

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE INTERCONEXIONES ELÉCTRICAS INTERNACIONALES

(A METHODOLOGY OF EVALUATION OF INTERNATIONAL ELECTRICAL INTERCONNECTIONS)

Andrés Villegas Ramelli Hugo Alejandro Bedoya Hincapié Jorge Mauricio Areiza Ortiz

Interconexión Eléctrica S.A. ISA

Palabras Clave: Transmisión, Metodologías, Optimización, Interconexiones, Expansión, Integración, Mercados de energía.

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología para definir y evaluar un proyecto de interconexión eléctrica entre países, analizando los aspectos relevantes utilizados para determinar la viabilidad de la misma, basados en la experiencia obtenida de los estudios de interconexión entre Colombia-Venezuela, Colombia-Ecuador, Ecuador-Perú y actualmente el estudio que se está desarrollando para la interconexión de Colombia con Panamá que finalmente constituye la base de la integración de los mercados Andino y Centroamericano.

Los aspectos tratados en el trabajo consideran los estudios energético, ambiental, eléctrico, regulatorio, operativo, económico y financiero que conforman el grupo de temas principales con los cuales se planea una interconexión eléctrica de forma integral, dentro de la secuencia adecuada que permite establecer una metodología.

Finalmente, se presenta un caso ejemplo sobre el cual se tratan los diferentes estudios aplicados al caso real de interconexión de Colombia con Ecuador, que ha sido una experiencia exitosa tanto desde el punto de vista metodológico como económico, y que ha impulsado el desarrollo de la integración regional a nivel Andino y Centroamericano.

1 INTRODUCCIÓN

El cambio y reestructuración del sector eléctrico a nivel mundial ha planteado múltiples retos a los profesionales que desarrollan metodologías y realizan análisis que buscan dar respuesta adecuada a los objetivos por los cuales se motivó el cambio, tales como: incrementar la participación de la inversión privada en el sector, lograr mayor eficiencia en la cadena productiva de la electricidad desde la generación hasta la llegada al consumidor final, y principalmente lograr el desarrollo de un mercado de energía que permita aprovechar racionalmente los recursos y redunde en un mayor beneficio al usuario de la energía eléctrica. Dentro de éste contexto, unido con los procesos de globalización de las economías, aparece el tema de las interconexiones eléctricas como parte fundamental del desarrollo de los mercados eléctricos entre países, que permite ampliar las posibilidades de intercambio y optimización de los costos de la electricidad.

El trabajo se centra en elementos prácticos y conceptuales de los aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar una interconexión eléctrica internacional (entre países), el artículo presenta en el numeral 2 la metodología propuesta para determinar y evaluar una interconexión eléctrica internacional, la cual inicia con la motivación general de los países y sigue con los estudios energético, ambiental, eléctrico, regulatorio, operativo, económico y financiero y finaliza con los acuerdos operativos y comerciales; En el numeral 3 se presenta el caso ejemplo de la interconexión Colombia – Ecuador a 230 kV y finalmente en el numeral 4 se presentan las conclusiones de la aplicación de la metodología.

La información básica de referencia se presenta en el numeral 5 y la información de los autores en el numeral 6.

