se genere un mercado secundario a partir de la capacidad ya asignada.

Las condiciones y plazos de los créditos, y en virtud de ello la viabilidad y rentabilidad del proyecto, serán mejores en la medida que existan contratos de acceso de mayor capacidad y duración. La viabilidad del proyecto bajo esta figura puede verse comprometida si aparecen condiciones financieras o restricciones (técnicas-operativas, regulatorias, comerciales o ambientales) que limiten los intercambios, o que impidan las transferencias hacia el Mercado Eléctrico Regional –MER- de América Central (dado que este proyecto ha sido siempre concebido como de beneficio regional).

En consecuencia, es importante priorizar los esfuerzos de todas las entidades relacionadas hacia la generación de condiciones que hagan posible la realización, con alta probabilidad de éxito, de la subasta de asignación de derechos financieros de acceso a la capacidad de la línea (asegurando máximas transferencias con contratos firmes a largo plazo), y por este medio, la viabilidad financiera del proyecto.

En concordancia con el esquema regulatorio definido para la viabilidad del proyecto, es necesario firmar un contrato mediante el cual el proyecto vende al comprador (generador o comercializador) los Derechos Financieros de Acceso a la Capacidad de Interconexión (DFACI) sujeto a plazos, términos y condiciones establecidos, teniendo en cuenta un Reglamento de la Subasta y las Normas Aplicables; en virtud del mismo contrato, el comprador se obliga a pagar a ICP la remuneración prevista por el servicio recibido.

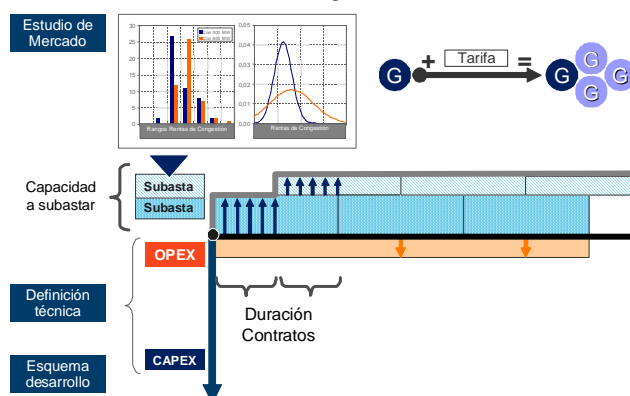


Figura 11. Modelo de negocios del proyecto

2.8 Acuerdos operativos y comerciales

Finalmente, para asegurar la sostenibilidad de un proyecto de interconexión internacional, se requiere la definición de esquemas operativos y comerciales adecuados, que, con visión de integración regional, permitan maximizar los intercambios de energía, aprovechando los beneficios propios de la interconexión y las complementariedades energéticas entre los países.

Los acuerdos operativos deben asegurar la coordinación de la operación del enlace internacional, mediante la definición de procedimientos, condiciones, deberes, obligaciones y responsabilidades para la operación del enlace y los intercambios de energía y potencia entre los países, en el marco de la regulación vigente de cada país y de las reglas para la armonización de los intercambios entre ellos. Por su parte, los acuerdos comerciales deben definir los procedimientos, condiciones, obligaciones y responsabilidades para la liquidación, facturación y administración, además de las garantías que tengan que constituirse para cubrir los montos de los intercambios internacionales esperados, respetando también la regulación vigente en cada país y las reglas de armonización respectivas.

Actualmente, los operadores y los administradores de los mercados de Colombia y Panamá avanzan, en forma coordinada, en la elaboración de dichos acuerdos, contando para ello con la supervisión y seguimiento de los organismos reguladores de ambos países.

3.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque la descripción hecha parece una sucesión lineal de pasos, lo cierto es que en la realidad hace referencia a un proceso iterativo que en la práctica puede tomar periodos importantes de tiempo y que se realimenta permanentemente en sus diferentes etapas.

Lo más importante es el carácter estratégico de una interconexión física entre Américas del Sur y Central, que posibilitará una integración energética regional.

4.0 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Proyecto CIER 02 Fases I y II: Mercados Mayoristas y Factibilidad de Interconexiones - 1998/1999. Comisión de Integración Energética Regional (www.cier.org.uy)
- [2] ICP – Interconexión Eléctrica Colombia - Panamá. Avance Proyecto Interconexión Colombia-Panamá. ACCE VII Encuentro Latinoamericano de Energía: “Energía sin Fronteras”. San José, Costa Rica. Agosto 2009

5.0 DATOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR DE CONTATO

Marcio Szechtman é atualmente consultor independente, atuando no ONS nas atividades de revisão do projeto básico CCAT do Projeto de Transmissão do Rio Madeira. Entre 2007 e 2009 atuou junto à Terna Participações na função de consultor técnico e regulatório.

Exerce atividades de consultoria, no Brasil, Índia, Colômbia, Irlanda, Chile e Peru, nas áreas de transmissão de energia CA/CC e regulação elétrica de transmissão. Vem atuando como consultor da empresa ICP – Interconexión Colombia – Panamá, desde 2007.

Entre 1998 e 2006 exerceu a função de diretor executivo e foi sócio da empresa Mercados de Energia Consultoria Ltda.

Em 1997 atuou como Superintendente para a América do Sul do ramo de consultoria energética da GE Power Systems.

Entre 1976 e 1996, trabalhou no CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – como pesquisador, na área de sistemas elétricos, gerente de departamento de Simulação de Redes CA/CC e diretor técnico (entre 1992 e 1996).

Entre 1972 e 1976, trabalhou em empresas de consultoria de estudos elétricos.

Graduou-se em Engenharia Elétrica e obteve o título de Mestre em Engenharia, pela Escola Politécnica da USP, respectivamente, em 1971 e 1976.