2 METODOLOGÍA

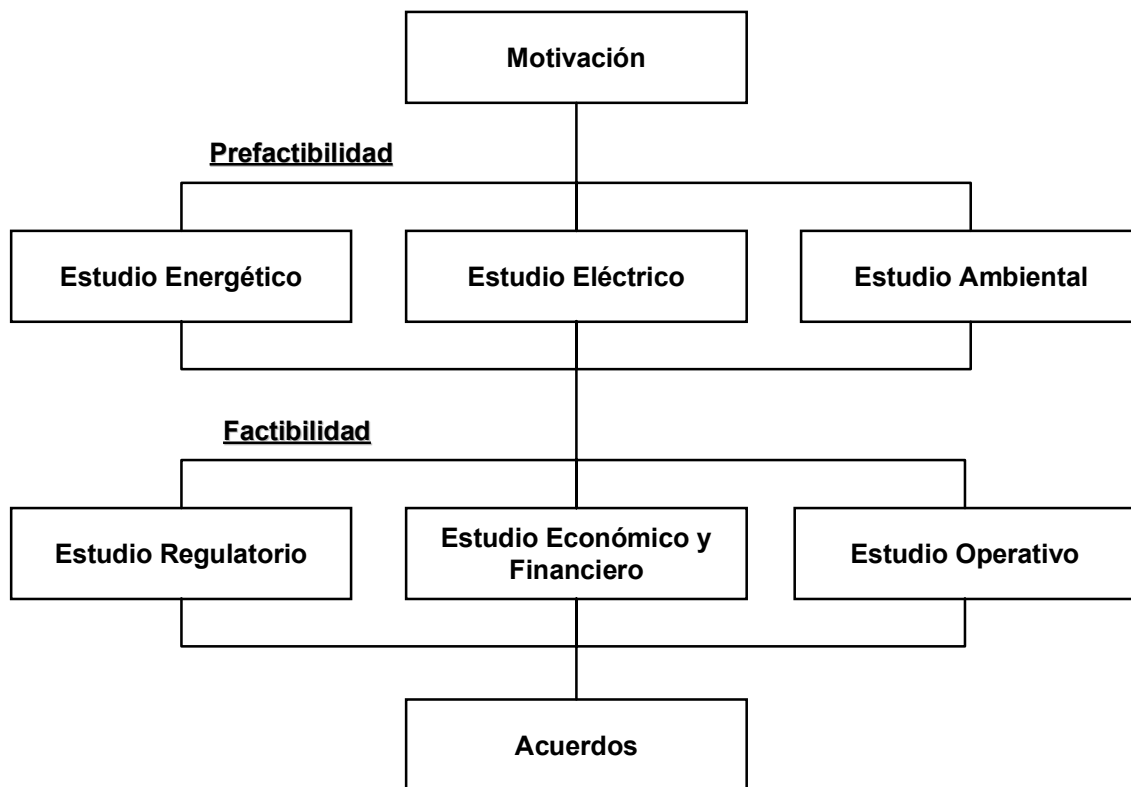
La preparación y evaluación se hace en forma iterativa, en un proceso de profundización progresiva de la información y aumento de la certidumbre en lo que se refiere a la selección de alternativas y proyectos. Así la etapa de pre-inversión se compone de cuatro fases, que dividen y delimitan los pasos sucesivos de preparación y evaluación como se muestra en la Figura 1, donde se presenta la metodología propuesta. Las fases son las siguientes:

- Fase I: Motivación
- Fase II: Prefactibilidad
- Fase III: Factibilidad
- Fase IV: Acuerdos

En cada una de las fases de pre-inversión se llevan a cabo diferentes estudios de diagnóstico y preparación del proyecto. La Fase I, de motivación, hace referencia a los acercamientos de los gobiernos y entidades interesadas en el desarrollo del proyecto de interconexión. La Fase II, esta compuesta a su vez de tres tipos de estudios: El energético, el ambiental y el eléctrico; los cuales son complementarios y permiten establecer las posibilidades de desarrollo del proyecto a un nivel de prefactibilidad. La Fase III, también esta compuesta por tres tipos de estudios complementarios: El regulatorio, el operativo y el económico y financiero; estos permiten determinar la factibilidad del proyecto y tomar la decisión de ejecución. Finalmente la Fase IV, es el inicio de la ejecución del proyecto el cual esta enmarcado dentro de la firma de acuerdos técnicos operativos y comerciales.

Los estudios realizados en cada una de las fases de la etapa de pre-inversión del proyecto se convertirán en insumos de la misma preparación o formulación del proyecto. Los resultados mostrarán el camino más indicado para el desarrollo de la metodología de evaluación.

Figura 1. Metodología de Evaluación de Interconexiones Eléctricas Internacionales



2.1 Fase I: Motivación

En esta fase se busca definir el objetivos del proyecto propuesto, de acuerdo con los problemas o necesidades específicas de la comunidad. El punto de partida es la idea del proyecto, generalmente detectada por la población afectada por un problema o enfrentada a una oportunidad, o por inversionistas interesados en suplir una necesidad determinada o en aprovechar una oportunidad específica.

Normalmente, las motivaciones principales de las interconexiones internacionales eran atender condiciones de emergencia, lograr acuerdos de venta de energía de largo plazo o el mejoramiento de la confiabilidad. Estas motivaciones iniciales no han cambiado, pero en el marco actual de globalización de las economías y desarrollo de los mercados de energía eléctrica se suman otras ventajas de las interconexiones, que surgen como motivaciones importantes para lograr el desarrollo de las mismas, tales como: reducción en los costos de operación, reducción de reservas y optimización de los sistemas.

Con el impulso de los gobiernos o manifiesto de la política energética, los agentes del sector eléctrico: generadores, transmisores, distribuidores ó comercializadores, los organismos de planeación nacional, los reguladores, los operadores del sistema eléctrico y los administradores del mercado eléctrico, están analizando la viabilidad de las interconexiones eléctricas, con el fin de lograr las ventajas asociadas a éstas, expandiendo sus mercados, permitiendo transacciones en redes abiertas y reduciendo el costo de energía al usuario final, sin desconocer que esencialmente las interconexiones internacionales son oportunidades de negocio.

Por ello, para el desarrollo de una interconexión internacional, es fundamental que exista interés de los países que se pretenden interconectar ya que se trata en el fondo de decisiones que afectan los recursos energéticos que están normalmente bajo su responsabilidad, y hacen parte de la gestión pública de los ministerios de energía o minas de los países y la política energética de los gobiernos nacionales.

Con base en la idea del proyecto de interconexión, debe realizarse un diagnóstico de la situación, que permita establecer los requerimientos reales de la población, sus condiciones socioeconómicas

y los parámetros que determinan la demanda del bien o servicio generado por el proyecto, y las dimensiones y características de las oportunidades que han generado interés.

2.2 Fase II: Prefactibilidad

Esta fase se inicia con la formulación de alternativas, con el fin de seleccionar aquellas que serán objeto del estudio de prefactibilidad, el cual tiene como objetivo progresar sobre el análisis de las alternativas identificadas, reduciendo la incertidumbre y mejorando la calidad de la información. Se busca seleccionar la alternativa óptima.

La Fase de prefactibilidad está compuesta por los estudios energético, ambiental y eléctrico, los cuales tiene dos objetivos principales. El primero es encontrar los beneficios de la interconexión, representados por ahorros en costos operativos, confiabilidad y mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica. El segundo es determinar la capacidad de la interconexión, características eléctricas de la misma y costo estimado del proyecto.

Con base en los diversos estudios, el equipo de evaluación debe hacer un análisis para definir cual es la alternativa óptima. La Interconexión óptima será aquella que minimice el costo total del sistema incluyendo operación, pérdidas, racionamiento, y los costos de la interconexión, definidos por inversión, operación y mantenimiento.

La preparación del proyecto no deberá seguir adelante con los estudios de factibilidad hasta tanto el equipo de evaluación no haya definido la mejor alternativa de interconexión. En el caso en que se determine que no hay alternativa atractiva, el proyecto podrá ser descartado.

2.2.1 Estudio Energético

Partiendo de las características de los sistemas eléctricos es necesario identificar los aspectos básicos del mercado de energía, la demanda, oferta y precios de la energía eléctrica marcará las posibilidades reales de la interconexión, así como los recursos energéticos primarios dejarán ver las posibilidades de ejecución del proyecto.

Por el lado de la demanda de energía eléctrica, debe analizarse el volumen presente y futuro y las variables relevantes para su proyección, tales como población, consumo, crecimiento, bienes complementarios y sustitutos que ya existan o estén por entrar al mercado. Será necesario conocer el mercado local y regional o internacional.

Por el lado de la oferta de energía eléctrica, es necesario definir la composición por fuente de recurso primario y las estrategias del mercado. Dentro de ese proceso, será indispensable estudiar la competencia en aspectos básicos como su capacidad instalada y su nivel de utilización, la tecnología incorporada y posibles programas de actualización, sus fallas y limitaciones, y sus planes de expansión.

Mediante el *Estudio Energético* se evalúan los intercambios de energía y potencia entre los países a interconectar, como resultado de la composición de recursos energéticos, el costo asociado a cada uno de estos recursos y los precios de la energía a lo largo del periodo de análisis. Con esto se busca dimensionar la capacidad de la interconexión con base en los intercambios de energía y potencia factibles.

Las fases básicas del *Estudio Energético* son:

- Optimización y Simulación de Sistemas Autónomos
- Optimización y Simulación de Sistemas Coordinados
- Evaluación de Beneficios
- Análisis de Sensibilidad

Mediante la comparación de las dos primeras etapas de *Optimización y Simulación* se busca determinar las ventajas y beneficios de la interconexión eléctrica, a los cuales finalmente es

necesario realizar un análisis de sensibilidad para asegurar la robustez de los resultados ya que de ellos depende la continuación de la búsqueda del objetivo de materializar la interconexión.

En el análisis se simula el sistema para un conjunto de series hidrológicas, la política de optimización se genera de forma autónoma para cada país sin incluir la red de transmisión, no se incluyen las redes de transmisión de cada país pero sí se modelan las interconexiones entre países.

Los cálculos o *Evaluación de Beneficios* se obtienen de los costos operacionales esperados, los cuales se calculan como el costo promedio de la generación térmica más costos de racionamiento para todos los años simulados. Estos costos reflejan el costo que podría esperarse cuando se opera el sistema óptimamente durante un determinado número de años.

Se simula la operación de cada uno de los sistemas de forma aislada y luego se realiza la simulación de forma coordinada para diferentes capacidades de la interconexión. La capacidad optima será aquella que minimice los costos totales del sistema de tal forma que garantice reducción de la tarifa al usuario final. La diferencia de costos operativos entre la operación aislada y la operación coordinada determinan los beneficios económicos de la interconexión.

Es de gran importancia realizar el *Análisis de Sensibilidad* en aspectos relevantes para el calculo de los beneficios como son: la fecha de entrada del proyecto, plan de expansión de generación y transmisión, supuestos del crecimiento de la demanda de energía y de los costos de combustibles.

2.2.2 Estudio Ambiental

Es necesario realizar un análisis de los aspectos ambientales que afectan al proyecto, los cuales están cada vez más estrechamente relacionados al tratarse de proyectos de infraestructura de característica longitudinal.

Mediante el *Estudio Ambiental* se busca evaluar las restricciones y criticidades ambientales del área geográfica de influencia del proyecto de interconexión eléctrica y considerar las posibles alternativas de ruta, mediante la aplicación de dos niveles de estudio:

- Análisis de Restricciones y Criticidades Ambientales (ARA)
- Diagnostico Ambiental de Alternativas (DAA)

Con el ARA se definen los factores de restricción y criticidad ambiental por dimensiones, componentes y variables, y asigna calificación a los factores de restricción y de criticidad ambiental. La definición de criticidad ambiental se realiza mediante un modelo de álgebra de mapas y la selección de alternativas mediante un modelo costos de viaje. El nivel de escala de este análisis es 1:500.000 e incluye los siguientes factores:

- Factores de Restricción Ambiental
- Factores de Criticidad Ambiental

Los Factores de Restricción Ambiental: Son los que impiden la implementación de proyectos de infraestructura eléctrica: Las áreas protegidas jurídicamente, las condiciones de extrema fragilidad del ambiente, las características del ambiente que amenazan la vida útil del proyecto y que requieran de alta complejidad técnica y tecnológica.

Los Factores de Criticidad Ambiental: Son los que dificultan en diferente grado la implementación de proyectos de infraestructura eléctrica, características de las variables ambientales, condiciones de vulnerabilidad del ambiente, complejidad técnica/tecnológica y costos asociados.

Como resultado del ARA se define el área de estudio y los puntos obligados para la caracterización ambiental y selección de corredores y ruta óptima.

Con el DAA se busca identificar en cada una de las alternativas viables, aquellas áreas que presentan restricciones ambientales, con el fin de predecir y evaluar de manera preliminar, los impactos ambientales más significativos. Además se formula de manera preliminar, las estrategias

de prevención, mitigación, corrección, compensación y control ambiental, que se deberán implementar para el manejo de los posibles impactos identificados en cada una de las alternativas y con costos aproximados en cada una de las medidas de manejo. En síntesis, busca recomendar las mejores alternativas, que compatibilicen el uso óptimo y racional de los recursos ambientales con los planes de ordenamiento territorial, planes de vida de grupos étnicos indígenas y de comunidades negras, planes de desarrollo local, regional y nacional y los demás que apliquen a los países.

Además el DAA busca presentar a la autoridad ambiental la información necesaria para evaluar y comparar las diferentes alternativas, bajo las cuales sería factible el desarrollo del proyecto. El propósito es optimizar el uso de los recursos ambientales con el fin de prevenir o minimizar riesgos e impactos negativos que puedan provocarse. El nivel de escala de este análisis es 1:100.000.

Dependiendo del grado de complejidad ambiental del proyecto y de las exigencias ambientales de orden legal, normativo y regulatorio en cada uno de los países, puede prescindirse del DAA en esta Fase de Prefactibilidad, pero muy seguramente debe abordarse en la Fase de Factibilidad.

El ARA y el DAA sirven como punto de partida para el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el cual se constituye en el elemento de análisis básico para las autoridades ambientales en el proceso de aprobación de la licencia ambiental, la cual se aborda en la Fase de Ejecución del proyecto.

2.2.3 Estudio Eléctrico

Con el estudio se propone identificar alternativas técnicas para la interconexión de los sistemas eléctricos de potencia, de tal manera que se cumpla con los criterios de calidad, confiabilidad y seguridad establecidos por la regulación de cada uno de los países.

El *Estudio Eléctrico* busca establecer el tipo de tecnología aplicable y equipos requeridos para posteriormente proceder a evaluar la interconexión desde el punto de vista eléctrico y de costos. Las fases que componen este estudio son:

- Identificación de Alternativas
- Análisis Eléctricos en Estado Estable (Operación normal y contingencias)
- Análisis de Cortocircuito
- Análisis de Estabilidad (Transitoria, Dinámica y Modal) Determinación de la Interconexión Eléctrica Óptima

El estudio se inicia desde la *Identificación de las Alternativas* de interconexión, el cual se realiza con base en la experiencia de los especialistas de los diferentes países que se desean interconectar, la localización del proyecto o las sugerencias del gobierno, agentes del sector, operadores o organismos de planeación. El insumo principal para identificar las posibles soluciones técnicas son la capacidad de la interconexión que se identificó del estudio energético y la distancia aproximada entre los puntos de conexión, que se obtiene del estudio ambiental.

En el *Análisis de Estado Estable* o estacionario se evalúa el desempeño de las alternativas de interconexión bajo condiciones normales de operación y de contingencia de líneas y transformadores del área de interés (Criterio de Confiabilidad N-1).

En el *Análisis de Cortocircuito* se evalúan los niveles de corto trifásico y monofásico, para las condiciones de demanda máxima y mínima, en las subestaciones de interés, necesarios para el ajuste de protecciones y para el diseño y especificaciones de equipo.

En el *Análisis de Estabilidad Transitoria* se evalúa la estabilidad de primera oscilación con los tiempos normales de operación de las protecciones.

En el *Análisis de Estabilidad Dinámica* se analiza la estabilidad de las plantas del área con tiempos de simulación de 10 segundos incluyendo el efecto de los reguladores de tensión y velocidad, con el fin de evaluar las necesidades de funciones especiales de los reguladores. También se evalúa el

amortiguamiento obtenido con los reguladores previstos y la necesidad de tener estabilizadores del sistema de potencia. De este análisis se identifica si las alternativas de conexión ofrecen condiciones de sincronización de los sistemas, y si los sistemas permanecen estables ante falla de la interconexión operando a su capacidad óptima.

Si los resultados de las oscilaciones son poco amortiguadas se deberá realizar el *Análisis Modal* del sistema con el fin de prever la instalación de equipos de control adicionales que tengan como fin obtener el amortiguamiento apropiado de estas oscilaciones.

Para mejorar la relación de amortiguamiento se plantearán alternativas que en orden de prioridad serían la instalación de PSS's en las unidades con mayor participación (énfasis en control), compensación serie de líneas de transmisión y compensación paralelo en barras de subestaciones, por último, refuerzos en el sistema de transmisión.

Finalmente, se realiza una evaluación de los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto y se debe *Determinar la Interconexión Eléctrica Óptima*, mediante el método de evaluación de mínimo costo, es decir, aquella alternativa que ocasione el menor impacto integral al usuario final, considerando entre otros, el monto de la inversión requerida, los ahorros futuros de inversión o costos financieros por adelantos de inversión, exposición al riesgo por sobre costos operativos, racionamiento, eficiencia en pérdidas técnicas y los gastos AOM.

Los resultados de este estudio jugarán dos papeles en el ciclo del proyecto: Primero dentro de la misma etapa de preparación, proveerá la información indispensable para realizar las evaluaciones económica y financiera y, posteriormente constituirá las bases de la normativa técnica para la ejecución del proyecto.

2.3 Fase III: Factibilidad

La fase de factibilidad busca establecer una decisión definitiva sobre la realización del proyecto y la verificación detallada de los aspectos técnicos así como del cronograma de actividades. En esta fase se profundiza en el estudio de la mejor alternativa recurriendo a información primaria para los estudios regulatorio, operativo, económico y financiero. Con base en estos estudios se determina la viabilidad de la interconexión en todos sus aspectos. En esta fase el rechazo del proyecto debe ser la excepción, y no la regla, siempre y cuando las primeras etapas del ciclo se hayan cumplido satisfactoriamente. En caso de ser necesario, se podría recomendar la reprogramación de inversiones o el redimensionamiento de la interconexión, sujeto a posibles cambios en los beneficios y costos.

2.3.1 Estudio Regulatorio

Actualmente algunos países han expedido reglamentos para las importaciones y exportaciones de energía eléctrica, mientras que otros están en el proceso de definición de los mismos. Sin embargo estos procesos se han desarrollado de manera independiente, atendiendo primordialmente las necesidades de los mercados internos de cada país.

Este estudio tiene por objeto identificar, compatibilizar y establecer los esquemas regulatorios que viabilicen las transacciones de electricidad entre los países. Se busca analizar en detalle la regulación aplicable en cada país con énfasis en la remuneración prevista. La armonización regulatoria supone analizar e integrar las señales tanto de los países como de los mercados regionales configurados.

Con el *Estudio Regulatorio* se propende a la definición de reglas para la comercialización y operación de las interconexiones internacionales, la operación coordinada de los sistemas nacionales y para la realización de transacciones de energía eléctrica entre los países, bajo principios de libre competencia, acceso no discriminatorio a las redes de transporte y reciprocidad en el tratamiento. Se busca entonces promover el marco normativo aplicable a los intercambios de energía eléctrica con base en los siguientes criterios:

- Condiciones competitivas del mercado de energía eléctrica, que reflejen costos económicos eficientes y que eviten prácticas discriminatorias y abusos de posición dominante.
- Libre contratación entre los agentes del mercado de energía eléctrica de los países, respetando los contratos suscritos de conformidad con la legislación y marcos regulatorios vigentes en cada país, sin establecer restricciones al cumplimiento de los mismos, adicionales a las estipuladas en los contratos internos.
- Permitir los intercambios de oportunidad entre mercados spot de los países.
- Consideración de las ofertas y demandas internacionales declaradas para la programación y despacho de recursos de cada país.
- Promoción de la participación de la inversión privada en la infraestructura de transporte para las interconexiones internacionales.

2.3.2 Estudio Operativo

El objetivo de este estudio es establecer los procedimientos, condiciones, obligaciones y responsabilidades para la operación técnica y comercial de los enlaces internacionales y los intercambios de electricidad, de conformidad con la regulación vigente en cada país. Este estudio comprende el análisis de operación técnica y comercial.

En el *Estudio Operativo* se tiene en cuenta que para la operación conjunta y coordinación operativa deben incluirse las previsiones y medidas requeridas para el cumplimiento de los criterios operativos de cada país en calidad, seguridad y confiabilidad, incluso hasta su compatibilización en algunos casos.

- Criterios de calidad: Calidad de frecuencia y de voltaje (regulación, armónicos y flicker).
- Criterios de seguridad: Reserva de potencia activa y reactiva, de regulación de frecuencia primaria y secundaria, de control de intercambio neto, esquemas de desconexión automática de carga y de generación, y oscilaciones de potencia.
- Criterios de confiabilidad: Operación con indisponibilidad de un circuito (Criterio N-1), Valor Esperado de Racionamiento de Potencia (VERP) y Valor Esperado de Racionamiento de Potencia Condicionado (VERPC).

Adicionalmente, deben tenerse en cuenta todos los aspectos relacionados con la supervisión y control de las variables relacionadas con el cumplimiento de los criterios y necesarias para la operación coordinada, así como la operación comercial en cuanto a los aspectos de administración, facturación y liquidación de las transacciones comerciales de energía eléctrica.

2.3.3 Estudio Económico y Financiero

Este estudio recoge los resultados de las fases anteriores y comprende los siguientes aspectos:

- Estudio Económico
- Estudio Financiero

Mediante el *Estudio Económico* se calculan la relación Beneficio/Costo del proyecto desde la óptica de la operación coordinada, los beneficios son totales y no se tiene en cuenta la redistribución de los mismos entre los agentes del sector eléctrico.

La evaluación económica tiene la perspectiva del país, como un todo e indaga sobre el aporte que hace el proyecto al bienestar socioeconómico nacional, sin tener en cuenta el efecto del proyecto sobre la distribución de ingresos. La evaluación está juzgando el proyecto, según su aporte al objetivo de contribuir al bienestar de la colectividad nacional.

El *Estudio Financiero* identifica, desde el punto de vista de un inversionista o un participante en el proyecto, los ingresos y egresos atribuibles a la realización del proyecto, y en consecuencia, la rentabilidad generada por el mismo. La evaluación financiera juzga el proyecto, desde la perspectiva del objetivo de generar rentabilidad financiera y juzga el flujo de fondos generado por el proyecto.

La naturaleza del proyecto de interconexión y los objetivos de sus inversionistas y ejecutores (pública o privada), definirán la relevancia de cada tipo de evaluación. Para los proyectos realizados por inversionistas del sector privado, podría esperarse que la única evaluación tenida en cuenta para la toma de decisiones sería la evaluación financiera, ya que el objetivo que incentiva a los ejecutores se relaciona con la maximización de ganancias financieras. En contraste, si el proyecto de interconexión es realizado por el sector público, es posible que el objetivo que motive la realización del proyecto no se relacione con la rentabilidad de la inversión, sino que busque satisfacer alguna necesidad de la comunidad o hacer un aporte al bienestar colectivo.

En términos generales la evaluación del proyecto debe determinar la viabilidad de la interconexión mediante indicadores como Relación Beneficio - Costo B/C, teniendo en cuenta los posibles esquemas de desarrollo del proyecto, su remuneración, bajo el contexto de estructura de costos de los sistemas de transmisión y fundamentalmente determinando el impacto en la tarifa al usuario final.

2.4 Fase IV: Acuerdos

Una vez tomada la decisión de ejecución del proyecto con base en los resultados de la fase de factibilidad se procederán a realizar los acuerdos y convenios necesarios para iniciar la etapa de ejecución y seguimiento del proyecto de interconexión. En general se subscriben los siguientes acuerdos y convenios:

- Convenio para la construcción y comercialización de la interconexión internacional entre compañías de transmisión eléctrica, con el objeto de construir, operar y mantener la Interconexión Internacional y su explotación comercial.
- Acuerdos operativos y comerciales, los cuales serán los instrumentos a través de los cuales los operadores de los sistemas de electricidad y los administradores del mercado, establecerán las obligaciones y responsabilidades en la operación técnica y comercial de sus sistemas en relación con los enlaces internacionales entre los países.

3 CASO EJEMPLO

La Interconexión de Colombia – Ecuador entró en operación en marzo de 2003 y fue concebida bajo la metodología descrita en este trabajo. La Motivación del proyecto tuvo entre otros aspectos la complementariedad hidrológica entre los sistemas, las posibilidades de racionamiento en Ecuador, la oportunidad de negocio identificada por ISA (Colombia) y TRANSELECTRIC (Ecuador) como resultado de su visión empresarial y transportadores de energía, enmarcado en la buena disposición y voluntad política de los gobiernos.

Continuando con la fase de Prefactibilidad, se realizaron los Estudios Energético, Ambiental y Eléctrico. En esta fase se identificó una capacidad óptima de la interconexión de 250 MW con una utilización superior al 65% de su capacidad durante un horizonte de análisis energético de 10 años. La ruta y longitud de 214 km de la interconexión eléctrica se determinó teniendo en cuenta el estudio ambiental, desde la subestación Jamondino en la ciudad de pasto (Colombia) y hasta la subestación Pomasqui en la ciudad de Quito (Ecuador). Con base en los resultados anteriores el estudio eléctrico definió que la interconexión viable consistía de un doble circuito a 230 kV en corriente alterna con compensación paralelo de 50 Mvar inductivos y 72 Mvar capacitivos ubicados en la subestación jamondino.

Posteriormente, con la fase de Factibilidad, se realizaron los Estudios Regulatorio, Operativo y Económico – Financiero. El Estudio Regulatorio de los marcos normativos permitieron identificar 13 temas que abarcan los aspectos normativos que podrían incidir en las posibilidades de realizar la interconexión de los sistemas eléctricos y los intercambios de energía eléctrica: Discriminación de precios de generación, tipos de transacciones de intercambios internacionales, remuneración de potencia en las transacciones internacionales, tratamiento de restricciones e inflexibilidades, tratamiento de las cantidades exportables, cargos adicionales en las transacciones, régimen impositivo y administrativo, remuneración de los enlaces internacionales, libre acceso en los enlaces internacionales y resolución de conflictos. En el Estudio Operativo se realizaron los estudios eléctricos necesarios y adecuaciones al sistema para lograr una operación coordinada con calidad, seguridad y confiabilidad, concentrándose especialmente en la coordinación del sistema control automático de generación con las unidades de generación del sistema ecuatoriano de Paute. Adicionalmente, se encontró adecuado que cada uno de los sistemas tuvieran la supervisión de las variables de control de la subestación de la interconexión perteneciente al otro país. El Estudio Financiero, bajo el cual se tomó la decisión de realizar la interconexión fue realizado con un enfoque de inversionista privado por parte de ISA y TRANSELECTRIC, con énfasis en el flujo de caja libre el cual permitió llegar a un convenio entre las empresas para la construcción, operación y mantenimiento de la interconexión. No obstante de acuerdo con los resultados del Estudio Económico y las expectativas de uso de la Interconexión los entes reguladores determinaron que el proyecto era de trascendencia nacional en el sentido de permitir el beneficio general con ahorros significativos para la operación de ambos sistemas y fue así como la Comisión de Energía y Gas (CREG) en Colombia determinó poner a consideración del propietario en la opción de remuneración mediante un esquema de Cargos por Uso, tal como se remunera la Sistema de Transmisión Nacional (STN).

Finalmente, con base en la Decisión CAN 536: “ Marco General para la interconexión subregional de sistemas eléctricos e intercambio intracomunitario de electricidad”, el 01 de marzo de 2003 se iniciaron las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE's) entre Colombia y Ecuador, fortalecidas con la entrada en operación de la interconexión Pasto - Quito a 230 kV.

4 CONCLUSIONES

- ✓ La metodología presentada ha sido implementada con éxito en un caso de real como la Interconexión Colombia – Ecuador, corroborándose en la operación real los resultados obtenidos en las fases de prefactibilidad y factibilidad. Esta metodología es actualmente utilizada por ISA y ETESA para la evaluación de la interconexión Colombia – Panamá, lo cual demuestra su flexibilidad para la utilización ya que se ha aplicado con diferentes países y diferentes esquemas regulatorios.
- ✓ El interés de los países debe estar enmarcado en una visión de largo plazo y de integración regional, lo cual garantiza una utilización permanente de las interconexiones eléctricas y crecimiento sostenible de los mercados. Además los gobiernos deben brindar incentivos e impulso al desarrollo de los proyectos de interconexiones internacionales y promover las iniciativas de explorar la interconexiones. Los gobiernos dan un impulso importante al desarrollo del proyecto, materializado en Memorandos de Entendimiento o Acuerdos Bilaterales.
- ✓ Con el fin de facilitar el desarrollo de los proyectos de interconexión eléctrica entre países, la experiencia en la Región Andina ha mostrado la conveniencia de conformar dos grupos encargados de aplicar las diferentes fases de esta metodología: Un Grupo Técnico y otro Grupo Regulatorio. El primero encargado de llevar a cabo la realización de la fase de prefactibilidad y los Estudios Económicos y Financieros, y el segundo la fase de factibilidad en lo referente a los Estudios Regulatorios y Operativos.

- ✓ En términos generales la evaluación del proyecto debe determinar la viabilidad de la interconexión mediante indicadores como Relación Beneficio - Costo B/C, teniendo en cuenta los posibles esquemas de desarrollo del proyecto, su remuneración, bajo el contexto de estructura de costos de los sistemas de transmisión y fundamentalmente determinando el impacto en la tarifa al usuario final.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Classification of publications and models on transmission expansion planning. Latorre, G.; Cruz, R.D.; Areiza, J.M.; Villegas, A.; Power Systems, IEEE Transactions on , Volume: 18 Issue: 2 , May 2003 Page (s): 938 -946
- [2] Acuerdos para la interconexión regional de sistemas eléctricos y el intercambio internacional de energía eléctrica. Propuesta de armonización de marcos normativos. Informe del Grupo de Trabajo, Quito, Bogotá, Lima, noviembre, 2001.
- [3] Resolución CREG 004 de 2003. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Minisiterio de Minas y Energía de Colombia.
- [4] Estudio de restricciones y posibilidades ambientales de los proyectos del Plan de Expansión 2001-2010. ISA.
- [6] Evaluación financiera de proyectos de inversión, universidad de los Andes, Facultad de Economía, Centro de Estudios sobre desarrollo económico, Banco Interamericano de Desarrollo. Karen Marie Mokate, Santafé de Bogotá, Colombia. 1998.

6 BIOGRAFÍAS



Andrés Villegas Ramelli (avillegas@isa.com.co) recibió el grado de ingeniería eléctrica en 1987 en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Medellín (Colombia), y el M.Sc. en electrical power engineering en 1997 de la University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) Manchester, U.K. El ha trabajado en Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. (ISA) en Colombia desde 1988 donde actualmente es Director de Desarrollo del Servicio Transporte de Energía. Su campo de interés técnico se centra en planeación de la expansión, remuneración y regulación asociada a sistemas de transmisión de energía eléctrica.



Hugo Alejandro Bedoya Hincapié (habedoya@isa.com.co) nació en Cauca (Colombia) en 1971. Recibió el grado de Ingeniería Eléctrica y el grado de Master en Economía de la Energía en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Ha estado trabajando con Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. desde 1995, donde actualmente ocupa el cargo de Analista Desarrollo de la Red. Sus campos de interés incluyen la operación, la planeación y la regulación de los sistemas de

energía eléctrica. Ha participado en varios estudios y proyectos referentes a interconexiones de sistemas eléctricos de potencia y gerenciamiento de activos.



Jorge Mauricio Areiza Ortiz (jmareiza@isa.com.co) nació en Medellín (Colombia) en 1968. Recibió el grado de Ingeniería Eléctrica en la “Universidad Pontificia Bolivariana” de Colombia en 1991, y el Magíster en la misma área de “Universidade Federal de Santa Catarina” de Brasil en 1997. Desde 1993 se ha desempeñado en actividades profesionales del Departamento de Estudios de Expansión en Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. Colombia.